République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique

Université Yahia Farès de Médéa



Mémoire de Master

Département : Génie des procédés

Option : Hygiène et sécurité industrielle

Explosion industrielle : Etude de cas du Beyrouth

Causes et Conséquences

Proposé et dirigé par :

Dr : SARRAI ABDELAZIZ

Réalisé par :

-BELADZAR IMANE

-BENATTALAH MOHAMED

Médéa, 2020/2021

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier sincèrement Docteur ABDELAZIZ SARRAI, qui en tant que directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury madame FARHAT la présidente de jury et madame CHAHBA MOUNA pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

On dédie ce travail à nos chers parents, qui ont toujours été là pour nous, nous ont soutenu et donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance

Que dieu vous protège et que la réussite soit toujours à notre portée pour qu'on puisse vous combler de bonheur…

A nos familles respectives pour leurs aides et soutient permanents...

A nos meilleurs amis(es) que l'on souhaite beaucoup de réussite et de succès

A tous ceux qui nous aime et tous ceux que nous aimons…

Beladzar Imane

Benattalah Mohamed

Résumé

L'objectif principal de notre étude est l'analyse du risque industriel au sein du port de Beyrouth, capital du Liban. Ce dernier est une passerelle importante pour le transport de marchandises vers la Syrie, la Jordanie, l'Irak et les États du Golfe. Afin de cerner les risques, les dangers, les dommages, nous avons opté pour la méthode d'analyse de risque « NOEUD 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 :

Risque, Nœud de Papillon, Causes, Conséquences.

Abstract

The main objective of our study is the analysis of the industrial risk within the port of Beirut the capital of Lebanon. The latter is an important gateway for the transport of goods to Syria, Jordan, Iraq and the States of Gulf. In order to identify the risks, dangers and damage, we have opted for the « BOW TIE » method, which allowed us to have a detailed vision of the accident by highlighting their causes and their consequences. Finally, we suggest various prevention and protection barriers to prevent or to minimize these types of accidents in the future.

Keywords: Risk, Bow Tie, Causes, Consequences.

الملخص

الهدف الرئيسي من دراستنا هو تحليل المخاطر الصناعية داخل ميناء بيروت عاصمة لبنان، وهي بوابة مهمة لنقل البضائع إلى سوريا والأردن والعراق ودول الخليج. منأجل تحديد المخاطر والأخطاروالأضرار، سمحت لنا هده الطريقة NOEUD PAPILLION»«بالحصولعلى رؤية تفصيلية للحادث من خلال تسليط الضوء على أسبابه وعواقبه. بناءً على استخدام هذه الطريقة ، نقترح العديد من حواجز الوقاية والحماية التي يمكن أن تمنعنا أو تقلل من هذه الأنواع من الحوادث في المستقبل القريب.

الكلمات المفتاحية: الخطر، Noeud Papillion, الأسباب، النتائج.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Les risques Et accidents Industriels Majeurs

I-1-Définitions et caractéristiques..... 3

I-1-1-Définitions 3

I-1-2- La nature des accidents industriels majeurs..... 4

I-1-3-Caractéristiques..... 5

I-2- Description de quelques accidents industriels majeurs 9

I -2-1-L'explosion de la raffinerie de Feyzin (Rhône, 4 janvier 1966)..... 9

I -2-2-L'explosion de l'usine chimique de Flixborough (Royaume-Uni, 1er juin 1974) . 10

I-2-3-L'accident de l'usine chimique AZF (Toulouse, 21 septembre 2001) 10

I -3-les risques industriels 11

I -3-1-Qu'est-ce qu'un risque industriel ?..... 11

I-3-2-Typologie des risques industriels 15

I-3-3-Le risque industriel et sa réglementation..... 15

I-3-4-La nature chimique des risques industriels majeurs 16

I-3-5-Les causes des risques industriels..... 16

I -3-6-La localisation des risques industriels 17

I -3-7- Les catégories d'effets 19

I-4-Risques industriels : prévenir et prévoir pour ne plus subir..... 25

Chapitre II. : Méthode D'analyse De Risque Industrielle

II.1 Gestion des risques industriels ……. 30

II -1-1 Processus de gestion des risques : une démarche de concertation ……30

II -1-1-1 Prévention ……..31

1) L'Identification des activités génératrices de risques ……..32

2) Détermination des risques ……32

2-1- Analyse des risques ……..33

2-1-1 Définition de l'analyse des risques ……..33

2-1-2 La formalisation des étapes de l'analyse des risques …….. 33

2-1-3 Méthodes d`analyse du risque ……34

2-1-4 l'analyse Qualitative ……..35

2-1-4-1 Démarche inductive et démarche déductive ……..36

2-1-4-2Panorama des méthodes d'analyse de risque ……....38

A. Arbre de Défaillance (AdD)……...39

B. Arbre des causes (ADC) ……....40

C. Arbre d'événements (ADE) ……...41

D. Nœud Paillon ……42

2-1-5 L'analyse Semi- Quantitative ……...48

2 1-6 L'analyses Quantitative……48

2-1-7 Statiques/dynamiques ……...49

2.2 Estimation des probabilités ……..49

2-3 Évaluation des risques ……50

3) Maîtrise des risques et mesure de contrôle ……..51

4) Aménagement du territoire ……..52

5) Préparation aux situations d'urgence ……...52

2-4 Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque ……...52

Liste des figures

Figure 1 : Gravité des accidents signalés à la base de données MARS ……...5

Figure 2 : Causes premières des accidents signalés à la base de données MARS ……...6

Figure 3 : Conséquences des accidents industriels majeurs …….7

Figure 4 : Dégât causés par les incendies et les explosions ……. 8

Figure 5 : Dégât causés par l'émission de substances toxiques ……9

Figure 6 : Les six conditions pour qu'une explosion ait lieu……...12

Figure 7 : Principales causes des accidents industriels majeurs ……17

Figure 8 : Incendie sur un site de stockage …….19

Figure 9 : Explosion sur un site industriel ……..20

Figure 10 : Pompier en exercice NRBC …….21

Figure 11 : Les 9 pictogrammes de danger CLP /SGH……...23

Figure 12 : Réactions chimiques dangereuses…….…24

Figure 2-1 : Processus global de gestion des risques……...31

Figure 2-2 : Détermination des risques ……..….32

Figure 2-3 : A proches d'analyse de risque ….34

Figure 2-4 : Typologies et approches des méthodes d'analyse de risque ……...35

Figure 2-5 : Mode de recherche déductive …….36

Figure 2-6 : Mode de recherche inductive ……..37

Figure 2-7 : Représentation de l'arbre de défaillance …….39

Figure 2-8 : Représentation de l'arbre de cause ……..40

Figure 2-9 : Représentation de l'arbre d'événement ……...41

Figure 3-1 : Représentation des scénarios d'accident selon le modèle de nœud papillon…...42

Figure 3-2 : Principe de nœud papillon……....45

Figure 4-1 : Conteneurs sur le port……...…53

Figure 4-2 : Le nitrate d'ammonium à nouveau sur le devant de la scène……...53

Liste des tableaux

Tableau 1 :Définition de risque, danger, accident ou dommage ….....3

Tableau 2 : Liste des principaux produits industriels dangereux ……..….22

Tableau 3-1 : Tableau comparatif des principales méthodes d'analyse des risques ……..38

Tableau 3-2 :Légende des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon…….....43

Tableau 3-3 : Classes de probabilité ……..…….49

Tableau 3-4 :Détermination des niveaux de risque ….....50

Tableau 3-5 : Matrice de décision…….. 51

Liste des abréviations

A : Autorisation

ADE : Arbre d'évènement

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

APR : Analyse préliminaire des risques

BELEVE: Boiling liquid expanding vapor explosion

BIT : Bureau international

Boil over : Boule de feu

CE : Conformité européenne

CEE : Communauté économique européenne

CLP : Règlement relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges

CSS : commission de suivi de site

D : Déclaration

DDAE : dossier de demande d'autorisation d'exploiter

DDRM : Document départemental sur les risques majeurs

E : Enregistrement

EC : Evènement courant

ECHA : Agence européenne des produits chimiques

EDD : Etude de danger

EI : Etude d'impact

EI : Evènement initiateur

Ein : Evènement indésirable

EM : Effets Majeurs

EPR : Evaluation probabiliste de risque

ERC : Evènement redouté central

ERS : Evènement redouté secondaire

ETPT : Equivalents temps plein travaillé

FDS : fiche de sécurité classée pour la protection de l'environnement

HAZOP : Analyse de risques et de sécurité de fonctionnement

IAL : Dispositif d'information acquéreur locataire

IC : Installations classes

IMDG : Le code maritime international des marchandises dangereuses

ISO : Organisation internationale de normalisation

L'ANFO : Sigle pour « ammonium nitrate/fuel oïl »

LIE : Limite inférieur d'explosivité

LPE : Libération psycho émotionnelle

LSE : Limite supérieur d'explosivité

MAHB : Bureau des risques d'accident majeur

MARS: Major accident reporting system

ORSEC : plan d'organisation de sécurité civile

PCT : La pro calcitonine comme aide au diagnostic du sepsis

Ph D : Phénomène dangereux

POI : Plan d'opération interne

PPI : Plan particulier d'intervention

PPRT : plan de prévention des risques technologiques

SGH : Système générale harmonisé

UN : Les Nations Unies

UVCE : Unconfinesvapor Cloud explosion

INTRODUCTION

Introduction

Introduction générale

On n'aime pas parler du risque, le mot fait peur, on préfère ne pas évoquer les risques, connus ou inconnus, qui menacent le corps social. Les politiques voudraient bien nier le risque, mais le risque est inséparable de l'action, il est partout présent dans notre vie quotidienne [1].

Le monde industriel a connu des accidents majeurs à cause d'une mauvaise gestion des risques industriels, qui ont eu une influence considérable sur les salariés, sur l'environnement extérieur, les populations avoisinantes et sur les biens.

Les accidents de travail sont les concrétisations les plus répandues des risques. Ils sont nombreux et variés, certains sont bénins et sans conséquences. Par contre un nombre important d'entre eux est grave, voire mortel, ceci sans négliger l'impact financier, social et moral de ce phénomène. La sécurité constitue un des principaux leviers de progression dans le cadre de la prévention des risques industriels et un moyen essentiel de préserver la santé et la sécurité des travailleurs.

L'analyse du risque est une étape essentielle dans le milieu industriel. Elle participe notamment à la maîtrise de la sécurité des installations, Il en existe des formes variées, mais l'objectif est toujours le même : comprendre le système étudié, envisager la façon dont son fonctionnement peut aboutir à des situations non voulues qui peuvent s'avérer dangereuses, et vérifier si les mesures prises pour anticiper ou répondre à ces situations sont efficaces. Il existe différents niveaux de détail dans l'analyse du risque, et plusieurs méthodes [2].

Dans ce cadre, notre étude de cas est basée sur l'application de la méthode d'analyse nommée « Nœud Papillon » qui résulte de la combinaison d'un arbre de défaillances et d'un arbre d'événements, centrée sur un même événement redouté, pour un objectif d`identifier les dangers afin d`évaluer les risques possibles pour prendre les mesures nécessaires de sécurité. Sachant que « Nœud Papillon » est un outil grandement efficace pour communiquer les résultats d'une analyse des risques à diverses parties prenantes incluant le grand public et la haute direction des organisations ; deux groupes d'intervenants avec lesquels il est crucial de synthétiser et de vulgariser l'information à communiquer, cette dernière permet de visualiser en un coup d'œil les causes possibles d'un accident, ses conséquences et les barrières de sécurité mises en place.

Introduction

Notre travail s'articule sur 3 chapitres :

Dans le premier chapitre : **« Les risques Et Accidents Industriels Majeurs »**, nous donnons quelques notions et concepts fondamentaux liés aux risques, accidents industriels majeurs.

Dans le deuxième chapitre : « **Méthode D'analyse De risque Industrielle »,** nous présentons les méthodes d'analyse de risque industriel. nous évoquons la méthode « Nœud-Papillon » d'une manière détaillée et approfondie passant par son Historique et domaine d'application, démarche, déroulement et finalement son Intérêts et limites.

Dans le troisième chapitre : **« Etude de Cas De Beyrouth »,** nous présentons l'accident majeur du port de Beyrouth en utilisant la méthode Nœud-Papillon

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale, des recommandations et les perspectives dans ce domaine de recherche.

Chapitre I
Les risques et accidents Industriels Majeurs

I-1-Définitions et caractéristiques

I-1-1-Définitions

A) Danger, Risque, Accident : Des notions communes

La définition du risque au sens du Code du travail et du Code de l'environnement est similaire. La notion d'exposition d'une cible à un danger y est intégrée. Les deux codes exigent que soit menée une évaluation des risques, laquelle va reposer sur une identification des dangers puis une analyse détaillée des conditions d'exposition aux dangers.

Le tableau ci-dessous synthétise les trois principales définitions de **danger**, **risque** et **accident** ou dommage et donne quelques exemples [3].

Tableau 1 : définitions de danger, risque et accident ou dommage [3].

Définitions		Exemples
Danger	Propriété intrinsèque des produits, des équipements, des procédés pouvant entrainer un dommage	- Substances volatile, inflammable, toxique, corrosive, explosive….. - Système technique sous pression ou températures élevées - Masse des charges (levage, déplacement…) - Micro organisme à caractère infectieux
Risque	Exposition d'une cible (salarié, entreprise, environnement y compris la population…) à un danger .le risque est caractérisé par la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (accident) et de la gravité de ses conséquences	- Un salarié manipulant un produit chimique volatil est exposé à un risque par inhalation - Une installation utilisant ce produit chimique est exposé à un risque d'incendie - Un cours d'eau proche de l'installation est exposé à un risque de pollution, et le village avoisinant peut subir les effets d'un nuage toxique dégagé par l'incendie.
Accident ou Dommage	Conséquences négatives d'un phénomène dangereux.	- L'inhalation de vapeurs de solvants peut entrainer une irritation des voies aériennes supérieurs (bouche, nez, pharynx, larynx). - L'incendie peut provoquer des atteintes aux

		personnes, aux biens et à l'environnement

B) Les accidents industriels :

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 [6].

Le Bureau international du travail (BIT) à Genève donne la définition suivante :

« 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. » [6].

La directive Seveso II de 1996 définit également ce terme :

«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. » [6].

I-1-2- La nature des accidents industriels majeurs

La quasi-totalité des accidents industriels majeurs est due à des produits et des réactions chimiques dangereux, autrement dit c'est l'existence de risques chimiques qui explique ces accidents catastrophiques tant pour l'environnement que pour les hommes et les bâtiments. Les explosions, les incendies, les fuites de produits toxiques sont tous les conséquences directes ou indirectes de risques chimiques existant, autrement dit de la présence de produits chimiques dangereux, inflammables, explosifs ou toxiques. Il suffit alors

d'un élément mineur, par exemple la présence d'un produit étranger, d'une étincelle ou d'un phénomène mal contrôlé pour que l'accident se produise.

Les **risques mécaniques**, **physiques** (électrique, acoustique) sont exceptionnellement à l'origine d'accidents industriels majeurs ; par contre, ces risques peuvent induire des catastrophes en présence de produits chimiques, par exemple les échauffements incontrôlés des contenus des réacteurs chimiques comme ce fut le cas pour les accidents de Seveso ou de Bhopal. Ainsi une étincelle électrique ou électrostatique peut induire une explosion de produits combustibles ou encore un choc mécanique peut conduire, par fragilisation de l'enceinte, à une fuite de produits chimiques toxiques.

Mais dans tous les cas, ce sont les produits chimiques et réactions dangereux qui expliquent **les accidents industriels majeurs**. Bien évidemment, dans les accidents nucléaires, ce sont des produits radioactifs particuliers qui expliquent ces catastrophes, mais là aussi, il s'agit de produits chimiques dont la dangerosité provient de leur radioactivité [8].

I-1-3-Caractéristiques

- **Caractéristiques des accidents industriels :**

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 [8].

Une étude statistique menée par le Bureau des risques d'accidents majeurs (MAHB) de l'Union européenne donne la courbe de répartition des accidents (figure1) signalés à la base de données MARS (Major accident reporting system) [8].

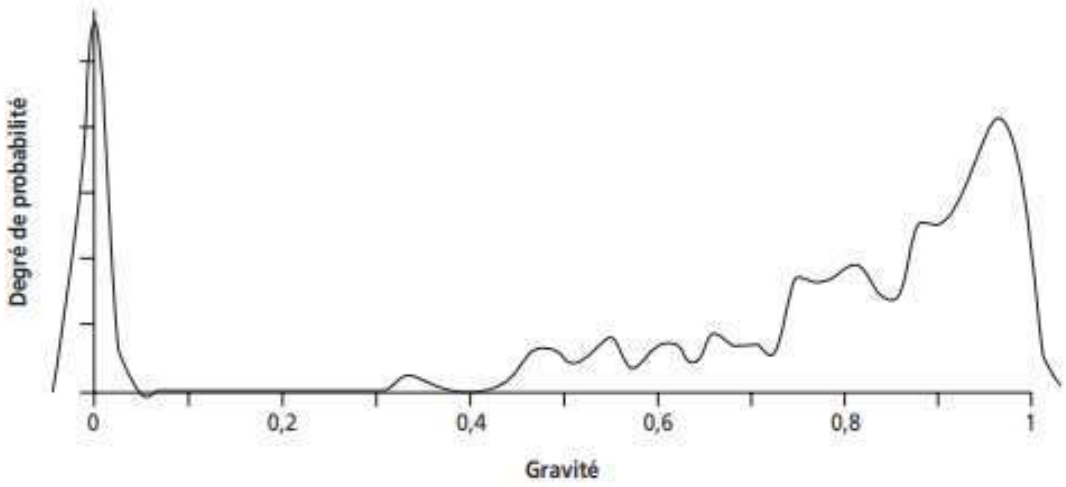


Figure 1 : Gravité des accidents signalés à la base de données MARS [8].

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 (figure2), les erreurs de manipulation sont les plus probables, suivies des défaillances des composants et des réactionsd'emballement incontrôlables (réactions dangereuses) [8].

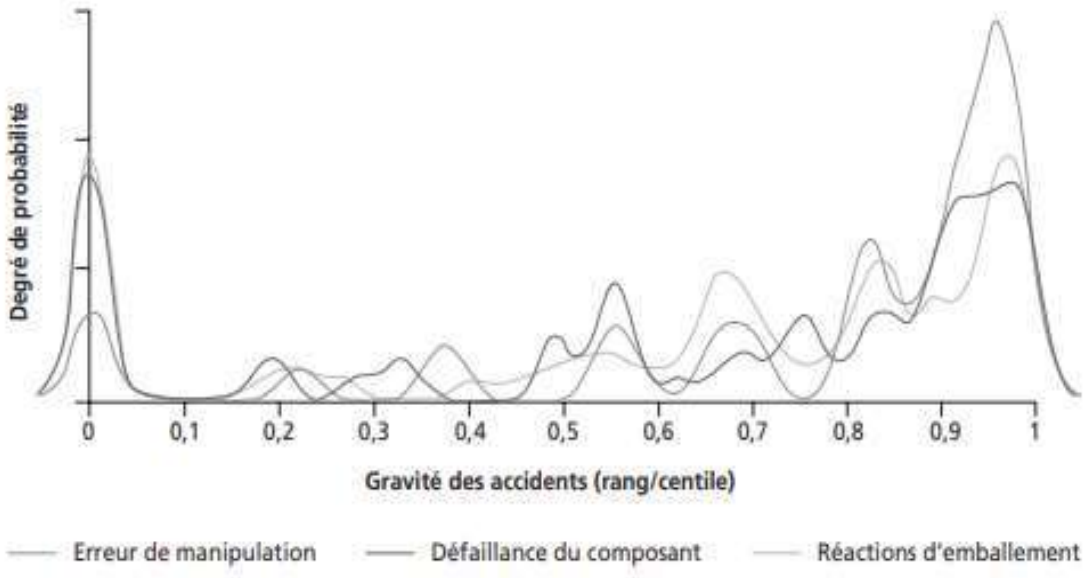


Figure 2 : Causes premières des accidents signalés à la base de données MARS [8].

- **Conséquences des accidents industriels majeurs :**

Les accidents industriels majeurs peuvent avoir trois conséquences importantes qui les distinguent également des nombreux accidents et incidents habituels, connus dans les milieux industriels (figure3) [8].

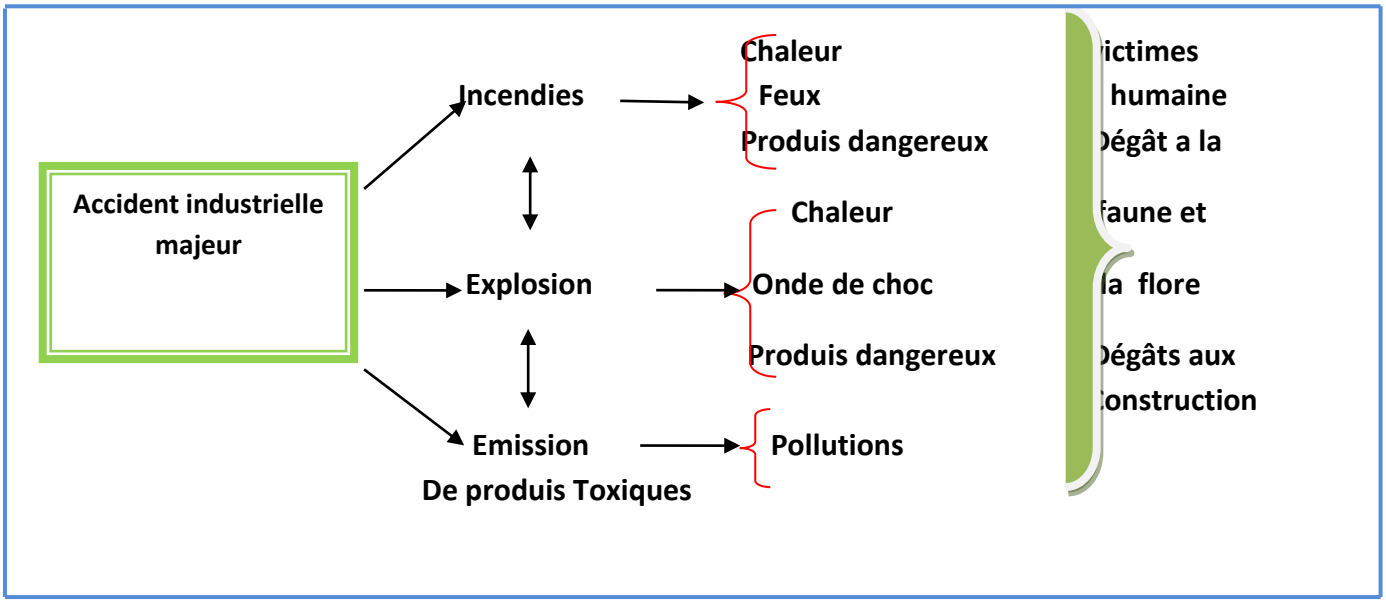


Figure 3 : Conséquences des accidents industriels majeurs [8].

- **Un nombre élevé de victimes humaines**

On déplore un nombre élevé de victimes humaines, morts d'hommes, intoxications et blessures (fractures, écrasements, chocs, brûlures, traumatismes divers) plus ou moins graves.

Les victimes sont en premier lieu les personnes présentes sur les lieux de l'accident, donc principalement les salariés de l'entreprise. Viennent ensuite les personnes qui se trouvent occasionnellement (visiteurs, passants) ou habituellement (habitants, commerçants et travailleurs) à proximité de l'usine, à l'intérieur du rayon d'action (périmètre de sécurité) de l'accident majeur, par exemple **une explosion**.

Outre les blessures, il y a souvent des traumatismes psychologiques susceptibles de marquer profondément les gens. En plus des victimes humaines, on dénombre également des victimes parmi les animaux, petits ou grands, notamment parmi les animaux domestiques, sans oublier la flore en cas de rejet de substances écotoxiques et biocides. Le nombre de morts n'est pas le seul critère de l'accident majeur ; celui de Seveso n'a pas causé de morts directs, mais reste l'exemple même d'un accident industriel majeur par ses conséquences et le nombre de personnes et d'animaux intoxiqués, marqués à vie et malades, ainsi que les conséquences

catastrophiques sur l'écosystème : faune et flore, animaux domestiques, durée de la persistance de la pollution, etc… [8].

- **Des dégâts matériels**

Des dégâts matériels sont constatés à l'intérieur et tout autour du lieu de l'accident majeur, avec des destructions d'immeubles et de constructions diverses ; souvent le paysage change et les dégâts sont d'une telle ampleur qu'un nouveau plan d'urbanisme s'impose. Parmi les dégâts matériels susceptibles d'être provoqués, il y a lieu de signaler (figure4) :

– les destructions totales ou partielles de constructions : immeubles et maisons d'habitation, bâtiments publics, commerces, bâtiments industriels divers, hangars de stockage, bâtiments agricoles ;

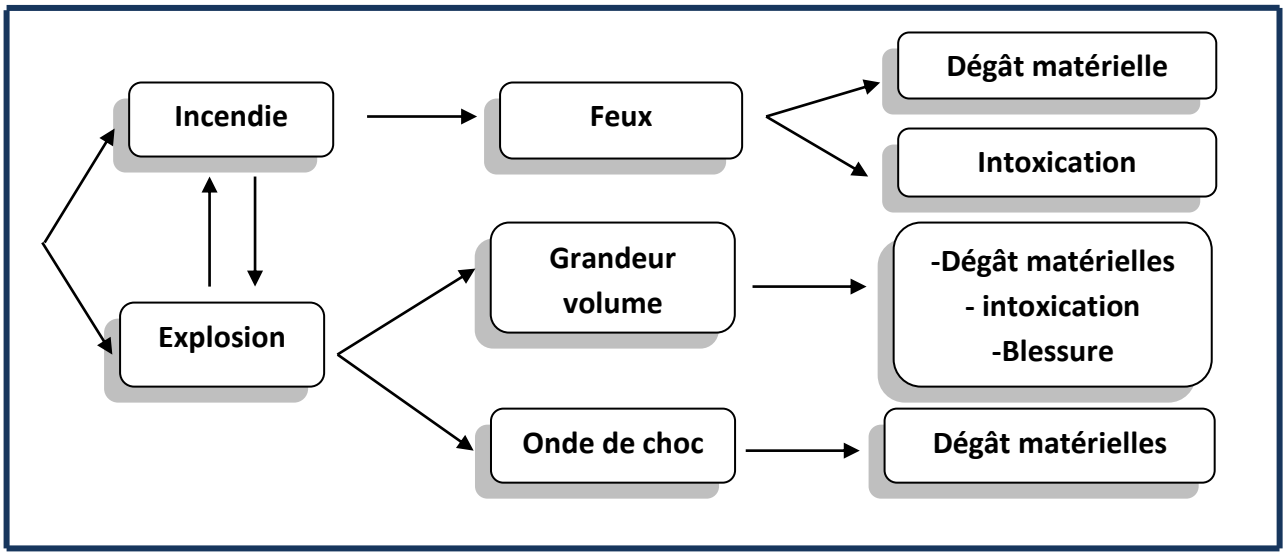


Figure 4 : Dégâts causés par les incendies et les explosions [8].

– les dégâts de la voie publique : routes, ponts, tunnels, signalisation routière, chemin de fer, canalisations aériennes ou souterraines, poteaux électriques et téléphoniques, etc. ;

– les dégâts au niveau des véhicules automobiles en arrêt ou en circulation à proximité, des gares, etc… [8].

- **Une pollution généralement néfaste sur la nature environnante**

Les produits nocifs et écotoxiques émis dans la nature polluent l'air, le sol et le milieu aqueux (mers, lacs, étangs, cours d'eaux, nappes phréatiques) avec la destruction plus ou moins avancée de la faune et de la flore. Dans certains cas, la nature environnante devient

impropre à la vie pendant plusieurs années, voire quelques décennies ; rien ne pousse par suite de la pollution avancée des sols, des eaux et dans un moindre degré, de l'atmosphère ; les insectes et les animaux qui se nourrissent de végétaux, absorbent également les produits polluants et dépérissent. C'est souvent l'importance de cette pollution de l'environnement qui détermine le caractère majeur de l'accident.

Les accidents de Seveso, de Bhopal, les naufrages des pétroliers Erika ou Prestige, sont à l'origine d'une importante pollution de la nature dans un périmètre plus ou moins grand autour du lieu de l'accident (figure5) [8].

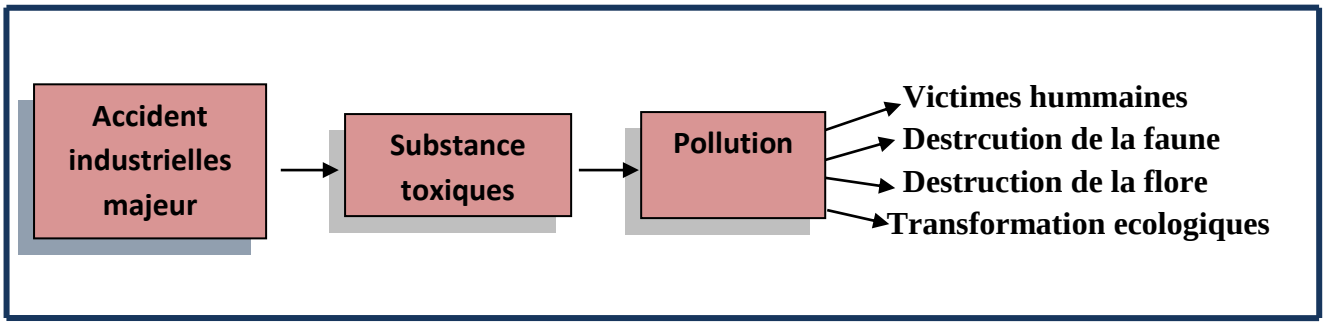


Figure 5 – Dégâts causés par l'émission de substances toxiques [8].

- **L'histoire des accidents industriels majeurs**

• **1966 à Feyzin** : explosion dans une industrie pétrochimique, 18 morts

• **1974 à Flixborough** (Grande Bretagne) : explosion sur un site industriel, 28 morts

• **1976 à Seveso** (Italie) : fuite de dioxine d'une usine chimique, pas de mort mais 37000 personnes touchées

• **1984 à Bhopal** (Inde) : fuite d'un gaz toxique, environ 2500 morts et 250000 blessés

• **1984 à Mexico** (Mexique) : explosion d'une citerne de gaz de pétrole liquéfié, plus de 500 morts et 7000 blessés

• **2000 à Enschede** (Pays-Bas) : explosion d'un dépôt de feux d'artifices de divertissements, au moins 20 morts et plusieurs centaines de blessés

• **2001 à Toulouse** : explosion sur un site industriel, 30 morts et plus de 2000 blessés [5].

I-2- Description de quelques accidents industriels majeurs

I -2-1-L'explosion de la raffinerie de Feyzin (Rhône, 4 janvier 1966)

La raffinerie, produisait et stockait des hydrocarbures gazeux (butane, propane, éthylène) et liquides (essences, gazoles, fiouls, solvants, etc.). Une fuite de gaz propane au-dessous du réservoir sphérique de propane liquéfié sous pression a formé une nappe plus lourde que l'air qui s'est propagée jusqu'à l'autoroute où une voiture en circulation a déclenché le feu avec formation d'un jet de flamme qui a commencé à embraser le réservoir. L'arrivée tardive et insuffisante des secours a permis à l'incendie de prendre de l'ampleur. Une heure après le début du feu, un premier réservoir a explosé, suivi une heure après d'un second.

Cet accident a fait 17 morts, 84 blessés et des dégâts matériels importants dans un rayon de 25 km, jusqu'à la ville de Vienne. C'est le premier accident connu du BLEVE (Boilingliquidexpandingvapor explosion), explosion des vapeurs en expansion provenant d'un liquide en ébullition. Le phénomène est simple car il s'agit d'une réaction de combustion classique d'un gaz inflammable. Le propane gazeux, au contact du moteur de la voiture en circulation s'est enflammé suivant une réaction de combustion et la chaleur dégagée a fait exploser les deux réservoirs contenant du propane liquéfié. Des insuffisances au niveau de la conception, des consignes de sécurité et de l'organisation des secours (carences administratives à caractère géographique) n'ont pas permis de réduire l'ampleur des dégâts. Cet accident a servi de révélateur de l'existence des risques d'explosion au niveau des raffineries et des usines pétrochimiques et a conduit à l'élaboration d'une réglementation sévère dans le domaine de l'industrie des hydrocarbures [8].

I -2-2-L'explosion de l'usine chimique de Flixborough (Royaume-Uni, 1er juin 1974)

Cette usine était spécialisée dans la fabrication de caprolactame, matière de base pour la fabrication du Nylon, à partir de cyclohexane. Une fuite du réacteur n° 5 laissa échapper dans l'atmosphère un nuage de 50 tonnes de cyclohexane inflammable qui, au contact d'une torchère, produisit une explosion suivie d'un incendie. La conduite by-pass, mise en place pour évacuer la fuite, ne résista pas à la pression et à la température du cyclohexane qui s'échappa dans l'air et provoqua l'explosion. Les dégâts furent énormes tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'usine ; elle a conduit à 28 décès immédiats et plusieurs dizaines de blessés

graves. Cet accident fut également à l'origine de textes réglementaires tant au Royaume-Uni que dans les autres pays industrialisés d'Europe [8].

I-2-3-L'accident de l'usine chimique AZF (Toulouse, 21 septembre 2001)

Il s'agit d'une explosion de très grande puissance de 300 tonnes d'ammonitrate, engrais azoté bien connu. Ce produit, le nitrate d'ammonium, peut se décomposer dans certaines conditions et exploser. C'est ce qui s'est produit à l'usine Azote de France de Toulouse, appartenant au groupe pétrochimique Total-Fina-Elf. Il semble qu'à la suite d'une erreur, environ 500 kg de DCCNa, vraisemblablement mélangés avec un hypochlorite, soient entrés en contact avec l'ammonitrate, induisant l'explosion. Cet accident a fait une trentaine de morts et plus de 300 blessés et des dégâts matériels considérables, évalués à plus de 2,3 milliards d'euros. Les enquêtes sont encore en cours, ralenties par les nombreuses contestations [8].

I -3-les risques industriels

I -3-1-Qu'est-ce qu'un risque industriel ?

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers. Néanmoins, ce n'est pas parce qu'un site n'est pas classé qu'il ne présente pas de danger [9].

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 [8].

Ses principales manifestations sont :

-**l'incendie** dû à l'ignition de combustibles par une flamme ou un point chaud (risque d'intoxication, d'asphyxie et de brûlures),

-**l'explosion** due au mélange combustible / comburant (air) avec libération brutale de gaz (risque de décès, de brûlures, de traumatismes directs par l'onde de choc…),

- **Six conditions à réunir simultanément pour qu'une explosion ait lieu** :

- Présence d'un combustible ;(la matiere qui a la propriété de bruler
- État particulier du combustible, qui doit être sous forme de gaz, de brouillard ou de poussières en suspension dans l'air ;
- Présence d'un comburant (en général l'oxygène de l'air) ;
- Présence d'une source d'inflammation ;(une source d'énergie susceptible d'enflammer une atmosphère explosive.)
- Obtention d'un domaine d'explosivité (domaine de concentrations du combustible dans l'air à l'intérieur duquel les explosions sont possibles , Sous la LIE le mélange est trop pauvre en combustible pour amorcer une réaction. Au-dessus de la LSE c'est le comburant qui manque.) ;
- Confinement suffisant (en absence de confinement, on obtient un phénomène de combustion rapide avec des flammes importantes mais, généralement, sans effet de pression notable). Le confinement n'est pas une condition indispensable mais représente un facteur aggravant du phénomène d'explosion et des risques associés [19].

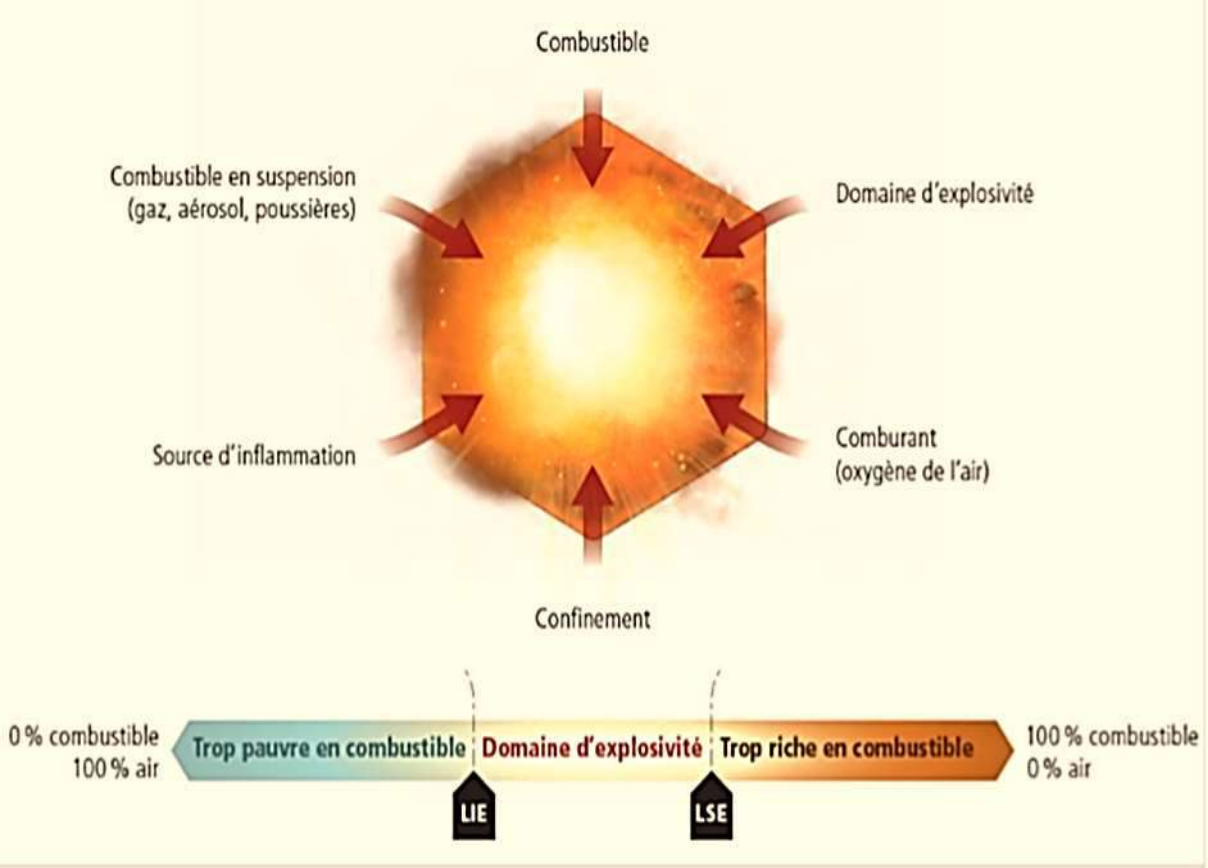


Figure 6 : les six conditions pour qu'une explosion aient lieu [19].

Domaine d'explosivité :

Domaine de concentrations du combustible dans l'air à l'intérieur duquel le mélange est susceptible d'exploser en présence d'une source d'inflammation. Le domaine d'explosivité est encadré par la LIE (limite inférieure d'explosivité) et la LSE (limite supérieure d'explosivité) [19].

La pollution et **la dispersion de substances toxiques**, dans l'air, l'eau ou le sol, de produits dangereux avec une toxicité pour l'homme par inhalation, ingestion ou contact. Ces différents phénomènes peuvent être associés [9].

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

- **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.

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 [8].

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 ostéoarticulaires, 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 cités 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 [8].

➢ **Risques industriels majeurs ou hauts risques**

Ces risques industriels sont qualifiés de « **risques majeurs** » quand ils sont caractérisés par deux critères :

• **une faible fréquence** : l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes.

• **une gravité importante** : nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement [8].

Cette notion de « risques majeurs » ne concerne que les risques environnementaux. On peut les regrouper en **deux catégories** :

✓ **Risques naturels** :

La notion de risque naturel se distingue de celle de phénomène naturel. Les **phénomènes naturels** peuvent être de nature **atmosphérique** (froid, chaleur, orages violents, tempêtes, rayonnement solaire, inondations, avalanches…) ou **géologique** (séismes, activités volcaniques, inondations, mouvements de terrain, raz de marée…).

Un **risque naturel** découle de la **conjonction d'un phénomène naturel** (aléatoire) **et de la présence de biens ou d'activités vulnérables**. Ainsi, un orage de très forte intensité entraîne un risque faible dans une zone déserte ou peu habitée, tandis que des pluies d'intensité moyenne peuvent provoquer des dommages considérables si elles surviennent dans des villes.

La notion de **catastrophe naturelle**, telle qu'elle définit par la loi n° 92-665 du 16 juillet 1995, est liée à l'existence de **dommages importants** ayant eu pour cause déterminante « l'**intensité anormale d'un agent naturel**, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises ». L'état de catastrophe naturelle est constaté par un arrêté ministériel qui détermine les zones et les périodes où s'est produite la catastrophe [8].

✓ **Risques technologiques** :

Le risque technologique est un concept intégrant des composantes diverses. Il résulte de la présence sur un territoire d'une installation manipulant des substances, ou mettant en

œuvre des techniques ou des procédés susceptibles d'être à l'origine de phénomènes dangereux, face à des enjeux socio-économiques et environnementaux[8].

Les trois sources de risque technologique majeur sont les installations **industrielles**, les installations **nucléaires** et les **grands barrages**. S'y ajoute le transport de matières dangereuses avec des conséquences plus localisées mais une probabilité d'occurrence plus élevée [8].

Les risques technologiques traités ici comprennent donc les accidents (incendies, explosions, pollutions accidentelles des eaux…) liés aux installations industrielles ou agricoles et au transport de matières dangereuses (par route, rail, voie d'eau, canalisation), la rupture de barrages ou de digues (qui a pour conséquence des inondations brutales) et le risque minier (ayant pour conséquence l'effondrement des cavités creusées pour l'exploitation du sous-sol). Les questions relatives aux pollutions chroniques (de l'air, de l'eau, les déchets…) sont traitées dans les thématiques correspondantes [8].
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, justifiées 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. 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 [8].

I-3-2-Typologie des risques industriels

Les générateurs de risques sont regroupés en deux familles :

- Les industries chimiques produisant ou stockant des produits chimiques de base, des produits destinés à l'agroalimentaire (notamment les engrais),
  les produitspharmaceutiques et de consommation courante (eau de javel, etc.) ;
- Les industries pétrochimiques produisant l'ensemble des produits dérivés du pétrole (essences , goudrons, gaz de pétrole liquéfié).

Tous ces établissements sont des établissements fixes qui produisent, utilisent ou stockent des produits répertoriés dans une nomenclature spécifique [10].

I-3-3-Le risque industriel et sa réglementation

=> Deux réglementations se complètent :

La réglementation « installations classées » (Code de l'environnement)

• IC = toute activité et/ou stockage pouvant générer des nuisances et/ou des risques pour l'environnement

La réglementation « Seveso » : directive Seveso 2 de 1996 reprise en France au travers de l'arrêté ministériel du 10 mai 2000

• Concerne certaines IC utilisant des substances ou préparations dangereuses

• 2 niveaux de classement : seuil haut ou seuil bas

=>Elles imposent la réalisation, par l'industriel à l'origine du risque et sous sa responsabilité, d'une étude des dangers présentés par ses installations [7].

I-3-4-La nature chimique des risques industriels majeurs

La nature chimique de ces accidents apparaît clairement. En effet, ce sont des produits chimiques ou agroalimentaires qui sont à l'origine de la quasi-totalité des accidents industriels majeurs, incendies et explosions en particulier, et les causes des intoxications se trouvent dans les produits chimiques émis. À cela, il faut ajouter que ce sont des réactions physico-chimiques entre ces produits qui donnent naissance aux accidents industriels majeurs.

Tout ceci revient à dire que ce sont des risques chimiques, comparables aux risques chimiques professionnels, qui sont à l'origine des accidents industriels majeurs.

Par exemple, dans l'accident de Seveso, c'est la réaction entre plusieurs produits chimiques qui s'est emballée pour donner naissance, entre autres, à des dioxines très toxiques. À Feyzin, c'est le gaz propane combustible qui a fui avant de s'enflammer et d'exploser. Les poussières de céréales sont à l'origine de l'explosion des silos de Blaye ou de Metz. De nombreux autres exemples peuvent être donnés. Si, dans les usines, les accidents du travail ayant des origines mécaniques électriques, vibratoires, etc., sont plus nombreux que ceux d'origine chimique, par contre ils ne sont jamais de grande ampleur et leur impact sur l'environnement vivant et bâti reste très faible, souvent limité au niveau des travailleurs présents à proximité, des machines et des locaux de travail [8].

I-3-5-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 (figure7) :

– 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 existant en donnant naissance au phénomène accidentel [8].

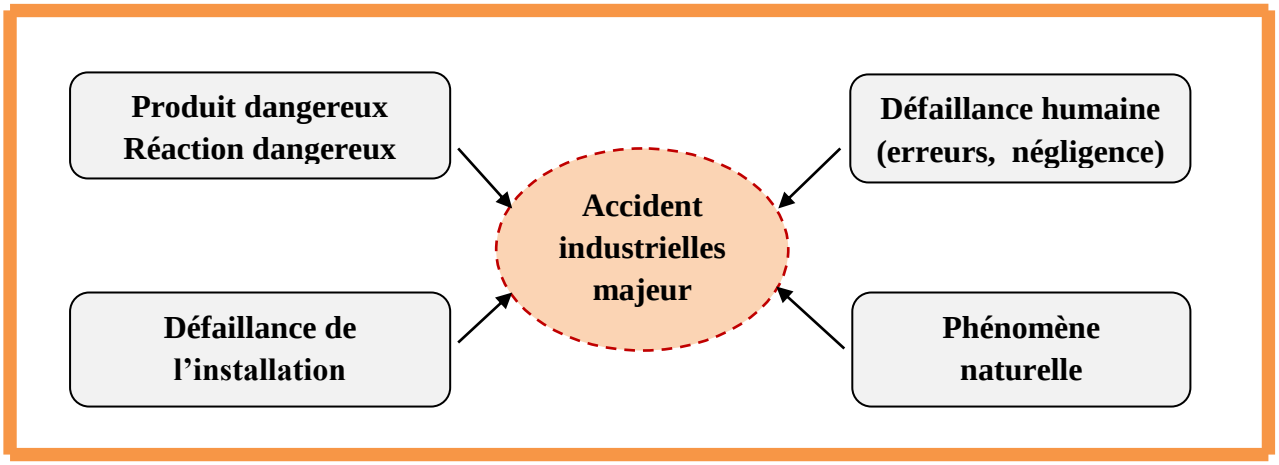


Figure 7 : Principales causes des accidents industriels majeurs [8].

I -3-6-La localisation des risques industriels

Les risques industriels existent un peu partout dans les usines et les ateliers industriels [8].

- **Dans les ateliers de production de produits et d'objets divers**

Une telle production suppose :

– l'emploi de produits chimiques plus ou moins dangereux, de matériaux divers inertes ou non ;

– l'utilisation de techniques et de procédures diverses, dont certaines dangereuses ;

– l'emploi d'équipements de travail divers et variés (réacteurs, mélangeurs, presses, filtres, machines-outils, etc.) ;

– des locaux adaptés et équipés conformément aux règles de sécurité notamment. Un dysfonctionnement quelconque au niveau des opérations, une erreur ou des défauts au niveau des équipements, des erreurs et négligences dans la conception des systèmes et les opérations peuvent se traduire par des accidents de gravité variable. C'est le cas des accidents de Seveso et de Flixborough [8].

- **Dans les locaux de stockage et de magasinage**

Les nécessités de production obligent les entreprises à prévoir des stocks de produits et de matériaux qui sont alors conservés dans des locaux ou des zones adaptés et équipés en conséquence. Souvent, les quantités stockées sont importantes et les risques existants peuvent donner naissance à des accidents industriels majeurs. Les accidents de Feyzin et d'AZF illustrent cette situation, les quantités de produits chimiques dangereux, explosifs ou inflammables étant importantes. Plusieurs situations sont à envisager en pratique :

– le stockage de matières premières, de produits semi-finis et de produits finis au sein d'une usine de production, généralement dans un secteur du site ;

– le stockage au sein d'une entreprise spécialisée dans le magasinage ou d'une entreprise de transport. Dans chacun des cas, on distingue :

– le stockage en vrac à l'air libre, sur une aire d'entreprise ;

– le stockage en vrac dans un hangar ou un bâtiment couvert ;

– le stockage dans des emballages fermés à l'air libre ;

– le stockage dans des emballages fermés dans un hangar ou un bâtiment couvert ;

– le stockage dans des réservoirs, containers, citernes, emballages souples, aériens ;

– le stockage dans des réservoirs, containers, citernes, enterrés. Ces stocks peuvent être conservés soit à l'air libre (cas d'AZF), soit dans des réservoirs fermés (cas de Feyzin), soit encore dans des locaux de magasinage spécifiques ou non à un ou plusieurs produits ; dans ce dernier cas, un problème supplémentaire se pose, celui de la compatibilité des substances présentes [8].

- **Lors du transport des produits et matériaux, quelle que soit la voie utilisée**

Le transport des matières dangereuses présentes également des risques non négligeables pour l'environnement, et les accidents survenus peuvent revêtir un caractère catastrophique par les dégâts causés. Bien qu'il s'agisse de risques dans le transport, celui des matières dangereuses peut s'inscrire dans le cadre des risques industriels. En effet, la production industrielle suppose des opérations permanentes de transports de produits et de matériaux tant au sein de l'usine qu'à l'extérieur. Il s'agit pour l'essentiel :

– du transport d'un secteur à un autre secteur de l'usine, par exemple de la zone de stockage aux ateliers de fabrication pour les matières premières et de la zone de fabrication au magasin de stockage des produits finis avant leur expédition vers les clients ;

– du transport de l'usine vers le lieu d'utilisation ou pour les grossistes, le lieu de stockage intermédiaire avant expédition vers les utilisateurs ;

– au niveau des magasins de stockage, d'un endroit ou local à un autre, en fonction des besoins et de l'organisation et gestion des stocks. Le transport des matières dangereuses est intimement lié au stockage dans la mesure où les problèmes liés aux transvasements, chargements et déchargements sont pratiquement communs aux deux et présentent des risques non négligeables, notamment au niveau des défaillances humaines (erreurs sur les produits transvasés) [8].

I -3-7- Les catégories d'effets

On distingue trois types d'effets sur les personnes et les biens. L'intensité des effets varie en fonction de **la violence** de **l'accident**, de **la distance** à laquelle on s'en trouve, de **la**

durée d'exposition à ces effets et de **la nature** et du **type de substance dangereuse** en question [11].

1) 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 [11].



Figure8 : incendie sur un site de stockage [11].

2) Les effets mécaniques

Les effets mécaniques sont liés à une surpression, résultant d'une **onde de choc** (déflagration ou détonation), provoquée par une explosion (type boil over ou BLEVE). Les conséquences des effets mécaniques sont établies par des spécialistes qui calculent la surpression engendrée par l'explosion (par des équations mathématiques) afin de déterminer les effets associés : chocs, commotions (lésions aux tympans, poumons, etc.)[11].

• **L'explosion** Elle peut intervenir à la suite d'un choc issu d'un explosif, d'une réaction chimique, d'un échauffement, d'une augmentation de pression, d'une décompression brutale, de l'inflammation d'un nuage de poussières combustibles ou bien encore d'une fuite…

Ce phénomène entraîne nécessairement des risques de traumatismes directs ou liés à l'onde de choc. L'explosion provoque en effet une onde de surpression pouvant déstabiliser les structures matérielles (projections, effondrement des bâtiments) et causer des lésions chez l'homme (lésions internes au niveau des tympans et des poumons, traumatismes, etc.)[11].



Figure 2 : Explosion sur un site industriel [11].

• **Le boilover** ou boule de feu C'est un phénomène qui intervient lorsque de l'eau contenue dans un bac d'hydrocarbure en partie basse se vaporise sous l'effet de la chaleur. Il s'agit d'une projection de la masse d'hydrocarbure contenue dans le récipient sous forme d'une boule de feu [11].

• **Le BLEVE** (boilingliquidexpandingvaporexplosion) peut être défini comme une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température normale d'ébullition, à la pression atmosphérique. Lors de l'accident majeur de la raffinerie de Feyzin en 1966, il y eut successivement deux BLEVE. Le premier présentait une boule de feu de 250 m de diamètre et culminait à plus de 400 m de hauteur [11].

• **L'UVCE** (unconfinedvapour Cloud explosion) Il s'agit d'une explosion de gaz à l'air libre. Elle comprend généralement le rejet dans l'atmosphère d'un gaz tel que le GPL, qui se mélange avec de l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable, une inflammation de

ce nuage avec un front de flamme qui se propage. Ce phénomène peut être à l'origine de la formation d'une pression aérienne. L'UVCE se distingue du flash fire (feu de nuage), car le premier implique des effets de pression [11].

3) Les effets toxiques

Les effets toxiques résultent de l'exposition à **une substance toxique** (chlore, ammoniac, phosgène, etc.). L'exposition peut se faire par inhalation, par contact cutanée (peau, yeux, etc.) ou par ingestion. Les effets découlant de cette exposition peuvent être, par exemple, un œdème du poumon, une atteinte du système nerveux par des brûlures ou d'autres effets à long terme comme l'infertilité, les cancers, etc. [11].



Figure 3 : Pompiers en exercice NRBC : risque nucléaire, radioactif, biologique et chimique [11].

Les causes d'exposition peuvent être liées soit au fonctionnement de l'installation (manipulation de substances sur le site) soit à une fuite ou à une dispersion dans l'air (le nuage toxique), le sol ou les eaux. Il est important de relever le caractère chronique de certaines expositions : les effets ou conséquences sont ici étalés dans le temps, la pollution du

sol peut en effet perdurer pendant des années et contaminer gravement les cultures présentes sur ces sols, ou bien encore les nappes phréatiques. Les biotechnologies ou nanotechnologies peuvent également être à l'origine de ces risques en raison de la dissémination de micropolluants dont on ne connaît pas les effets à long terme sur l'homme et l'environnement [11].

- **La notion de toxicité et de dangerosité**

Le danger et le risque sont extrêmement liés à la toxicité et à la dangerosité physique que peuvent présenter les substances présentes, utilisées, transportées ou fabriquées dans les installations, que cette toxicité soit aiguë ou chronique. Cette idée de toxicité et de danger physiques trouve toute sa signification aussi bien en matière de risque industriel que pour les sites et sols pollués, comme pour le transport des matières dangereuses. Il est donc nécessaire de bien la comprendre. De plus, le régime européen (Seveso III), qui s'applique aux établissements considérés les plus à risque (et donc tombant sous la réglementation la plus contraignante), dépend de la classification officielle des substances et des mélanges dangereux selon des critères bien définis. Un changement de classes et de catégories de dangers peut donc directement affecter le champ d'application du cadre règlementaire pour la substance concernée. Plusieurs centaines de milliers de substances chimiques de synthèse transitent sur le sol européen, dans des volumes qui dépassent la tonne sur une année. Ces substances et ces mélanges se dispersent et s'accumulent fréquemment dans notre environnement, dans les organismes vivants, sans se dégrader, faisant d'eux des polluants persistants.

On appelle ce phénomène la bioaccumulation. D'autres substances sont cancérigènes, mutagènes, neurotoxiques ou ont d'autres propriétés préoccupantes pour la santé ou l'environnement. Les données sanitaires et environnementales sur leurs effets à long terme ne sont disponibles que partiellement, et seulement pour certaines substances. Néanmoins, la connaissance sur la toxicité et la classification de ces substances devrait largement s'étoffer avec l'application du règlement REACH et CLP sur le territoire européen [8].

Le règlement européen REACH correspond à l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions relatifs aux substances chimiques. Les dispositions de protection de la santé humaine et de l'environnement sont applicables à la fabrication, à la mise sur le marché et à l'utilisation de ces substances ou mélanges. Le règlement repose sur le principe qu'il incombe aux fabricants et aux utilisateurs, en aval, de veiller à fabriquer et à utiliser des substances qui n'ont pas d'effets nocifs pour la santé humaine ou l'environnement. Le déclarant (entreprise) doit fournir et enregistrer des données dans une base de données centrale gérée par la nouvelle agence européenne des produits chimiques(ECHA), à Helsinki. De plus, l'Union européenne a adapté le système de classification des substances chimiques et de leurs mélanges au système général harmonisé (SGH) dans le règlement CLP, qui oblige l'industriel à classifier les substances chimiques et les mélanges en fonction de leurs propriétés dangereuses. Il existe plusieurs classes de dangers physiques et plusieurs catégories de toxicité en ce qui concerne les dangers pour la santé et l'environnement [8].

Le tableau 2 donne une liste des principaux produits et matières industriels dangereux.

Tableau 2 : Liste des principaux produits industriels dangereux [8].

Families	Substances toxiques	Substances nocives	Inflammables explosibles
Métaux et oxyde	Arsenic , cadmium, Mercure, plomb	Cuivre, nickel, cobalt	Magnésium, aluminium, fer, zinc, tous à l'état pulvérulent
Métalloide	Fluor, chlore, biome, iode, cyanogéne, Sulfure de carbone, ammoniac, oxyde de carbone	Soufre, phosphore	Hydrogène, phosphore, ammoniac
Acide et anhydrides	Cyanhydrique, fluorhydrique, phosgène, An hydrique, sulfureux, dioxyde d'azote	Chlorhydrique, nitrique, sulfurique, Phosphorique, acétique, formique	Cyanhydrique, Perchlorique, nitrique, picrique, persulfurique
Sels	Cyanures, chromates, bichromates, picrates	Tous à des degrés divers	Picrates, Nitrates, chlorates, perchlorates, persulfates

Hydrocarbures	Benzene , hexane, anthracène, benzopyrène	Toluene, xylenes, styrene, naphtalène	Tous
Hydrocarbureschloré	Tétrachlorure de carbone, chlorure de vinyle, chloroforme, tétrachloroéthane	Trichloréthylène, perchloroéthylène, chlorure de méthyle, chloroprène	Quelques hydrocarbures très peu chlorés
Alcools	Cyclohexanol, allylique, phenols, naphtols	Methanol , butanol	Tous
Aldehydes et cétones	Acroléine , formol, isophorone	Furfural , cydohexanone, méthyléthylcétone	Tous
Éthers et dérivés	Éthers de glycol, oxyde d'éthylène	Ether éthylique	Tous
Amines	Amine aromatique , aniline ,benzidine	Amine aliphatiques	Amine aliphatique volatiles

Le règlement CLP permet un régime transitoire du 1er décembre 2010 au 1er juin 2015. Durant cette période, deux systèmes de classification coexisteront : les substances et les mélanges qui sont classés selon les directives 67/548/CEE du 27 juin 1967modifiées, directives Substances, et la directive 1999/45/CE du 31 mai 1999, directive Préparations actuelles, permettent de maintenir les phases de risque et les fiches de sécurité (FDS). On distingue différentes classes : dangers physiques, dangers pour la santé et dangers pour l'environnement [8].

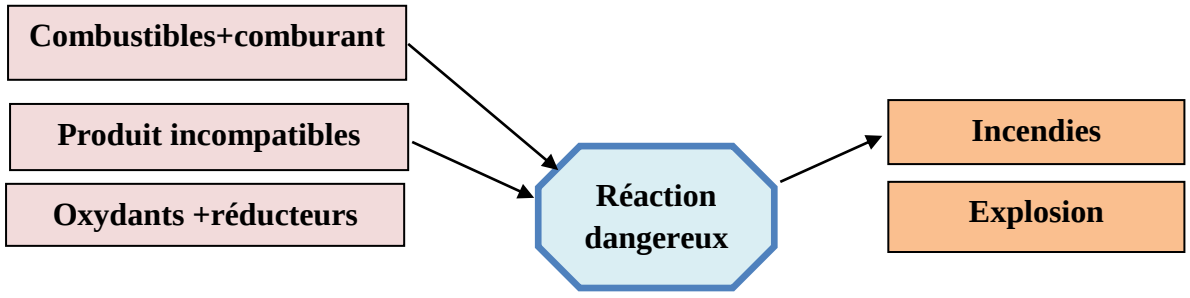
Le régime CLP prescrit également le pictogramme et autres mentions à apposer sur l'étiquette si la substance ou le mélange est mis sur le marché. La mise en œuvre de ces règlements permettra sensiblement d'améliorer la connaissance, et donc la culture, du risque en Europe et aura beaucoup d'incidence sur l'application du cadre réglementaire [8].



Figure 11 : Les 9 pictogrammes de danger CLP/SGH [8].

Les réactions chimiques dangereuses

Les réactions chimiques sont dites dangereuses lorsqu'elles donnent naissance soit à des incendies et des explosions, soit à la formation et l'émission dans la nature, de produits toxiques pour les animaux et les végétaux (figure 12). Les produits qui entrent dans le processus des réactions dangereuses, autrement dit qui se combinent suivant ces réactions, sont appelés produits incompatibles. On peut dire que toute l'industrie chimique est basée sur les réactions mettant en jeu des produits peu compatibles entre eux, mais ce dernier terme est généralement attribué aux produits qui, en donnant naissance à des réactions dangereuses difficilement maîtrisables, sont à l'origine d'accidents industriels, majeurs ou non. Dans l'industrie, les réactions dangereuses sont globalement contrôlées, ce qui permet leur utilisation sur une grande échelle. Cela revient à dire que, généralement, les accidents industriels majeurs sont les conséquences des réactions dangereuses mal maîtrisées entre produits incompatibles [8].



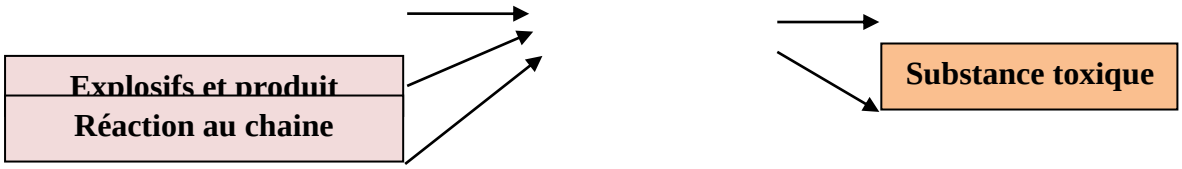


Figure 12 : Réactions chimiques dangereuses [8].

4) Les effets domino

À ces effets pris séparément vient s'ajouter un effet multiplicateur des phénomènes et des impacts nuisibles redoutés : **l'effet domino**. Ce phénomène se produit dans les sites qui abritent plusieurs installations ou autres sites et aménagements potentiellement sources de risques à proximité. C'est l'action d'un phénomène dangereux affectant une ou plusieurs installations d'un établissement ou tout type d'aménagement qui pourrait déclencher un autre phénomène sur une installation ou un établissement voisin, pouvant être soit la source soit conduire à une aggravation générale des effets du premier phénomène.

Pour mieux comprendre le mécanisme, il suffit d'imaginer l'explosion de stocks de matières explosibles situés sur un site B suite à l'incendie d'un entrepôt de papier situé sur un site A. Ou bien qu'une explosion sur un site A projette un missile (type matériel) qui provoque une brèche dans un stockage de substances dangereuses sur un site B. Ces substances se déversant dans un fleuve ou causant une réaction (chimique) en chaîne déclenchant d'autres phénomènes dangereux sur ce même site ou un autre site.

Les effets peuvent alors être encore plus dévastateurs. On peut donc dire que chaque risque (explosion, incendie, dispersion toxique) est largement susceptible d'en entraîner un, voire plusieurs autres [8].

Toute activité industrielle ou agricole qui est susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou des nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE). Il est évident que chaque type d'activité industrielle engendre des impacts différents sur l'environnement, la santé et la sécurité. Un abattoir comporte peu de risque d'explosion. En revanche, il peut présenter un risque relativement important de pollution des milieux. Sous la dénomination installations classées, on trouve aussi bien des industries historiques (sidérurgie, métallurgie, chimie organique…) que des industries plus récentes (biotechnologies, semi-conducteurs, etc.) [8].

Cette notion d'ICPE est également hétérogène en termes de dimensionnement ou de configuration : on peut y trouver des activités comportant des unités très volumineuses (raffineries, sidérurgies, cimenteries, centrales thermiques…),

Ainsi que des activités réparties en un grand nombre de petits ateliers, comme un mitage (distribution de carburants, pressings…). Si le secteur industriel est le plus représenté, l'agriculture et aquaculture, avec les élevages intensifs (porcs, volailles, salmonicultures…), et les services publics exploités directement par les collectivités locales ou par d'autres exploitants (décharges et usines d'incinération d'ordures ménagères, chaufferies) font également partie des installations classées [8].

I-4-Risques industriels : prévenir et prévoir pour ne plus subir

❖ La prévention des accidents industriels

1. Les établissements Seveso, une catégorie particulière d'ICPE soumise à un régime renforcé d'origine européenne

Les risques pour la santé, l'environnement et les biens qui résultent des activités industrielles font l'objet d'une politique de prévention visant à réduire leur ampleur, dotée d'un corpus juridique déjà important [12].

Le régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), créé par la loi du 19 juillet 1976, s'impose aux installations dont la nature crée des dangers ou des inconvénients en matière de santé, de sécurité ou d'environnement. Il s'applique à une grande diversité d'installations, Identifiées dans une nomenclature fixée par décret. L'obligation à laquelle est assujettie une installation - **déclaration, enregistrement, autorisation** - dépend de sa catégorie et de ses caractéristiques. Le nombre total d'ICPE est d'environ 493 000 installations [12].

Les différents régimes applicables aux ICPE

- La **déclaration** (D) concerne les activités relativement moins polluantes où DangereusesetImpose à l'exploitant d'informer les services de l'État de la création de l'installation et d'appliquer des prescriptions standardisées. Fin 2018, on recense environ 450 000 installations soumises à déclaration (7 900 nouvelles déclarations).
- L'**enregistrement** (E), créé par voie d'ordonnance en 2009, est assimilable à une

Autorisation simplifiée. Il concerne des installations à l'origine de dangers ou d'inconvénients graves pour la santé, la sécurité ou l'environnement, mais qui peuvent être prévenus par le respect de prescriptions générales définies par arrêté ministériel. Fin 2019, il y avait environ 16 200 installations soumises à enregistrement (710 nouveaux enregistrements).

- L'**autorisation** (A) concerne les installations qui présentent les risques ou les

Nuisanceslesplus significatifs et est délivrée par le représentant de l'État sur la base d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter (DDAE) élaboré par l'exploitant et soumis à enquête publique, comprenant une étude d'impact et une étude de dangers. L'arrêté d'autorisation définit des prescriptions spécifiques pour l'établissement concerné en fonction de ses caractéristiques. Fin 2019, il y avait environ 26 800 installations soumises à autorisation (700 nouvelles autorisations), dont 1 300 **établissements Seveso**.

Les établissements présentant les risques les plus significatifs pour la santé ou l'environnement relèvent d'une législation spécifique d'origine européenne. Applicable aux sites industriels les plus sensibles, ce régime a été créé à la suite de l'accident de Seveso en 1976 par une directive de 1982 (dite Seveso I), remplacée par une nouvelle directive consolidée en 1996 (Seveso II) puis en 2012 (Seveso III), cette dernière étant actuellement en vigueur.

Schématiquement, les établissements Seveso constituent une catégorie particulière d'ICPE soumises à autorisation, assujetties à un régime renforcé. Conformément au droit européen, un établissement relève de cette catégorie au titre de la présence sur site de substances ou de mélanges dangereux, quelle que soit l'activité de l'installation. Selon la quantité de substances ou de mélanges stockés, **les établissements sont qualifiés de Seveso seuil bas** ou **Seveso seuil haut**, ces derniers étant soumis à des sujétions particulières**.** Les substances et seuils déclenchant la mise en œuvre du régime Seveso sont fixés par les rubriques « 4xxx » de la nomenclature des ICPE [12].

2. La maîtrise des risques incombe essentiellement à l'exploitant de l'établissement

La politique de prévention des risques attribue à l'exploitant la responsabilité de la maîtrise des risques associés à son activité. L'entreprise industrielle est en effet à la fois le lieu où se crée le risque et celui où les mesures doivent être mises en œuvre pour le limiter et le maîtriser. La réduction des risques à la source constitue ainsi le **principe cardinal des démarches de prévention**, la gestion des risques résiduels au-delà des limites de l'établissement n'ayant en théorie qu'à intervenir de façon subsidiaire.

En vue d'assumer cette responsabilité, un exploitant doit **concevoir ses activités de façon à réduire au maximum les risques associés** (nature des activités, substances utilisées, procédés de fabrication, organisation du travail) puis **mettre en place des dispositifs de prévention, de protection et d'intervention en cas d'incident ou d'accident**. Ce travail s'appuie essentiellement sur l'étude de dangers réalisée par l'exploitant pour formaliser l'ensemble de ses analyses et de ses engagements en matière de risques [12].

Principaux instruments de la politique de prévention des risques industriels

La politique de prévention des risques industriels s'appuie essentiellement sur des études visant à identifier les risques de l'établissement concerné, et des mesures de prévention, proposées par l'exploitant ou prescrites par l'autorité administrative, visant à réduire au maximum l'aléa à la source, puis à limiter l'exposition des différents enjeux à l'aléa résiduel. Elle s'appuie également sur des instruments de planification de la gestion opérationnelle de crise, dans l'éventualité d'un incident ou d'un accident.

Malgré leur foisonnement apparent, chaque instrument ou document de la politique de prévention des risques industriels contribue distinctement à maîtriser à la source les risques, à réduire l'exposition aux aléas résiduels, ou à organiser la gestion opérationnelle de crise [12].

- L'**étude de dangers (EDD)**

Est une analyse des risques que doit produire l'exploitant de l'établissement concerné dans son dossier de demande d'autorisation d'exploiter (DDAE). Elle vise à caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques de l'installation, en intégrant notamment différents scénarios d'accidents. Elle sert de base à plusieurs documents de planification, en particulier le POI et le PPI en matière de gestion de crise, ainsi que le PPRT pour la prévention des risques à proximité immédiate du site. Il s'agit d'un élément particulièrement structurant pour la gestion des risques d'un établissement Seveso [12].

- **Etude d'impact (EI)**

Est une analyse des impacts du projet sur les différentes composantes de l'environnement, telles que la biodiversité, les milieux naturels et la ressource en eau, qui doit également être intégrée au DDAE par le pétitionnaire. Le régime de l'étude d'impact à réaliser pour une ICPE est proche de celui applicable à tout type de projet, bien que les enjeux de pollution soient généralement plus marqués que pour d'autres équipements ou infrastructures.

Elle permet en particulier d'apprécier les effets de toxicité chronique des rejets normaux des installations, par distinction avec les accidents potentiels et leurs effets qui sont analysés dans l'EDD [12].

❖ **Plan de prévention des risques technologiques (PPRT)**

Vise à limiter les conséquences des accidents susceptibles de survenir dans un établissement Seveso seuil haut sur les personnes et les biens situés dans le périmètre d'exposition autour de l'établissement. Sa finalité est de résoudre les situations difficiles en matière d'urbanisme héritées du passé et de mieux encadrer l'urbanisation future, en organisant la coexistence sur un même territoire d'établissements à risques et d'autres activités ou d'habitations. Il permet en particulier d'engager des mesures foncières [12].

Trois autres documents relèvent de la planification des mesures de gestion de crise, en cas d'incident ou d'accident [12].

❖ **Plan d'opération interne (POI)**

Est élaboré par l'exploitant d'un établissement Seveso pour organiser la réponse interne à mettre en œuvre en cas de phénomène accidentel, à partir des capacités propres à l'exploitant. Il vise à limiter l'évolution d'un sinistre interne à l'établissement, et à remettre l'installation en état de fonctionnement. Il peut également être activé en appui aux mesures engagées dans le cadre d'un PPI. Il doit être testé et mis à jour tous les trois ans [12].

❖ **Plan particulier d'intervention (PPI)**

Est élaboré par les services de l'État sous l'autorité du préfet pour chaque établissement Seveso seuil haut afin d'organiser la mobilisation et la coordination de tous les acteurs nécessaires à la gestion de crise, dès lors qu'un accident dépasse les limites de l'établissement et impacte ou est susceptible d'impacter la population. Il fait l'objet d'exercices et d'une révision tous les trois ans. Il s'agit d'une composante du plan d'organisation de la réponse de sécurité civile (Orsec) au niveau départemental [12].

❖ **Plan communal de sauvegarde (PCS)**

Est élaboré par le maire, en vue d'organiser la réponse de proximité au niveau communal face aux crises de toute nature, notamment à caractère industriel. S'il vise prioritairement à gérer les accidents, sinistres ou catastrophes limitées au territoire de la commune, il constitue un outil complémentaire aux actions du préfet lorsque celui-ci prend la direction des opérations de secours [12].

3. La maîtrise des risques est mise en œuvre tout au long du cycle de vie d'un établissement industriel

- La phase de création

La **création** d'un établissement industriel constitue une étape particulièrement structurante en matière de risques, car elle détermine les caractéristiques de l'établissement, son profil de risque et les mesures de prévention et de protection à mettre en place. À partir de **l'étude de dangers** produite par l'exploitant, lorsqu'elle estime disposer des documents suffisants, l'autorité administrative autorise sa création par un arrêté définissant les prescriptions spécifiques que son fonctionnement doit respecter en matière de risques, en complément de prescriptions génériques. Depuis mars 2017, la procédure d'autorisation des établissements Seveso est intégrée à l'**autorisation environnementale**, qui regroupe plusieurs autorisations sectorielles au sein d'une procédure unique (autorisation ICPE, dérogation aux espèces protégées, défrichement...) [12].

- La phase d'exploitation

Pendant la **phase d'exploitation** d'un établissement Seveso, à l'instar de toute ICPE autorisée, des contrôles programmés ou inopinés sont organisés par les services de l'État pour vérifier le respect des prescriptions et engagements en matière de maîtrise des risques. Si cela est nécessaire, **des prescriptions complémentaires** peuvent être édictées par le préfet après la mise en service de l'établissement. De telles prescriptions peuvent également être imposées à l'exploitant à la suite d'un incident ou d'un accident. Les prescriptions applicables à une installation peuvent également évoluer du fait d'un changement général des connaissances et techniques applicables à la gestion des risques.

Les conditions d'exploitation peuvent également être modifiées **à l'initiative de l'exploitant**, auquel cas le préfet apprécie la nécessité d'exiger une nouvelle demande d'autorisation et/ou d'imposer de nouvelles prescriptions à l'établissement [12].

- La phase de mise à l'arrêt

Au terme de l'exploitation d'un établissement Seveso, après **mise à l'arrêt définitif**, des obligations de **mise en sécurité** du site et de **réhabilitation** en vue de permettre un usage futur du terrain incombent à l'exploitant, selon des modalités précisées dans la décision d'autorisation.

Pour les installations autorisées avant le 1er février 2004, les mesures de réhabilitation doivent permettre un usage futur déterminé en concertation avec le propriétaire du terrain - s'il diffère de l'exploitant - et du maire ou du président de l'EPCI compétent en matière d'urbanisme [12].

4. La réglementation en matière d'ICPE est appliquée par un corps d'inspection spécialisé au niveau déconcentré

Si la maîtrise des risques industriels relève de la responsabilité des exploitants, la mise en œuvre des différentes mesures est placée sous le contrôle d'une autorité administrative. **La police des ICPE est assurée par le corps des inspecteurs des installations classées**, qui représentent 1 240 équivalents temps plein travaillé (ETPT), exerçant leurs missions essentiellement dans les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal) pour les établissements Seveso.

L'inspection des ICPE intervient en amont pour **instruire les dossiers** de demande d'autorisation d'exploiter, en particulier le contenu de l'étude de dangers, et **formuler les prescriptions** à imposer à l'exploitant dans le cadre de l'autorisation. Elle s'assure également du respect par l'exploitant des engagements pris dans son dossier de demande et des prescriptions réglementaires pendant l'exploitation de l'installation, *via* des **contrôles** dont la fréquence varie en fonction du régime dont relève l'installation.

Sur la base des analyses et recommandations formulées par les inspecteurs des ICPE, **des décisions réglementaires sont prises par le préfet de département** à l'égard de l'exploitant lors des différentes étapes du cycle de vie de son établissement (autorisation ou enregistrement, définition de prescriptions complémentaires, mise en demeure en cas de manquement persistant, édiction de sanctions administratives...). Les ICPE d'une même catégorie sont également soumises à **des prescriptions génériques définies au niveau national par arrêté ministériel** [12].

En complément de nombreuses instructions, circulaires et guides pratiques, le travail de l'inspection des ICPE est encadré par **des orientations stratégiques pluriannuelles** élaborées au niveau central par la Direction générale de la prévention des risques, pour définir les priorités d'action en fonction des retours d'expérience des années précédentes et des tendances prévisibles en matière de risques [12].

5. L'information de la population, un principe renforcé par la directive Seveso III

L'information des populations exposées aux risques industriels majeurs est une composante essentielle de la politique de prévention. La dernière version de la directive Seveso, actuellement en vigueur (Seveso III), identifie d'ailleurs l'information du public comme une priorité et un axe fort d'amélioration, en vue d'assurer l'application pleine et entière de la convention d'Aarhus au sein de l'Union européenne.

L'article L. 125-2 du code de l'environnement établit **un droit des citoyens à l'information sur les risques majeurs** auxquels ils sont soumis et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. En matière de risques industriels, ce droit à l'information est notamment mis en œuvre par :

- l'enquête publique menée lors de la demande d'autorisation de l'établissement, dont le dossier comprend notamment un résumé non technique de l'étude de dangers et de l'étude d'impact, ainsi que lors de l'élaboration du PPRT ;

- la commission de suivi de site (CSS)créée autour d'un ou de plusieurs établissements Seveso, dont les réunions font l'objet d'un compte rendu publié ;

- le document départemental sur les risques majeurs (DDRM) et le document d'information communal sur les risques majeurs (Dicrim) ;

- l'information à fréquence régulière des riverains d'établissements Seveso seuil haut ;

- les fiches d'information du public sur les établissements Seveso et les plaquettes d'information sur la conduite à tenir en cas d'accident majeur ;

- le dispositif d'information acquéreur-locataire (IAL) qui comprend des informations sur les risques technologiques majeurs à l'occasion d'une opération immobilière [12].

Ce principe d'information peut toutefois être modulé en raison d'autres motifs d'intérêt général, en particulier la prévention des actes de malveillance, en application de l'article L. 124-4 du code de l'environnement et de l'article L. 311-5 du code des relations entre le public et l'administration. À titre d'exemple, la version diffusée auprès du public du PPI, du PPRT et de certaines décisions préfectorales est souvent expurgée d'informations pouvant porter atteinte à la sûreté de l'État ou à la sécurité publique. Certaines de ces informations non communicables restent consultables selon des modalités spécifiques, tandis que les plus sensibles sont également non consultables [12].

Chapitre II
Méthode D'analyse De Risque Industrielle

Toute unité industrielle est confrontée à une multitude de risques de natures différentes. La gestion des risques repose sur un processus séquentiel et itératif de même structure et consiste à réaliser successivement l'analyse et l'évaluation [13].

II.1 Gestion des risques industriels

La gestion des risques est une « approche adoptée par une collectivité ou une organisation, visant la réduction des risques et misant sur la prise en compte constante et systématique des risques dans ses décisions administratives, dans la gestion de ses ressources ainsi que dans la façon dont elle assume ses responsabilités ». Il s'agit donc d'un modèle de gestion axé sur la protection des personnes et des biens qui cherche à s'adapter aux réalités modernes et complexes de nos sociétés. Comme les risques sont des éléments constituants de celles-ci, ils sont à la fois complexes, diversifiés et dynamiques. Or, la gestion des risques est un modèle qui doit être à même de répondre à cette réalité.

Diverses catastrophes industrielles récentes, comme celle de Toulouse (2001), ont démontré que malgré l'application des mesures de sécurité, la possibilité que survienne un accident industriel majeur demeure toujours présente. En effet, malgré « la mise en œuvre effective des mesures d'atténuation, les risques résiduels sont une éventualité que toute installation à risque devrait considérer ». Par ailleurs, « le progrès scientifique et technologique, allié aux impératifs économiques d'une société de 7 consommations, donnent lieu à l'apparition de nouveaux dangers menaçants la santé et la sécurité des personnes ». En outre, certaines problématiques urbaines (ex. : croissance de la population et l'étalement du tissu urbain) contribuent à augmenter le nombre de personnes exposées à des installations comportant des risques industriels majeurs.

Dans ces circonstances, les risques industriels, de par les conséquences qu'ils peuvent engendrer sur les personnes, les biens et l'environnement, constituent des enjeux importants pour les sociétés modernes. Dans cette lignée, on voit de plus en plus se développer des modèles de gestion visant à s'assurer de la maîtrise de ce type de risques [14].

II -1-1 Processus de gestion des risques : une démarche de concertation

La gestion des risques implique également la mise en place d'une « approche commune entre les personnes dont les activités ou les biens génèrent des risques, les services d'urgence des municipalités, les citoyens et les autres parties prenantes ».

En ce sens, l'efficacité d'une telle démarche passe par une pratique basée sur la concertation et le partage des responsabilités entre les différents acteurs du milieu.

Le processus de gestion des risques en question comprend les phases suivantes : la prévention, la préparation aux situations d'urgence, l'intervention, le rétablissement et un processus continu de communication entre tous les acteurs au cours du processus [14].

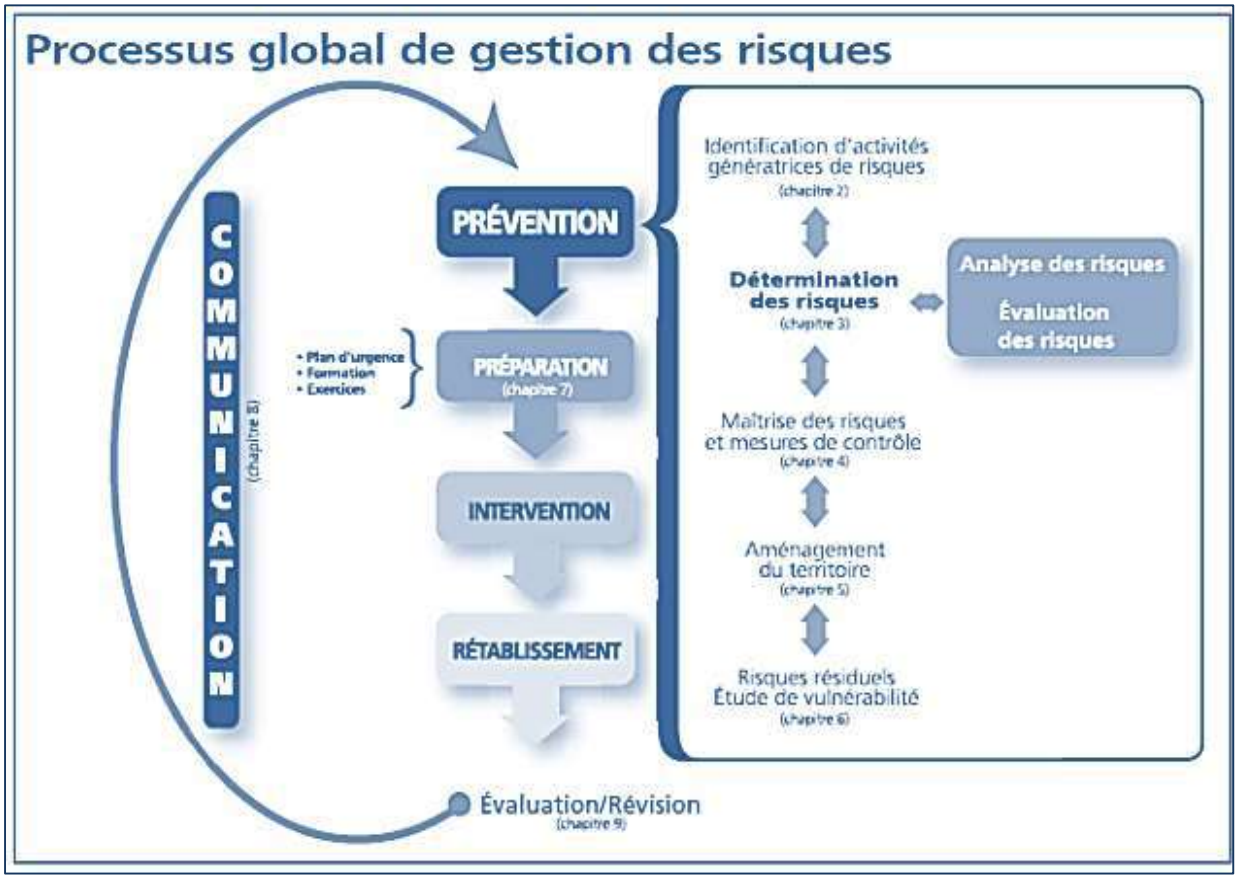


Figure 2 -1 : Processus global de gestion des risques du CRAIM [14].

La section suivante propose un survol de la démarche du CRAIM pour la gestion des risques d'accident industriels majeurs. Une attention particulière sera portée aux trois premières phases du processus, soit **la prévention**, **la préparation** et l'**intervention** [14].

II -1-1-1 Prévention

La prévention comprend plusieurs étapes :

- L'Identification des activités génératrices de risques,
- La détermination des risques,
- La maîtrise des risques et les mesures des contrôles,
- L'aménagement du territoire et la gestion des risques résiduels [14].

1) L'Identification des activités génératrices de risques

Les autorités publiques et les entreprises manipulant des substances dangereuses se doivent de procéder à l'identification des activités génératrices de risques susceptibles d'engendrer un Accident industriel majeur. En ce sens, certains dispositifs légaux, comme le Règlement sur les urgences environnementales (LPE), précisent le type de matière ainsi que les quantités seuils au-delà desquelles les entreprises devront se soumettre à différentes procédures (ex. : déclaration, évaluation des risques) [14].

2) Détermination des risques

La détermination des risques constitue la base de la prévention des accidents industriels majeurs. L'étape de la détermination vise l'atteinte du risque tolérable pour toutes les parties étant concernées par ceux-ci. Pour cela, l'application du processus devra se faire de façon continue, dans le but d'atteindre le risque minimal [14].

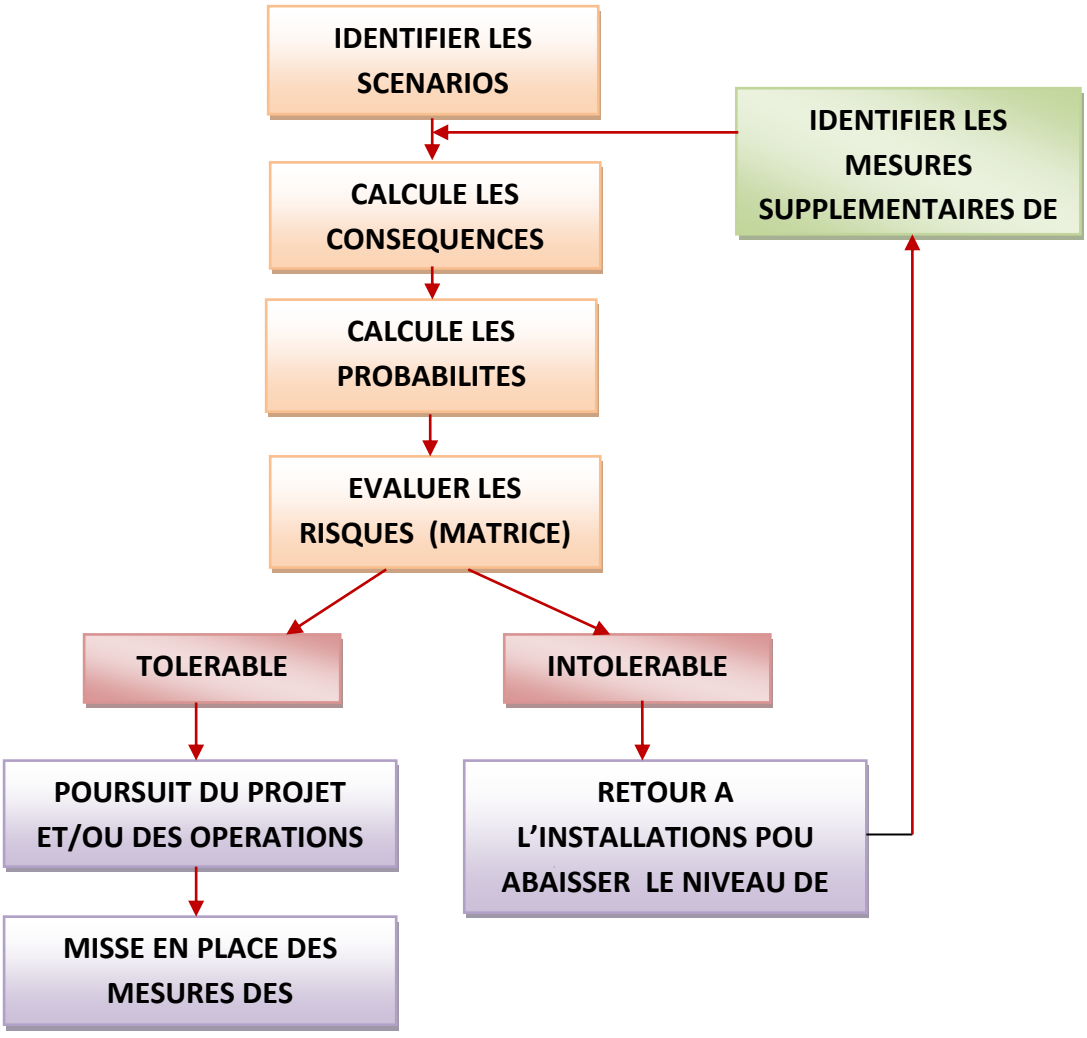


Figure 2-2 : Détermination des risques [14].

On retrouve d'une part l'analyse des risques puis, dans un deuxième temps, l'évaluation du risque. Mentionnons que la présentation de ces deux étapes sera effectuée par le biais d'une application aux installations industrielles fixes (ex. : usine pétrochimique, site d'entreposage de matières dangereuses, etc.) [14].

2-1 Analyse des risques

2-1-1) Définition de l'analyse des risques : L'analyse des risques consiste à les identifier et à comprendre les mécanismes conduisant à leur concrétisation dans le but de réduire leur probabilité d'occurrence et / ou leur gravité. Cette étude doit aboutir à la mise en place de mesures permettant de réduire leur apparition ou leurs conséquences sur l'homme au travail, les matériels de production, les produits, les populations extérieures à notre domaine d'étude ainsi que les écosystèmes pour tendre le plus possible à une maîtrise des risques [15].

Selon ISO/Guide 73 :2009 : l'analyse des risques est un processus mis en œuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque.

• **Note 1** : L'analyse du risque fournit la base de l'évaluation du risque et les décisions relatives au traitement du risque.

• **Note 2** : L'analyse du risque inclut l'estimation du risque [15].

➢ Cadre légal

Le but de l'arrêté royal du 27 mars 1998 relatif à la politique du bien-être est de déterminer un concept global qui doit permettre d'effectuer une analyse des risques au sens le plus large du terme. Ces dispositions font de l'analyse des risques la base de la prévention [14].

2-1-2) La formalisation des étapes de l'analyse des risques :

A priori toutes les analyses des risques visent à identifier les risques présentés par un système, en vue de pouvoir ensuite agir pour en réduire la gravité et la probabilité. Ces objectifs se traduisent dans les méthodes d'analyse de risques par des étapes plus ou moins formalisées visant :

1. La définition du système auquel la méthode va être appliquée

2. L'identification des risques

3. L'identification des mécanismes générateurs de risques

4. L'évaluation des scénarios de réalisation de ces risques

5. La hiérarchisation de ces mêmes scénarios

6. L'identification des solutions Toutes les méthodes d'analyse comprennent implicitement l'ensemble de ces étapes (exceptée pour certaines l'étape 5 de hiérarchisation).

Notre choix de méthode d'analyse sera orienté vers une méthode où, une grande partie de ces étapes seront explicitées en mettant en évidence leurs buts et leurs mises en œuvre [14].

2-1-3) Méthodes d`analyse du risque

Afin de prévenir les risques associés à un procédé, un certain nombre de méthodologie sont été développées pour procéder à une analyse systématique des risques et de leurs conséquences[27].

2-1-4) Classification des méthodes d'analyse de risque

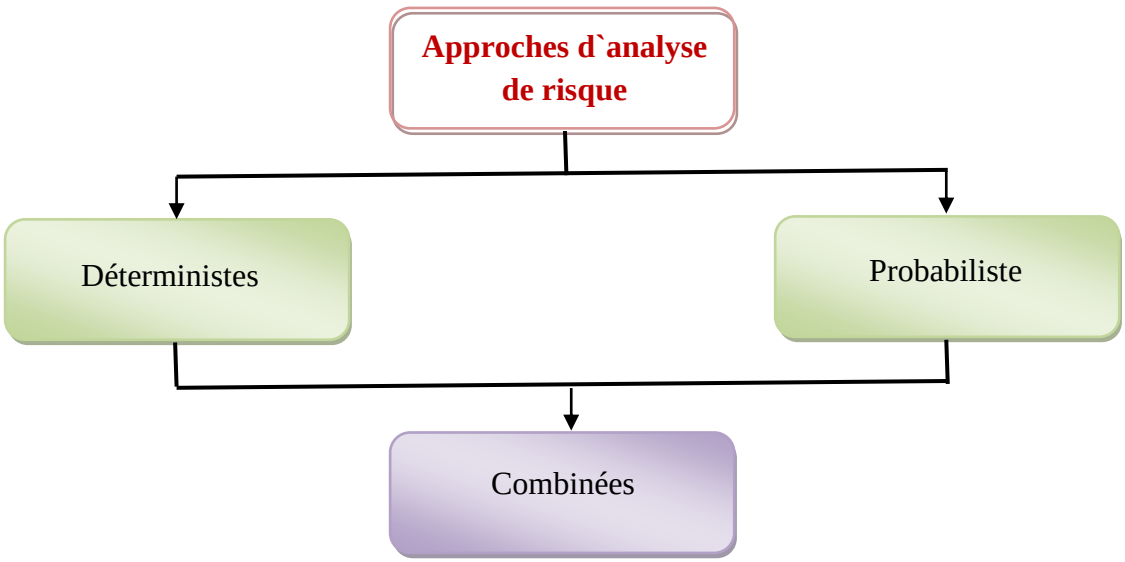


Figure 2-3 : Approches d'analyse de risque[28].

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

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[29].

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[29].

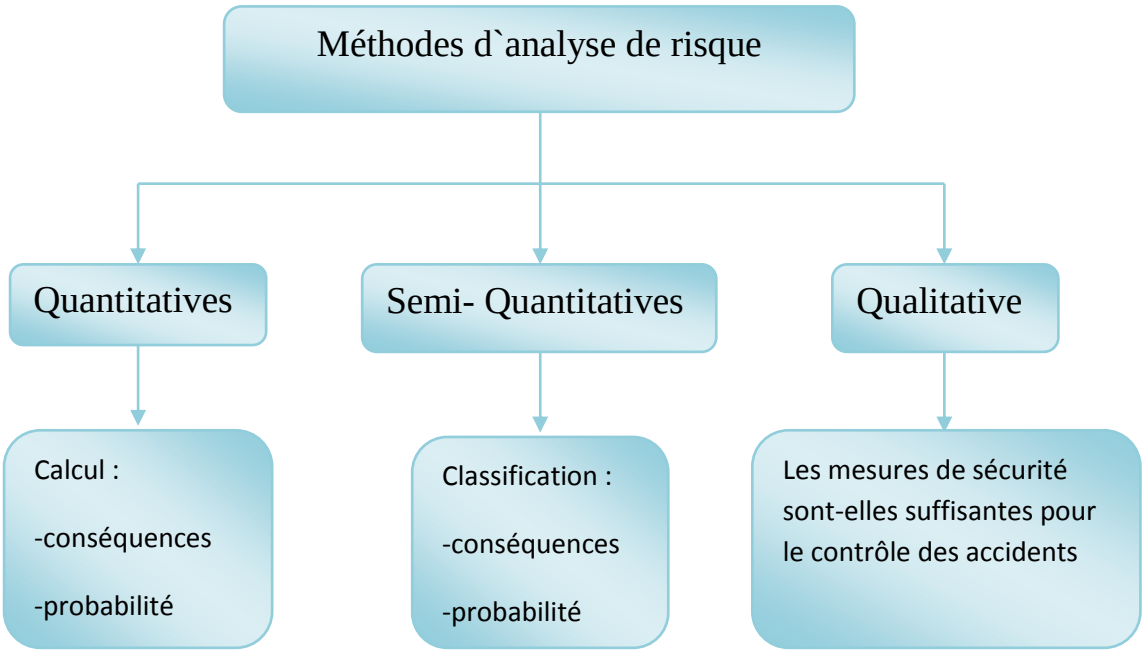


Figure 2-4 : Typologies et Approches des méthodes d'analyse de risque[15].

2-1-4) L'analyse Qualitative :

L'analyse qualitative des risques constitue un préalable à toutes autres analyses. En effet elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants. Pour une bonne évaluation qualitative du risque cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations

pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts.

Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié. Dans quelques études de dangers, cette approche peut être suffisante pour atteindre les objectifs voulus si elle est bien menée et justifiée.

C'est la recherche qui produit et analyse des données descriptives, telles que les paroles écrites ou dites et le comportement observatoire des personnes (Taylor et Bogdan, 1984). Elle renvoie à une méthode de recherche intéressée par le sens et l'observation d'un phénomène social en milieu naturel. Elle traite des données difficilement quantifiables. Elle ne rejette pas les chiffres ni les statistiques mais ne leur accorde tout simplement pas la première place[15].

2-1-4-1 Démarche inductive et démarche déductive

a) 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 [30].

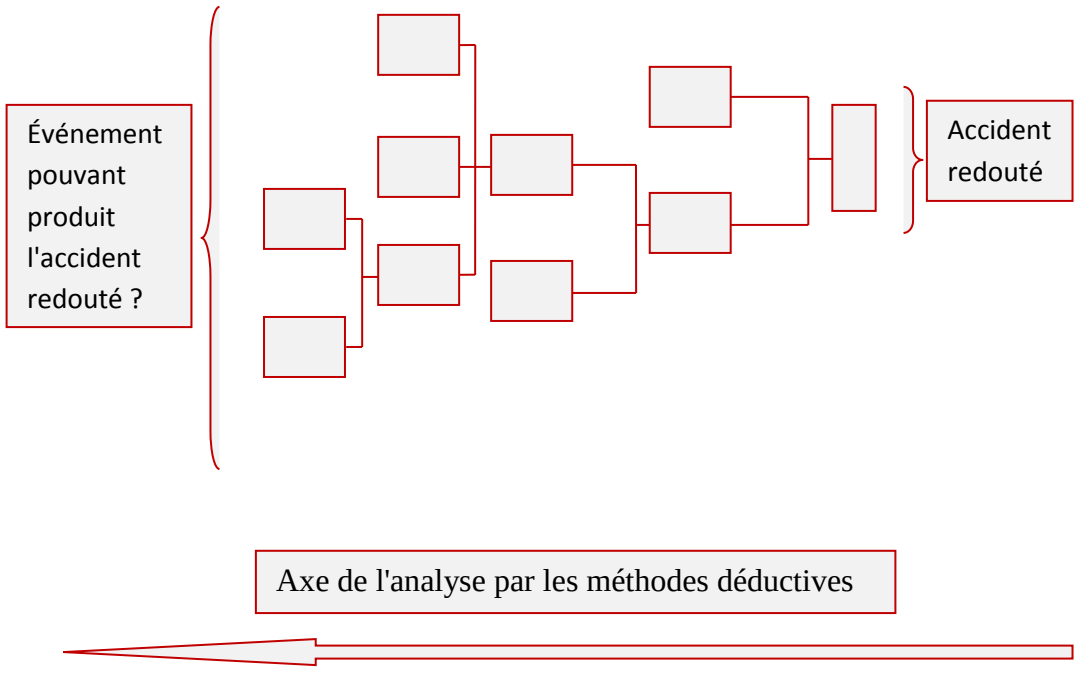


Figure 2-5 : Mode de recherche déductive[31].

b) 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. [30

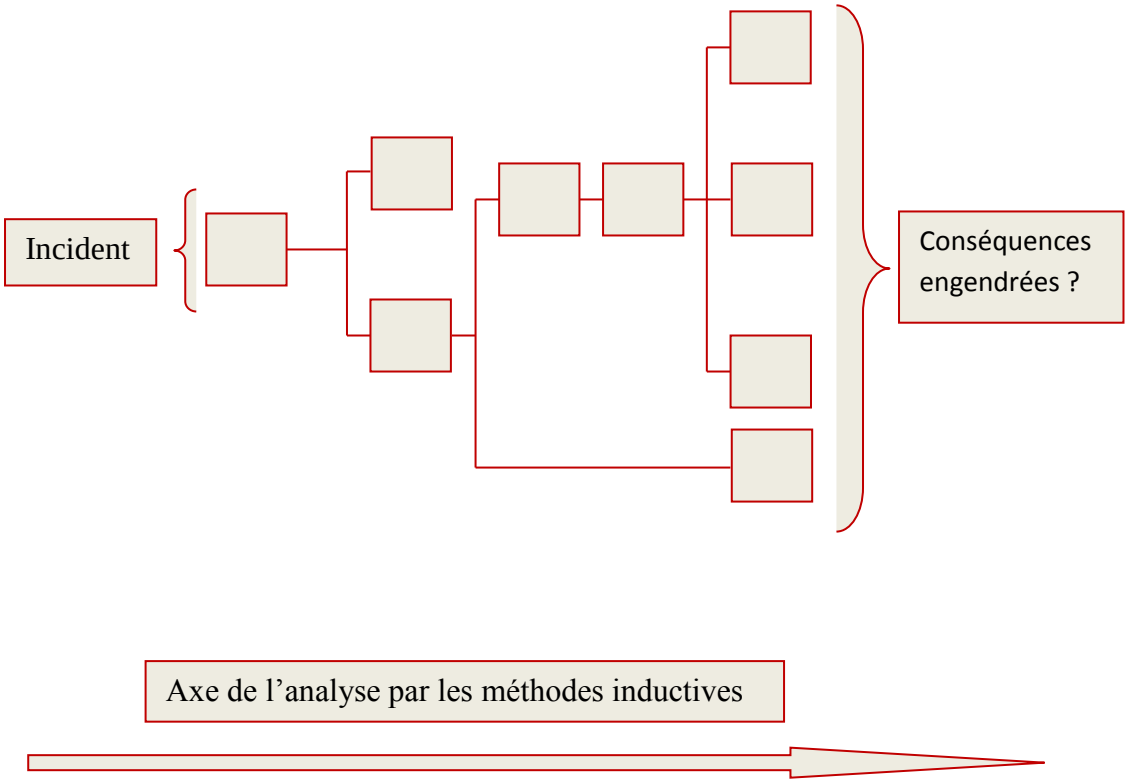


Figure 2-6 : Mode de recherche inductive[31].

2-1-4-2Panorama des méthodes d'analyse de risque

Introduction :

L'objectif de la présentation des méthodes et démarches est de les caractériser rapidement et de les situer les unes par rapport aux autres. Les principales méthodes d'analyse des risques d'accidents et les plus utilisées sont, APR, AMDEC, HAZOP, WHAT IF, AdE et Nœud papillon. Sont présentées avec plus des détails dans le tableau ci-dessous [16].

Tableau3-1 : Tableau comparatif des principales méthodes d'analyse des risques [16].

Critères		**Méthodes**					
		APR	**AMDEC**	**HAZOP**	**ADD**	**ADE**	**Nœud de Papillon**
Etapes : Formalisation	**Définition du système**	NON	OUI	OUI	NON	NON	NON
	Identification des risques	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON
	Evaluation	NON	OUI	OUI	OUI	NON	OUI
	Hiérarchisation	NON	OUI	NON	NON	NON	NON
	Identification des solution	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON
Domaine d'application privilégie		Installation les moins complexes Etape préliminaire d'analyse	Sous ensemble technique Bien délimités	Système thermo hydrique Industries chimiques Pétrolière Para-chimique	Evènement redoutés ou indésirables probablement identifiés	Défaillance probablement identifiées	Scénario d'accidents jugé les plus critiques
Sens d'investigation		INDUCTIF	INDUCTIF	INDUCTIF	DEDUCTIF	INDUCTIF	INDUCTIF DEDUCTIF

A. Arbre de Défaillance (AdD) :

Est une analyse déductive qui fournit une évaluation Qualitative et quantitative du système. Cette technique permet l'identification et l'évaluation de la probabilité D'occurrence d'un événement de tête. Elle est appuyée par une représentation graphique organisée des conditions ou des facteurs qui contribuent à l'avènement de l'événement indésirable [15].

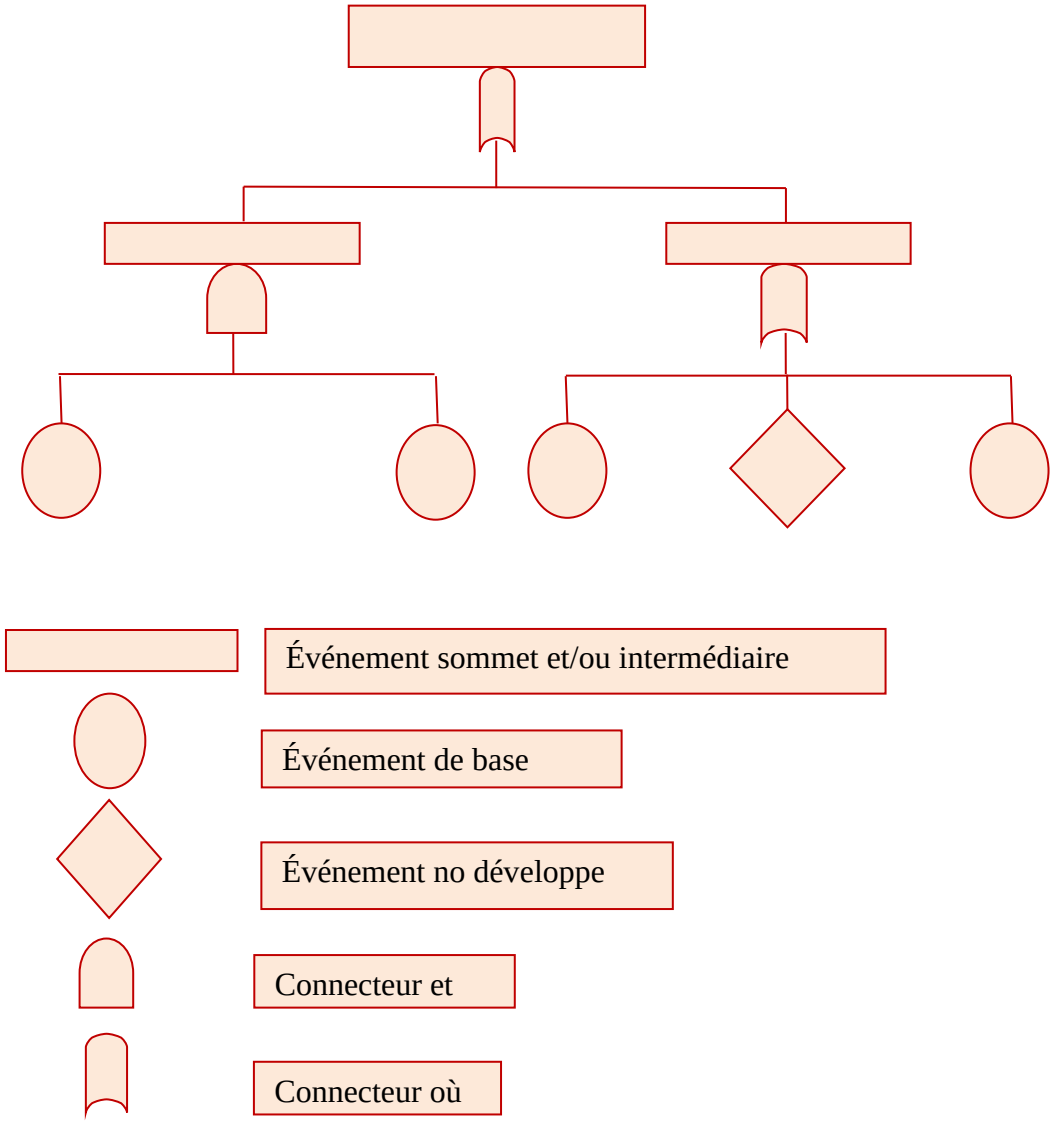


Figure 2-7 : Représentation de l`arbre de défaillance[15].

B. Arbre des causes (ADC)

Est une méthode d'analyse des incidents. Il s'agit de représenter les faits inhabituels ou les incidents sur un arbre des causes. Leur objectif est d'identifier, parmi les actes constituant l'histoire globale qui s'est achevée par un incident, ceux qui correspondent à des défaillances afin de proposer des améliorations, et basée sur le principe d'organisation et décrire, à partir des faits, l'ensemble des actions ayant abouti à l'incident. Il permet ainsi de mettre en évidence l'enchaînement des actes à des fins d'analyse et d'amélioration (correction et/ou prévention)[15].

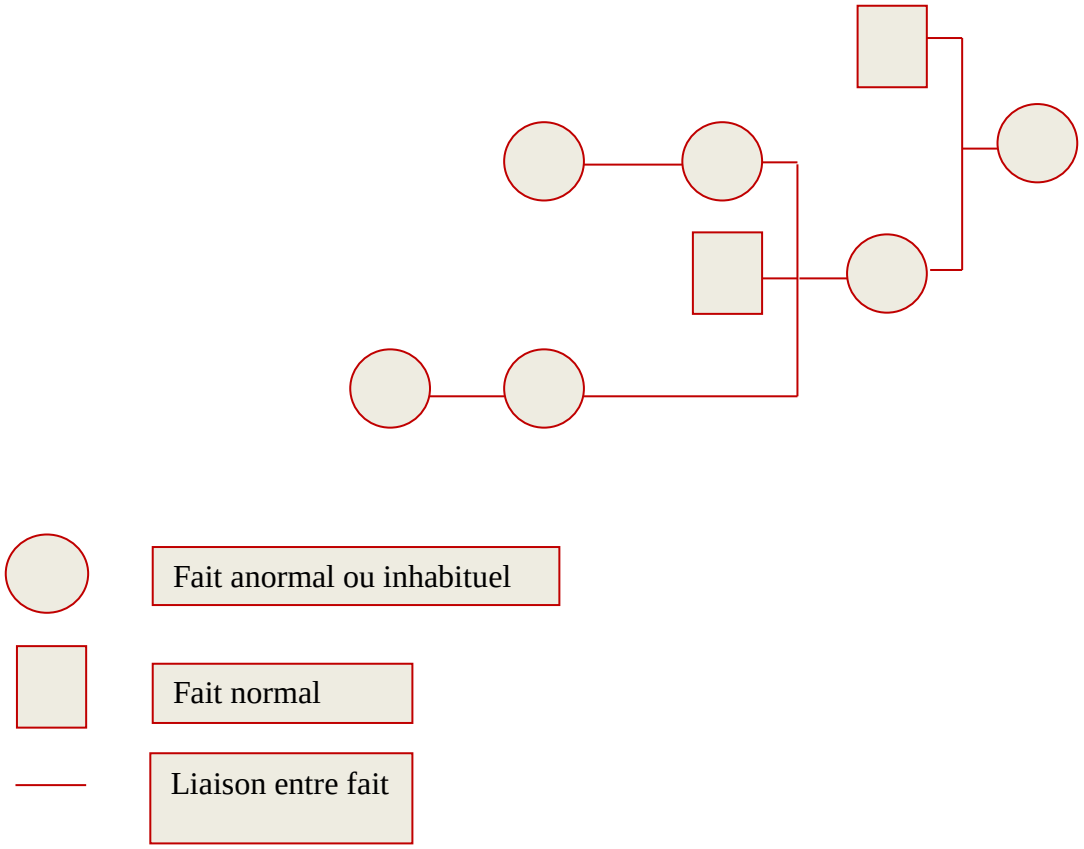


Figure 2-8 : Représentation de l`arbre des causes[15]**.**

C. Arbre d'événements (ADE)

Est une méthode déductive qui consiste à partir de l'événement initiateur conduisant à un événement indésirable à envisager l'échec ou le succès des fonctions de sécurité puis définir les événements susceptibles de se produire en aval de l'événement initiateur, les barrières de sécurité et leurs fonctions doivent être identifiées en leurs affectant des probabilités de défaillance.

L'ADE construit permet temporellement d'identifier les différentes séquences d'événements susceptibles de conduire ou non à des conséquences aux limites et les chemins les plus dangereux conduisant à des conséquences catastrophiques sont ensuite analyses en détail [15].

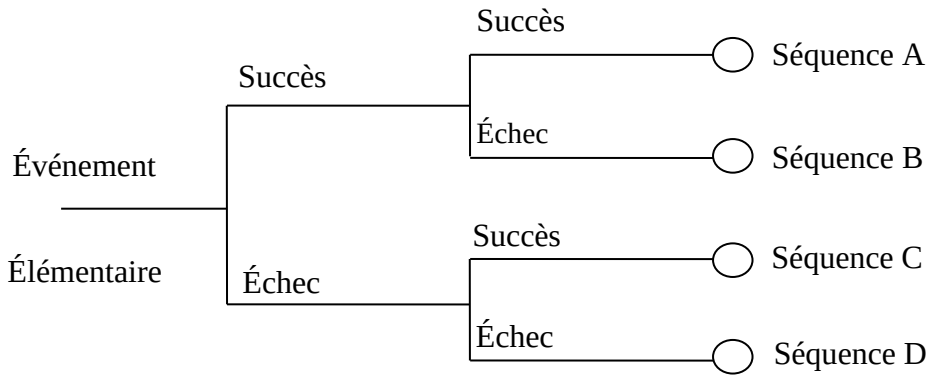


Figure 2-9 : Représentation de l`arbre d`évènement[15].

D. Nœud Paillon

- **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 [17].

Son objectif est de visualiser concrètement des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées [17].

- **Démarche :**

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillance et un arbre d'évènement un Il peut être représenté sous la forme suivante :

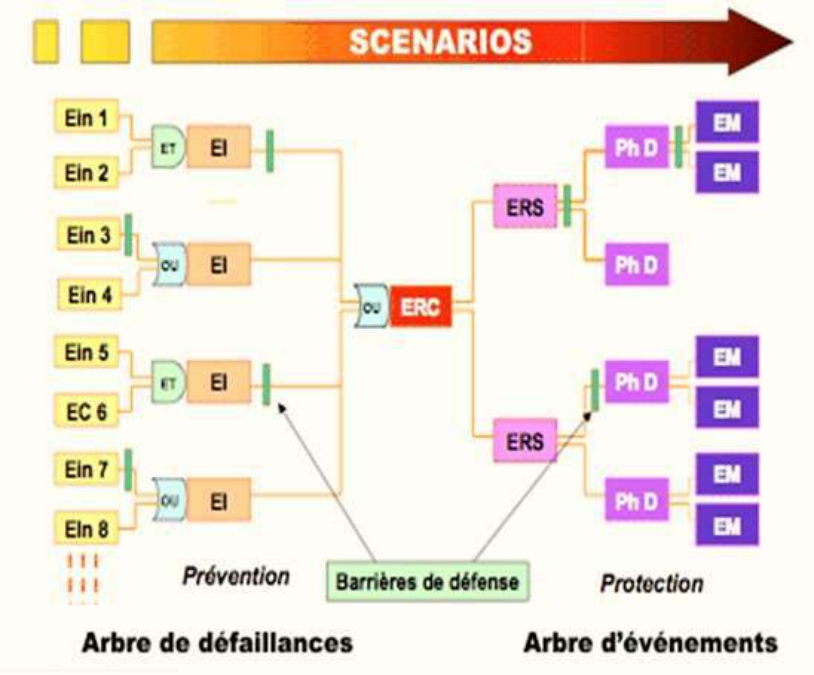


Figure 3-1 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud Papillon [17].

Tableau 3-2 : Légende des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon [17].

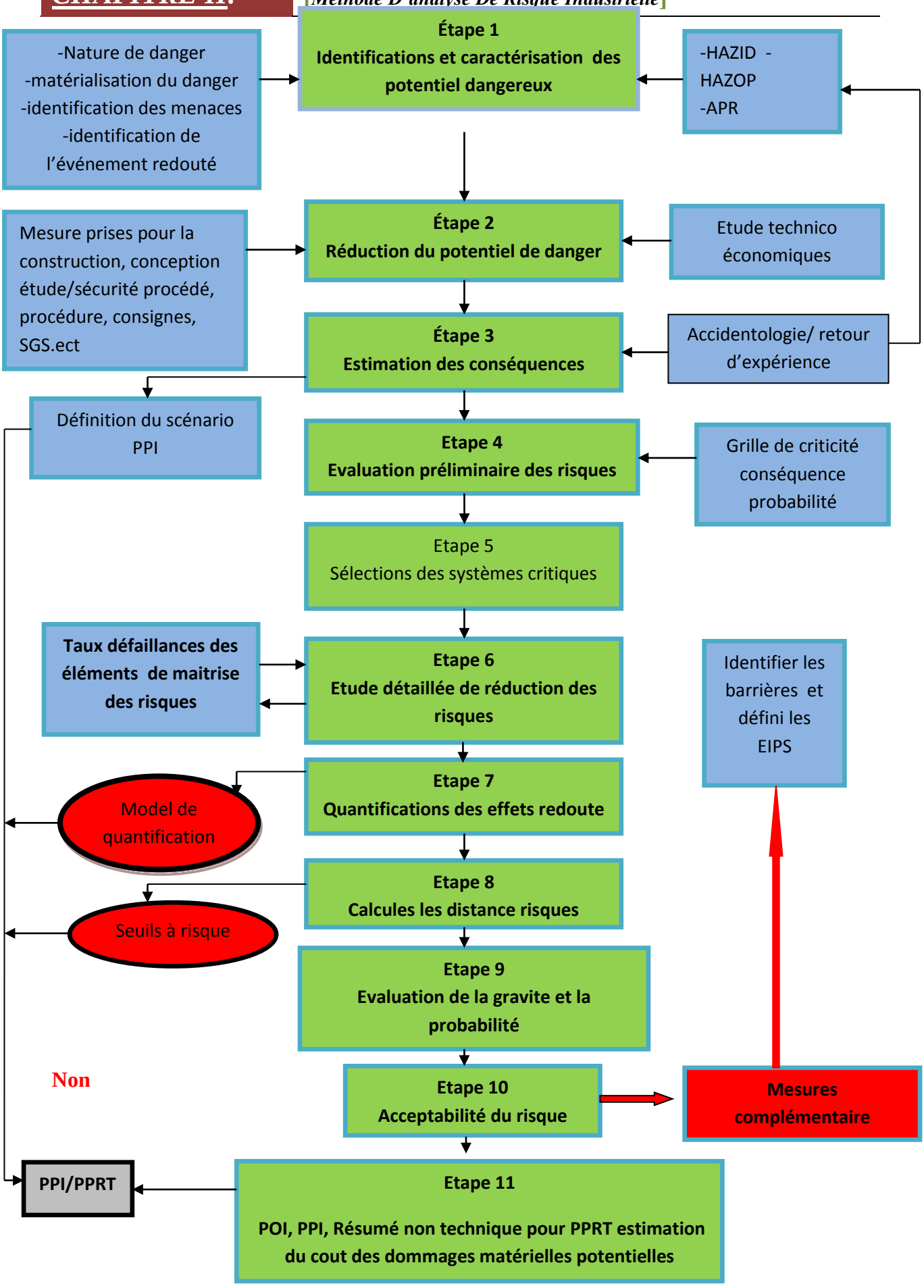
Designation	Signification	Definition	Examples
Ein	Evenement indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies	Le sur remplissage ou un départ d'incendie à proximité d'un équipement dangereux peuvent être des évènements initiateurs
EC	Evenement courant	Événement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation	Les actions de test de maintenance ou la fatigue d'équipement sont généralement des évènements courants
EI	Evenementinitiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique	La corrosion ; l'érosion les agressions mécaniques une montés expression sont généralement des événements initiateurs
ERC	Evenementredouté central	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse	Rupture, brèche ruine ou décomposition d'une substance dangereuse dans le cas d'une perte d'intégrité physique
ERS	Evenement redouté	Conséquence directe de l'événement redouté centrale,	Formation de flaque ou d'un nuage lors de rejet

	secondaire	l'évènement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident	d'un substance diphasique
Ph D	Phynomenes Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs	Incendie, explosion ; dispersion d'un nuage toxique
EM	Effets majeurs	Dommages occasionnés au niveau des cibles (personnes, environnement ou biens) par les effets Dun phénomène dangereux	Effets létaux ou irréversibles sur la population Synergied'accident
Barrières ou mesures de prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique	Peinture anti-corrosion ; coupure automatique des opérations de dépotage sur détection d'un niveau très haut…
Barrières ou mesures de protection		Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique	Vannes de sectionnement automatiques asservies à une détection (gaz ; pression ; débit) ; moyens d'intervention

Le point central du Nœud Papillon est l'Evénement Redouté Central. La partie gauche du Nœud Papillon s'apparente alors à un **arbre des défaillances** s'attachant à identifier **les causes** de cet événement redouté central. La partie droite du Nœud Papillon s'attache quant à elle à déterminer **les conséquences** de cet événement redouté central tout comme le ferait un **arbre d'évènement**. Sur ce schéma, les barrières de sécurité sont représentées sous la forme de barres verticales pour symboliser le fait qu'elles s'opposent au développement d'un scénario d'accident. De fait, dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine (évènements indésirable ou courant) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des cibles (effets majeurs) désigne un scénario d'accident particulier pour un même événement redouté central[17].

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[17].

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


-Nature de danger
-matérialisation du danger
-identification des menaces
-identification de l'événement redouté
Étape 1
Identifications et caractérisation des potentiel dangereux
-HAZID -
HAZOP
-APR
Mesure prises pour la construction, conception étude/sécurité procédé, procédure, consignes, SGS.ect
Étape 2
Réduction du potentiel de danger
Etude technico économiques
Étape 3
Estimation des conséquences
Accidentologie/ retour d'expérience
Définition du scénario PPI
Etape 4
Evaluation préliminaire des risques
Grille de criticité conséquence probabilité
Etape 5
Sélections des systèmes critiques
Taux défaillances des éléments de maitrise des risques
Etape 6
Etude détaillée de réduction des risques
Identifier les barrières et défini les EIPS
Etape 7
Quantifications des effets redoute
Model de quantification
Etape 8
Calcules les distance risques
Seuils à risque
Etape 9
Evaluation de la gravite et la probabilité
Non
Etape 10
Acceptabilité du risque
Mesures complémentaire
PPI/PPRT
Etape 11
POI, PPI, Résumé non technique pour PPRT estimation du cout des dommages matérielles potentielles

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 [17].

2-Réduction des potentiels de danger :

Pour les risques identifiés comme présentant un fort potentiel de 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 [17].

3-Estimation des conséquences potentielles :

Elle 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 [17].

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.
- 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 [17].

5-Sélection des systèmes critiques :

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 [17].

6-Etude détaillée de réduction des risques :

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 ou de limiter les conséquences d'un évènement susceptible d'aboutir à un accident.

- 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 [17].

7et8- 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 [17].

9-Evaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité :

- Le calcul de la gravité porte sur les 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 [17].

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 [17].

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 [17].

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.

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 [17].

2-1-5 L'analyse Semi- Quantitative :

Lors d'une évaluation semi-quantitative, la probabilité est calculée subjectivement, mais l'impact est calculé objectivement. Ce mode de calcul s'applique lorsque l'impact du risque peut être déterminé avec exactitude alors que sa probabilité reste incertaine. Ce genre

de risque concerne en général les changements dans la loi, car l'impact peut être calculé numériquement, mais la probabilité est souvent difficile à établir[15].

2-1-6 L'analyse Quantitative :

L'évaluation quantitative est basée sur le calcul de la probabilité et l'impact du risque d'une manière objective. Ce mode de calcul est utilisé quand l'information est suffisamment disponible pour pouvoir calculer, numériquement, la valeur de la probabilité et la gravité du risque [15].

2-1-7Statiques/dynamiques

• **Approches statiques** : Elles permettent d'analyser le système d'un point de vue structurel sans tenir compte des évolutions au cours du temps et s'appuient sur un modèle mathématique booléen du système qui fournit, par exemple, les combinaisons de défaillances entraînant le dysfonctionnement du système mais sans représenter les interrelations temporelles qui l'affectent [18].

• **Approches dynamiques** : Les méthodes dynamiques permettent la prise en compte des aspects comportemental et temporel. La mise en œuvre de ces méthodes rend indispensables des décompositions hiérarchiques matérielles ou fonctionnelles du système [18].

2.2 Estimation des probabilités

Dans le but d'estimer les fréquences, on propose d'affecter des classes de probabilités aux différents scénarios. Ces classes seront le résultat de la considération de deux critères : les intervalles de nombre (provenant de calculs théoriques) et le retour d'expériences sur les incidents antérieurs ou historiques au niveau des installations similaires. Notons qu'en l'absence de statistiques ou de données pertinentes au calcul des intervalles de nombre, l'information issue de la connaissance des incidents antérieurs pourra être utilisée aux fins de l'exercice [14].

Le tableau suivant représente un exemple de classe de probabilité et de ses composantes.

Tableau 3-3 : Classes de probabilité [14].

Classe de probabilité	Évenement	Definition	Fréquence (10^n / an)
5	**Fréquent**	Plusieur fois dans la durée d'exploitation de l'installation	Plus d'une fois tous les 10 ans
4	**Peufréquent**	Une fois dans la durée d'exploitation de l'installation	Une fois tous les 10 à 100 ans
3	**Rare**	Est arrivé dans l'industrie de l'installation étudiée	Une fois tous les 10^2 à 10 ^4 ans
2	**Extrememement rare**	Concevable, estarrivé dansl'industrie, tous domaine confondu	Une fois tous les 10^4 à 10^6 ans
1	**Improbable**	Spéculatif	Moins d'une fois tous les 10^6 ans

2-3 Évaluation des risques

Cette deuxième étape du volet de la détermination des risques consiste à procéder à l'évaluation, c'est-à-dire à porter un jugement sur son acceptabilité en fonction des résultats de l'analyse de risque. La notion d'acceptabilité du risque sera variable en fonction des données concernant, entre autres, la gravité des conséquences qu'il peut engendrer et de sa probabilité d'occurrence, mais aussi en fonction d'éléments de nature plus subjective comme la perception du risque par un individu ou une collectivité.

Donc, pour évaluer le risque de manière objective, des critères d'acceptabilité devront être déterminés préalablement à l'étape de l'analyse de risques (voir tableau suivant). Pour ce faire, les parties concernées par la gestion des risques devront définir ce qu'est un risque acceptable, tolérable et inacceptable [14].

Tableau 3-4 : Détermination des niveaux de risque [14].

Risques De Niveau 1: Acceptable	Risques limités.
Risque De Niveau 2: Tolérable	Risques à surveiller ou à réduire d'autant plus qu'ils sont limitrophes des risques de niveau 3.
Risques De Niveau3: Inacceptable	Risques élevés. Ce niveau de risque est inacceptable et ne doit pas être observé au sein de l'installation.

Suite à l'établissement de seuils d'acceptabilité, il sera possible d'utiliser une matrice de décision dans le but d'identifier les scénarios qui affichent un niveau de risque jugé inacceptable, et pour lesquels des efforts pour le limiter et le réduire pourront être effectués, jusqu'à l'atteinte d'un niveau jugé tolérable. La matrice est un outil de gestion privilégié pour déterminer l'acceptabilité d'un risque puisqu'elle constitue une grille dans laquelle plusieurs paramètres peuvent être considérés simultanément [14].

Tableau 3-5 : Matrice de décision [14].

Gravité		**Gravité 1**	**Gravité 2**	**Gravité 3**	**Gravité 4**
Classe de probabilité		**Mineur**	**Limité**	**Important**	**Majeur**
5	**Fréquent**				
4	**Peufréquent**				
3	**Rare**				
2	**Trés rare**				
1	**Tréspeu probable**				

3)Maîtrise des risques et mesure de contrôle

Les installations qui manufacturent, entreposent, transportent ou utilisent des substances dangereuses mettent sur pied des mesures de sécurité et de contrôle internes.

Voici les différentes méthodes que les organisations pourront adopter ;

- **Sécurité intrinsèque** : vise la réduction ou l'élimination des risques à la source par des modifications aux installations, aux équipements et aux procédures.

- **Sûreté des lieux** : cherche à assurer la sécurité au niveau des actes de malveillance (vandalisme, terrorisme, etc.).

- **Sécurité opérationnelle** : corresponds à l'application des principes aux systèmes de gestion pour l'identification, la compréhension et le contrôle des dangers reliés au procédé pour prévenir les préjudices de toute nature et les accidents [14].

4) Aménagement du territoire

L'aménagement du territoire peut être défini comme étant « la politique publique qui consiste à planifier et coordonner l'utilisation du sol, l'organisation du bâti, ainsi que la répartition des équipements et des activités dans l'espace géographique » [14].

5) Préparation aux situations d'urgence

La planification des mesures d'urgence comprend la « préparation au préalable des intervenants et du public à se comporter efficacement en cas d'accident majeur par la mise en place d'une structure de gestion des urgences (ex : surveillance, alerte, mobilisation, démobilisation, retour d'expérience) par la formation et les exercices.

Ainsi, l'objectif est d'arriver à « établir et maintenir une capacité effective d'intervention afin de pallier l'éventail complet des conséquences pouvant résulter d'un accident majeur »

. Pour y arriver on pourra s'appuyer sur l'étude des vulnérabilités, sur la conception de plans d'urgences ainsi que sur l'établissement d'une stratégie de communication active [14].

2-4 Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque

Les importants critères de choix d`une méthode d`analyse de risque sont :

a) Domaine de l'étude.
b) Stade de l'étude (spécification, conception, démantèlement).
c) Perception du risque dans ce domaine.
d) Culture de la Sûreté de Fonctionnement de l'organisation.
e) Caractéristiques du problème à analyser.
f) Niveau envisagé de la démonstration de la sécurité.
g) Savoir-faire des intervenants.
h) Nature des informations disponibles (spécifications du système et de ses interfaces, contraintes, etc.).
i) Retour d'expérience et base de données disponibles.
j) Moyens humains, logistiques et autres [15].

Chapitre III
Cas De Beyrouth

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de notre investigation sur l'accident de Beyrouth, toujours en utilisant la méthode de Nœud de Papillon afin d'identifier les raisons et les conséquences qui ont aboutis àcet accident majeur.

Généralité

La zone industrialo-portuaire du port de Beyrouth est vitale pour le Liban. C'est est le principal lieu d'échange de marchandises du pays : 60 % des importations du pays sont estimées passer par-là.

La zone comprend quatre bassins, seize portiques de manutention et leur quai pour le transbordement de conteneurs, un ensemble de silos à grain d'une capacité totale estimée de 120 000 tonnes servant de stockage pour les réserves stratégiques du pays (en blé principalement), de nombreux hangars et entrepôts (dont un contenant des feux d'artifice). On y trouve également la base navale de la marine libanaise. [20]



Figure 4-1 : Conteneurs sur le port [20].

Le mardi 4 août 2020 aux alentours de 18 h au Liban., deux très fortes explosions ont eu lieu dans l'après-midi à Beyrouth, la capitale libanaise. Le bilan provisions fait état d'au moins 133 morts et plus de 4000 blessés selon la croix rogue libanaise.



Figure 4-2 : Le nitrate d'ammonium à nouveau sur le devant de la scène [21].

L'enquête se poursuit et la piste de l'accident est privilégiée. En cause : la détonation de 2 750 tonnes de **nitrate d'ammonium** stockées depuis près de sept ans dans un entrepôt portuaire, et provenant d'une cargaison saisie en 2013 « sans mesures de précaution ».

Elles étaient transportées sur un navire en direction du Mozambique, depuis la Géorgie, qui faisait escale au port beyrouthin [22].

La première explosion provoque une fumée grise de couleur claire, avec des dégâts relativement restreints. Il est possible de remarquer de multiples petites détonations à l'intérieur même de la base de la colonne de fumée, provenant d'un bâtiment. Ces flashs lumineux, très courts, sont décrits comme semblables à des feux d'artifice mis en route. Selon *Marwan Abboud* (en), le gouverneur de Beyrouth, cette explosion aurait été précédée d'un incendie.

La seconde explosion, nettement plus violente et destructrice que la précédente, se produit vers 18h (heure locale). Elle dévaste toute la zone portuaire, plusieurs navires mouillant à quai ou se trouvant au large ainsi que le centre même de Beyrouth. Un nuage de Wilson puis un nuage en champignon sont créés par l'explosion. Une colonne rouge et gris-noir apparaît ensuite lorsque l'onde de choc se disperse. Une instabilité de Rayleigh-Taylor est apparente sur la surface de la Méditerranée lorsque le nuage de Wilson se déploie, provoquant sur les flots une vague qui s'étend parallèlement à l'onde de choc. L'effet de souffle produit de très nombreux dommages, tant humains que matériels. La seconde explosion est entendue jusqu'à Larnaca dans l'île de Chypre, située à un peu plus de 200 km de là.

Selon l'Institut d'études géologiques des États-Unis, la seconde explosion a été équivalente à un séisme de 3,3 sur l'échelle de Richter (concernant la secousse à proprement parler et non pas les dégâts engendrés). Le Centre jordanien d'observation sismologique relève quant à lui une énergie libérée correspondant à une magnitude de.

Selon des spécialistes de l'université de Sheffield, cette explosion aurait eu de la puissance de celle de la bombe atomique ayant détruit Hiroshima et compte « sans aucun doute parmi les plus grosses explosions non-nucléaires de l'histoire ». Elle est d'une ampleur comparable à la catastrophe de Texas City de 1947 (provenant d'ailleurs du même élément chimique).

Au moins 137 morts, 5 000 blessés, une dizaine de disparus, des dommages matériels estimés à plus de 3 milliards de dollars, et jusqu'à 300 000 personnes privées de domicile fixe [23].

Explosions accidentelles impliquant du nitrate d'ammonium :

Nitrate d'ammonium

Le nitrate d'ammonium (NH4NO3) est un sel largement utilisé comme base de produit fertilisant (l'ammonitrate) en agriculture en raison de son apport en azote. Il est aussi employé dans l'industrie comme explosif. Il a également un usage moins répandu de réfrigérant. Dans le premier cas, il s'agit du NAA (nitrate d'ammonium pour l'agriculture, en anglais FGAN : Fertilizer Grade Ammonium Nitrate) fabriqué sous forme de granulés blanchâtres enrobés pour éviter le mottage, et dans le second cas de NAI (nitrate d'ammonium industriel) dont les granulés sont rendus poreux pour faciliter les réactions chimiques. C'est un explosif stable qui

détone lorsqu'il est amorcé par un détonateur ou après un incendie avec confinement lorsqu'il y a ajout de combustible, car le nitrate est spontanément un comburant. C'est le cas de l'ANFO, mélange de nitrate d'ammonium et de fioul. Ces deux cas expliquent en grande partie pourquoi il cause des explosions accidentelles, soit dans l'industrie, soit lors du transport [24].

L'accident : un scénario qui se répète

Babrauskas ? identifie clairement un scénario récurrent : un départ de feu se produit à proximité d'un stock de nitrate d'ammonium. La feue chauffe le NA qui exprime alors son potentiel comburant et rend l'incendie particulièrement difficile à combattre. Dans 30% des cas, il se produit une explosion. La conséquence est au mieux la ruine de l'infrastructure, au pire la mort de nombreuses victimes (15% des cas).

Sur les différents évènements que *Babrauskas* recense, la 62% concernent la phase de transport, 26% les stockages, 9% un accident de process et 3% non identifié.

La phase de transport est en effet particulièrement critique. Du fait de son mouvement, un accident crée des chocs qui sont propices à déclencher une réaction en chaine dans le stockage. Par ailleurs, le choc peut aussi induire une contamination du stock par du combustible comme du diesel ou des fragments de bois. Si un feu se produit, l'explosion devient alors fortement probable [25].

Sa classification

Il est particulièrement intéressant d'examiner sa classification dans le code maritime international des matières dangereuses (IMDG code). Il pourra ainsi être classé comme :

- Matière dangereuse (classe 9 – UN2071),
- Matière explosive (classe 1 – UN 0222)
- Matière comburante (classe 5.1 – UN1942 & UN2067)
- Déclassée des matières dangereuses s'il est mélangé à 20% de carbonate de calcium.

En pratique la limite est mince en particulier lorsqu'il est concentré à plus de 90%. C'est ainsi un comburant s'il contient moins de 0,2% de matière organique, mais à un explosif si ce taux est dépassé. Si sa classification est assez variable, le matériau et son cycle de décomposition restent les mêmes [25].

Remarque :

Le nitrate d'ammonium pur ne brûle pas, mais en tant qu'oxydant puissant, il favorise et accélère la combustion des matières organiques (et de certaines matières inorganiques). Il ne doit pas être stocké à proximité de substances combustibles.

Bien que le nitrate d'ammonium soit stable à température et pression ambiantes dans de nombreuses conditions, il peut détoner à partir d'une forte charge d'amorçage. Il ne doit pas être stocké à proximité d'explosifs puissants.

Le nitrate d'ammonium fondu est très sensible au choc et à la détonation, en particulier s'il est contaminé par des matières incompatibles telles que des combustibles, des liquides inflammables, des acides, des chlorates, des chlorures, du soufre, des métaux, du charbon et de la sciure.

Le contact avec certaines substances telles que les chlorates, les acides minéraux et les sulfures métalliques, peut entraîner une décomposition rapide, voire violente, capable d'enflammer les matériaux combustibles voisins ou de les faire exploser [26].

Le nitrate d'ammonium est notamment directement impliqué dans les explosions :

- 12 août 2015, explosion au port de Tianjin (Chine) :

Un incendie se déclare dans un entrepôt de produits chimiques contenant 2 400 tonnes de marchandises22 dont 800 tonnes de nitrate d'ammonium et de la nitrocellulose23. 40 minutes plus tard, deux explosions consécutives dévastent le port tuant 173 personnes et en blessant 797 autres.

- 2 avril 1916, explosion de Faversham, Kent (Royaume-Uni) :

Une grande explosion dans la poudrerie de la société Explosives LoadingCompany cause la mort de 116 personnes. Cette explosion est la conséquence d'un incendie qui a ravagé des magasins dans lesquels étaient stockées 15 tonnes de TNT et 150 tonnes de nitrate d'ammonium.

- 26 juillet 1921, explosion de Kriewald/Knurów, Silésie :

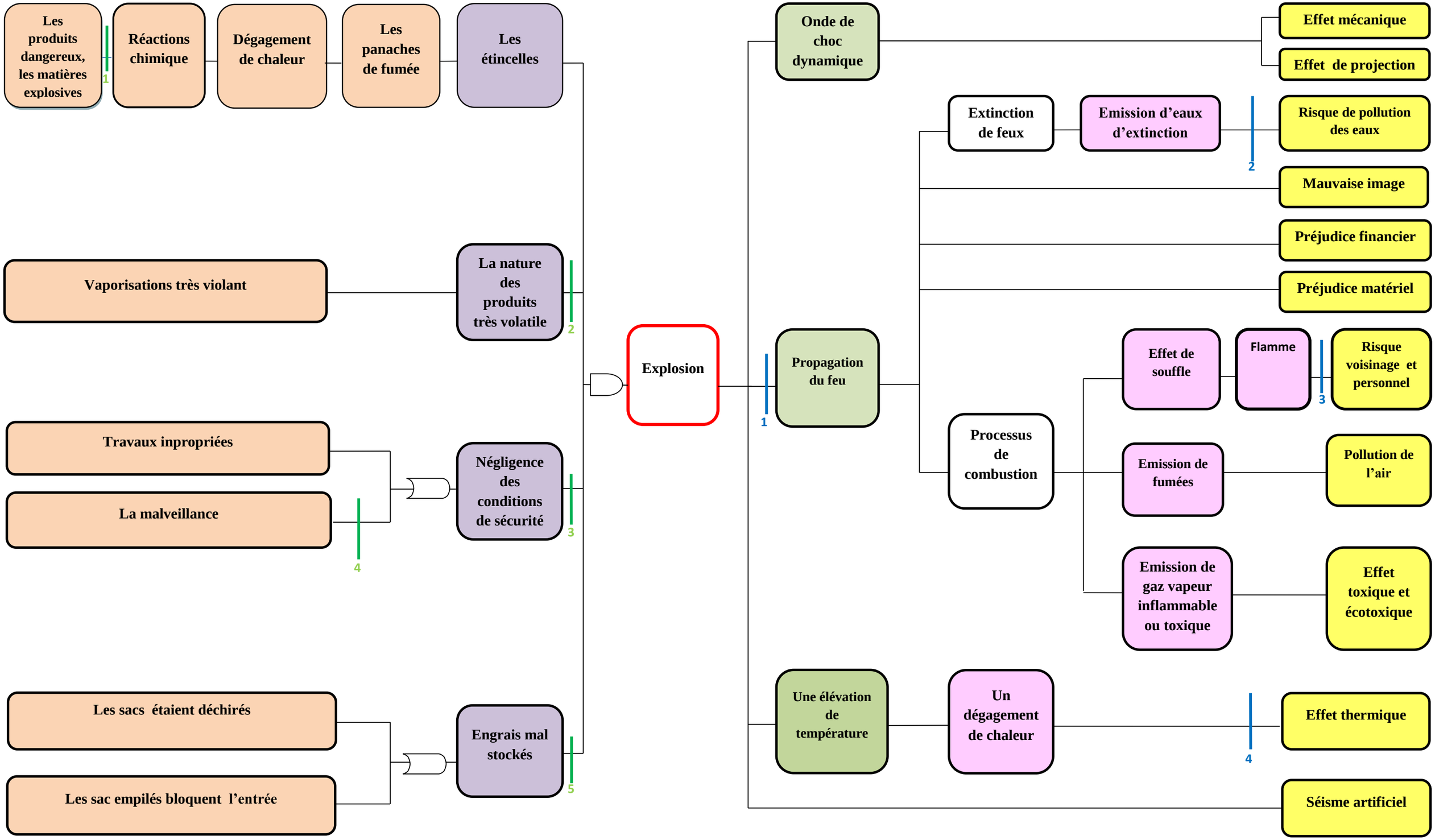
Pour désagréger 30 tonnes de nitrate d'ammonium pris en masse dans deux wagons, on y fit exploser une cartouche d'explosif minier. Les wagons explosèrent. Dix-neuf personnes furent tuées.

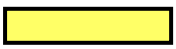
- 16 novembre 1936 et 4 avril 1940 explosions de Miramas (France) :

En 1936, à la suite d'un incendie, une explosion à la Poudrerie de Miramas a causé 53 décès, plus de 200 blessés et de gros dégâts. En avril 1940 une autre explosion cause 11 décès

- 29 avril 1942, désastre de Tessenderlo (Belgique) :

Le tir d'une cartouche provoqua l'explosion d'un tas de 150 tonnes de nitrate d'ammonium sur le site de la société des produits chimiques de Tessenderlo6 (PCT) à Tessenderlo, province de Limbourg en Belgique. Bilan : 189 morts, 900 blessés et importants dégâts matériels dans les environs [26].


Les produits dangereux, les matières explosives
Réactions chimique
Dégagement de chaleur
Les panaches de fumée
Les étincelles
1
Vaporisations très violant
La nature des produits très volatile
2
Travaux inpropriées
La malveillance
Négligence des conditions de sécurité
3
4
Les sacs étaient déchirés
Les sac empilés bloquent l'entrée
Engrais mal stockés
5
Explosion
Onde de choc dynamique
Effet mécanique
Effet de projection
Extinction de feux
Emission d'eaux d'extinction
Risque de pollution des eaux
2
Mauvaise image
Préjudice financier
Préjudice matériel
Propagation du feu
1
Effet de souffle
Flamme
Risque voisinage et personnel
3
Processus de combustion
Emission de fumées
Pollution de l'air
Emission de gaz vapeur inflammable ou toxique
Effet toxique et écotoxique
Une élévation de température
Un dégagement de chaleur
4
Effet thermique
Séisme artificiel

	Evènement indésirable
	Evènement courant
	Evènement redouté centrale
	Evènement redouté secondaire
	Phénomène dangereux
	Effets majeur
	Barrière de prévention
	Barrière de protection
	L'opérateur logique ET
	L'opérateur logique OU

➢ Les mesures de prévention :

1 :

- Stockage des produits à l'écart des sources d'ignition
- Organisation des stockages.
- Stockages éloignés des zones de circulation.

2 :

- Utilisation des contenants adaptés pour éviter le contact entre les produits.

3 :

- Qualification, formation du personnel.
- Consignes de travail et de sécurité.
- Entretiens réguliers des installations.
- Interdiction de fumer sur site.

4 :

- Alarme anti-intrusion.
- Contrôle d'accès, portail automatisé.

5 :

- Contrôle périodique des zones de stockage.

➢ Les mesures de protection :

1 :

- Protection du personnel (EPI/ SSR/ évacuation).
- Détection feu avec repos.
- Membre de personnels formé au maniement des extincteurs.

2 :

- Utilisation des produits non dangereux pendant l'extinction.

•3 :

- Éloignement de voisinage, d'alarme et extinction automatique
- Barrières amovibles de confinement.

•4 :

- Murs séparatifs coupe-feu et intervention des pompiers.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENRERALE

D’après notre étude, les résultats nous ont montré qu’ils existent plusieurs raisons qui ont aboutis à l'explosion de Beyrouth. D'après la méthode Neoud Papillon, les causes principales de cet accident sont :

- L’étincelle.
- Négligence des conditions de sécurité.
- Engrais mal stocké.
- Nature des produits très volatile.

Ensuite nous avons pu résumer les différentes conséquences qui sont comme suit :

- Onde de choc dynamique.
- Onde de surpression.
- Décès, blessé, des bâtiments endommagés.
- Pollution des eaux, de l’air.
- Des effets thermiques, toxique et mécanique.
- Effondrement économique.

Nous pensons que les autorités auront pu éviter ou bien minimiser les conséquences de cet accident si les barrières de prévention / protection ont été installer au préalable. Parmi ces barrières de prévention sont :

- Stockage des produits à l’écart des sources d’ignition.
- Organisation des stockages.
- Stockages éloignés des zones de circulation.
- Utilisation des contenants adaptés pour éviter le contact entre les produits.
- Qualification, formation du personnel.
- Consignes de travail et de sécurité.
- Entretiens réguliers des installations.

Et pour les barrières de protection, sont :

- Intervention des pompiers.
- Éloignement de voisinage
- Protection du personnel (EPI/ SSR/ évacuation).
- Détection feu avec report d’alarme et extinction automatique
- Membre de personnels formé au maniement des extincteurs.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2019/10/Bennedjai-Nouh-Douahi-Oussama-abd-elghafour.pdf.

[2] https://www.odz-consultants.com/risques-industriels/analyse-risque/.

[3] https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/rapport_omega_7-2.pdf.

[4] https://www.odz-consultants.com/risques-industriels/analyse-risque/.

[5] https://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels/definition-risque-industriel.html# :

~ : texte=Le%20risque%20industriel%20est%20d%C3%A9fini, les%20biens%20et%20

L''environnement.

[6] https://en.calameo.com/read/0001082685dce04985cfc.

[7] http://www.bourgogne-franche comte. Développement durable. Gouv. Fr/IMG/ PDF/ introduction_risque_industriel_cle7da8c8.pdf.

[8]Risques-et-accidents-industriels-majeurs-Caractéristiques-réglementation-prévention-by-Nichan-Margossian-z-lib.org.pdf.

[9] https://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels/definition-risque-industriel. Html# : ~ : texte=Le%20risque%20industriel%20est%20d%C3%A9fini, les%20biens%20et%20l'environnement.

[10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque_industriel_en_France#:~:text=Le%20 Risque%20

Industriel%20en%20France, culturel%20et%20l'activit%C3%A9%20%C3%A9conomique.

[11]https://www.seine-maritime.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-et-Defense/Securite-civile/Risques-naturels-et-technologiques/Risque-industriel/Definition-du-risque-industriel.

[12] http://www.senat.fr/rap/r19-480-1/r19-480-114.html.

[13] https://www.memoireonline.com/12/07/795/m_analyse-et-gestion-des-risques7.html.

[14] https://geo.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/70/2018/09/Morneau_C_GRM_2011.pdf.

[15] BROWN, "Risk analysis: an investment in engineering, Process Safety Progress," 1999.

[16] https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/rapport_omega_7-2.pdf.

[17] http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese

_75.html

[18] https://ds.univ-oran2.dz:8443/bitstream/123456789/1324/1/1-Th% C3% A8se _de_ Doctorat_LMD-Analyse_quantitative_des_risque%20%281%29.pdf

[19] https://www.inrs.fr/risques/explosion/conditions-survenue-consequences.html.

[20] https://fr.wikipedia.org/wiki/Explosions_au_port_de_Beyrouth_de_2020.

[21]https://atossa.fr/2020/08/14/le-nitrate-dammonium-un-point-sur-letat-de-la connaissance/.

[22]https://www.lefigaro.fr/international/dossier/liban-explosions-4-aout-nitrate-d-ammonium-port-beyrouth# : ~ : texte=La%20double %20explosion%20survenue %20 le, % C2 %ABsans%20mesures%20de%20pr%C3%A9caution%C2%BB.

[23] https://fr.wikipedia.org/wiki/Explosions_au_port_de_Beyrouth_de_2020.

[24]https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_d%27explosions_accidentelles_impliquant_du_ nitrate_d%27ammonium.

[25] https://atossa.fr/2020/08/14/le-nitrate-dammonium-un-point-sur-letat-de-la-connaissance/

[26] https://fr.wikipedia.org/wiki/Nitrate_d%27ammonium.

[27] BERRAR.A, “Gestion des risques par l’analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K-Sonatrach- Wilaya de SKIKDA,” Université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.

[28] FUMEY.M, “Méthode d’évaluation des risques agrèges : Application au choix des investissements de renouvellement d’installations,” Centre de Recherche Génie Industriel de l’Ecole des Mines d’Albi-Carmaux, 2001.

[29] ACHOURI.N, “Apport de la logique floue á l’analyse de criticité des risques industriels,” Université El-Hadj Lakhdar - Batna, 2009.

[30] DESINDE.M, “Contribution à la mise au point d ’ une approche intégrée analyse diagnostique,” Université Joseph Fourier Grenoble, 2006.

[31] GARDES.L, “Méthodologie d’analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME : application au secteur du traitement de surface,” 2001.