



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département D'hygiène Et Sécurité Industrielle

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

**Développement des scénarios d'incendie dans une unité
pétrochimique, analyse par arbre de défaillance et
bayésiens**

Présenté et soutenu publiquement par :

SAIB Ibrahim

CHETITAH Nadjim

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Derias Fatima Zohra	MCB	IMSI/Univ Oran 2	Président
LOUNIS Zoubida	Professeur	IMSI/Univ Oran 2	Encadreur
Guetarni mohamed hadj islam	MCB	IMSI/Univ Oran 2	Examineur

Juin 2022

Table de matières

Remerciements.....	I
Dédicace	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations	V
Résumé.....	VII
Introduction générale	01

Chapitre I : La pétrochimies

1.1. Introduction.....	02
1.2. Définition et concept de base.....	02
1.2.1. La notion de pétrochimies.....	02
1.2.2. L'industrie pétrochimique.....	02
1.3. Types des unités pétrochimiques.....	03
1.3.1. Raffinage.....	03
1.3.1.1. Définition.....	03
1.3.1.2. Les trois étapes du raffinage.....	04
1.3.1.3. Structure d'une raffinerie.....	05
1.3.2. Zone de stockage et/ou de distribution.....	07
1.3.2.1. Définition.....	07
1.3.2.2. Classification.....	07
1.3.2.3. Activités principales dans un centre de stockage, de distribution et de commercialisation – CSDC.....	08
1.4. Conclusion.....	10

Chapitre II : Les risques liés aux unités pétrochimiques

2.1. Introduction.....	12
2.2. Notion de bases.....	12
2.2.1. Risque technologiques.....	12
2.2.3. ISO 31010.....	12
2.3. Les risques rencontrés dans les procédés pétrochimiques.....	13
2.3.1. Risques inhérents aux lieux de travail.....	13
2.3.2. Risques inhérents aux tâches.....	13
2.3.3. Risques liés Procédés.....	14
2.3.3.1. Le prétraitement du pétrole.....	14
2.3.3.2. Les procédés de séparation du pétrole brut.....	15
2.3.3.3. Les procédés de conversion du pétrole brut.....	16
2.3.3.3.1 Les procédés de craquage thermique.....	19
2.3.3.4. Les procédés de combinaison.....	19
2.3.3.5. Les procédés de traitement.....	22
2.4. Scenarios D’incendie Et D’explosion.....	22
2.4.1. L’incendie.....	22
2.4.1.1. Définition.....	22
2.4.1.2. Les causes d’incendie.....	23
2.4.1.3. Scenario d’incendie.....	24
2.4.2. L’explosion.....	24
2.4.2.1. Définition.....	24
2.4.2.2. Les effets de l’explosion.....	25

2.4.2.3. Scénario d'explosion.....	25
2.5. Conclusion.....	27

CHAPITRE III : Arbre de défaillance et réseau bayésien

3.1. Introduction.....	29
3.2. Les arbres de défaillances.....	29
3.2.1. Les méthodes d'analyse prévisionnelle des risques.....	29
3.2.1.1. Analyse par arbre de défaillances.....	31
3.2.2. Arbre défaillance.....	33
3.3. Réseaux Bayésiens.....	36
3.3.1. Théorème de Bayes'.....	37
3.3.1.1. Formule de Recomposition.....	37
3.3.1.2. Formule de Bayes.....	38
3.3.2. Définition et concept du Réseau Bayésien.....	38
3.3.3. Inférence.....	40
3.3.4. Types de Réseau Bayésien.....	40
3.3.4.1 Réseaux bayésiens statiques.....	40
3.3.4.2. Réseaux bayésiens dynamiques.....	40
3.4. Limitation et les avantages de la méthode ADD et RB.....	41
3.5. Interprétation de ADD en RB.....	44
3.5.1. Convertir l'ADD en RB.....	44
3.5.2. RB obtenu à partir de ADD avec des événements répétés.....	45
3.5.3. L'inférence sur le RB obtenue à partir de ADD.....	48
3.6. Conclusion.....	49

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par

l'ADD et RB

4.1. Introduction.....	51
4.2. Méthodologie de travail.....	51
4.2.1. Objectifs du projet.....	51
4.2.2. Critère de choix de la méthode de travail.....	51
4.2.3. Etapes du travail.....	51
4.3. Application.....	52
4.3.1. Application de l'ADD et RB sur un Scénario d'incendie.....	52
4.3.1.1. Arbre défaillance.....	52
4.3.1.2. Structure du RB à partir de l'ADD.....	52
4.3.2. Application de l'ADD et RB sur un scénario d'explosion.....	57
4.3.2.1. Arbre de défaillance.....	57
4.3.2.2. Structure du RB à partir de l'ADD.....	57
4.4. Résultat et discussion.....	62
4.5. Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	63
Bibliographies.....	64
Annexes.....	67

REMERCIEMENTS

*Nous remercions Dieu tout-puissant de nous avoir donné
la santé et la volonté de commencer et de
terminer ce mémoire .*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait
pas été possible
riche et n'aurait pas été possible
sans l'aide et la supervision
de Madame LOUNIS.Z, nous la remercions pour
la qualité de son encadrement
exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur
et sa disponibilité pendant la
préparation de ce mémoire .*

*Enfin, notre précieuse gratitude va également
à tous les enseignants.*

*Et tous ceux qui nous ont aidés
de quelque manière que ce soit dans la réalisation de cette
thèse.*

DEDICACE

*Grace à Dieu le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce
modeste travail*

que je tien très chaleureusement a le dédier a :

*Mes cher parents qui m'ont encouragé et soutenu tout au
long de mes*

*étude et pour leurs patience que Dieu les protègent et les
gardes pour moi.*

A mes adorables frères et sœurs.

*Et à mes très chères amis et camarades pour tous les
moments d'échange*

*et de débat aux personnes qui m'ont toujours aidé et
soutenu.*

Ibrahím

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mon père Abdelkader :

L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A ma mère RAHLI Zohra :

Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.

A mes frères, Sid Ahmed, Mohamed.

A mes sœurs, Sara, Hakima.

A toute ma famille.

A mon cher binôme, Ibrahim.

Mes chères Amies Abdelali, Hamza, Ramzi, Bilal, Youcef, Zaki.

Tous mes professeurs.

Nadjim

Liste des figures

Figure 1.1 Puits de forage.....	09
Figure 2.1 Schéma simplifié de raffinage.....	23
Figure 2.2 Figure 2.2 Incendie Laghouat, Hassi Rmel.....	25
Figure 2.3 Explosion SKIKDA.....	28
Figure 3.1 Les éléments de base pour la construction de la structure de l'arbre de défaillance.....	34
Figure 3.2 Exemple d'une structure d'arbre de défaillance.....	37
Figure 3.3 Thomas Bayes connu pour avoir formulé le théorème de probabilité conditionnelle.....	41
Figure 3.4 Principe de l'approche Bayésienne.....	42
Figure 3.5 RB ou X est la cause de Y.....	44
Figure 3.6 Organigramme représentant un algorithme simplifié pour représenter un ADD en RB.....	46
Figure 3.7 Exemple de Structure d'ADD.....	47
Figure 3.8 Structure du réseau bayésien obtenu à partir de la Figure 3.7.....	47
Figure 3.9 Arbre de défaillance avec un événement répété.....	48
Figure 3.10 Réseau bayésien avec nœud répété.....	48
Figure 3.11 Arbre de défaillance avec une branche répétée.....	49
Figure 3.12 Réseau bayésien avec une branche répétée.....	50
Figure 4.1 Arbre de défaillance d'un scénario d'incendie.....	54
Figure 4.2 RB d'incendie d'un bac de stockage.....	55
Figure 4.3 RB de la rupture.....	56
Figure 4.4 RB de la Fuit.....	56
Figure 4.5 RB de la Gouttelette Suspension.....	57

Figure 4.6 RB de l'atmosphère explosive.....	57
Figure 4.7 RB de la Source d'ignition.....	58
Figure 4.8 RB de l'Incendie d'un bac de stockage.....	58
Figure 4.9 Arbre de défaillance d'un scénario d'explosion.....	59
Figure 4.10 RB d'explosion d'une chaudière.....	60
Figure 4.11 RB de l'éclatement.....	61
Figure 4.12 RB de la rupture Sc2.....	61
Figure 4.13 RB de la Fuit Sc2.....	62
Figure 4.14 RB de la surpression interne.....	62
Figure 4.15 RB de la retard de relève.....	63
Figure 4.16 RB de l'explosion d'une chaudière.....	63

Liste des tableaux

Tableau 3.1 Quelques démarches ou méthodes utilisées.....	31
Tableau 3.2 Règles d'optimisation des arbres de défaillances.....	34
Tableau 3.3 Probabilités de défaillance propagées à l'aide d'équations de logique booléenne.....	35
Tableau 3.4 Résumé sur les avantages et les limites des méthodes d'arbre de défaillance et bayésienne.....	38
Tableau 4.1 Données des probabilités d'incendie d'un bac de stockage.....	52
Tableau 4.2 TPC du nœud rupture.....	52
Tableau 4.3 TPC du nœud Fuit.....	52
Tableau 4.4 TPC du nœud Gouttelette Suspension.....	54
Tableau 4.5 TPC du nœud Atmosphère explosive.....	55
Tableau 4.6 TPC du nœud Source d'ignition.....	56
Tableau 4.7 TPC du nœud Incendie d'un bac de stockage.....	56
Tableau 4.8 Données des probabilités de l'explosion d'une chaudière.....	58
Tableau 4.9 TPC du nœud Eclatement.....	59
Tableau 4.10 TPC du nœud Rupture Sc2.....	59
Tableau 4.11 TPC du nœud Fuit Sc2.....	59
Tableau 4.12 TPC du nœud surpression interne.....	60
Tableau 4.13 TPC du nœud Retard de relève.....	60
Tableau 4.14 TPC du nœud Explosion d'une chaudière.....	61
Tableau 4.15 Résultats des probabilités du Sc1 et Sc2.....	62

Liste des abréviations

ADD : Arbre de défaillance

ADE : Arbre d'événement

AMDE : Analyse des modes de défaillance de leurs effets

AMDEC : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités

ATEX : Atmosphère explosive

BRI : Brut Réduit Importé

BTS : Basse teneur en soufre

CM : Coupe minimale

CSDC : Centre de stockage, de distribution et de commercialisation

FCC : Fluide catalytique cracking

FMDS : Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité

GNL : Gaz naturel liquéfié

GPL : Gaz de pétrole liquéfié

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

HR : Hassi Rmel

HSE : Hygiène sécurité et environnement

HTS : Haute teneur en soufre

MEK : Méthyléthylcétone

MIF : Mesure d'Indépendance Fonctionnelle

PAM : Plan d'aide mutuelle

UE : Union européenne

RB : Réseau bayésien

RBD : Réseaux bayésiens dynamiques

RBS : Réseaux bayésiens statiques

Sc : Scénario

SH : Sonatrach

TPC : Tableau des probabilités conditionnelle

Résumé

Dans le cadre du management de la sécurité au sein d'une industrie pétrochimique la maîtrise du risque doit s'étendre aux travailleurs, pour cela il est nécessaire de faire une identification et une analyse des risques existants et calculer toute probabilité d'occurrence des scénarios indésirables et étudier ces criticités.

Pour cela nous avons étudié deux scénarios d'incendie en utilisant la méthode d'arbres de défaillance (ADD). La construction d'arbre de défaillance nous a permis de construire un réseau bayésien pour exploiter la masse de données existantes (retour d'expérience). Ce qui permet d'évaluer à partir de la connaissance a priori et a posteriori.

Une application dédiée à cette démarche est illustrée dans un cas industriel à l'aide du logiciel AgenaRisk.

Mots clés : Incendie, Pétrochimique, Scénario, Arbre de Défaillance, Réseaux Bayésien, Explosion, Risque.

Abstract

Within the framework of the management of safety applied in petrochemical industry the control of the risk must extend to the workers, for that it is necessary to make an identification and an analysis of the existing risks and to calculate occurrence probabilities to have undesirable scenarios and to study these criticalities.

For this we studied two fire scenarios using the method of fault trees (FT). The construction of fault tree allowed us to build a Bayesian network to exploit the mass of existing data (feedback). This allows to evaluate from the knowledge of a present state a future state.

An application dedicated to this approach is illustrated in an industrial case using the software AgenaRisk software.

Key words: Fire, Petrochemical, Scenario, Fault Tree, Bayesian Networks, Explosion, Risk.

Introduction générale

Introduction générale

Les scénarios d'incendies et des explosions sont des initiateurs potentiels d'accidents majeurs pour les installations industrielles en général et en particulier dans les unités pétrochimiques. Dans ces installations une explosion peut induire des dispersions de produits inflammables, toxiques, corrosifs et entre autres une perte de contrôle de l'installation. On peut observer différents types d'explosions, soit celles résultant d'une combustion à vitesse élevée qui peut se produire au sein même d'un produit, soit au sein du mélange d'un gaz avec l'air, ou celles résultant de la mise en présence de substances chimiques dites incompatibles. D'autres explosions peuvent être observées à savoir, celles dues à une rupture d'un réservoir ou d'un réacteur, due à une augmentation excessive de la pression du produit contenu ou à l'affaiblissement localisé de la résistance de ses parois. Les risques d'explosion, incendies générés par

L'exploitation des produits pétroliers et gaziers, montrent la problématique que peut engendrer une explosion dans une unité pétrochimique et les conséquences sur les installations de l'unité autant que celles des unités avoisinantes et l'environnement en général. Lorsque ces risques surviennent, ils peuvent être catastrophiques à l'image de la catastrophe du complexe GLIK de Skikda qui ont causé des énormes dégâts.

Dans ce contexte, le mémoire comporte quatre chapitres et organisé de la façon suivante :

Le premier chapitre regroupe une description générale de la pétrochimie ; et les types des unités pétrochimiques. Le second chapitre présente les risques liés aux unités pétrochimiques, incendie, explosion et ces impacts sur l'être humain et l'environnement. Le troisième chapitre présente deux méthodes déductives qui sont l'arbre de défaillance et de bayésiens. Et le quatrième et le dernier chapitre est l'application de ces deux dernier méthodes ADD et Bayésiens sur deux scénarios d'incendie défèrent.

Chapitre I :
La petrochimie

Chapitre I : La pétrochimie

1.1. Introduction

La pétrochimie appelée également synthèse pétrochimique est une branche de l'industrie chimique qui connaît un développement grandissant, dicté par les besoins en produits de première nécessité et à prix de revient relativement bas.

On définit la pétrochimie comme un ensemble d'activités de transformations qui, à partir des produits issus des hydrocarbures (essences, naphta, GPL, gaz, etc.) permettent d'obtenir des produits synthétiques, les caoutchoucs, les détergents et également des matières premières pour fabriquer des produits utilisés en pharmacie, en médecine et dans d'autres domaines. Tout à son début, la synthèse pétrochimique était axée sur ce qu'on appelle la synthèse organique ou procédés d'obtention de substances contenues seulement dans les organismes vivants animaux ou végétaux.

La véritable industrie pétrochimique est apparue aux états unis entre les deux guerres mondiales. Elle ne commence réellement à se développer qu'à partir de 1950 grâce à la disponibilité abondante d'une matière première à coût relativement bas que constituaient les ressources en pétrole et en gaz. De plus l'apparition de procédés thermiques et catalytiques (craquage, reforming, cokéfactions, pyrolyse etc.) a fait de cette industrie une véritable arme économique.

1.2. Définition et concept de base

1.2.1. La notion de la pétrochimie

La pétrochimie est la science qui s'intéresse à l'utilisation des composés chimiques de base issus du pétrole pour fabriquer d'autres composés synthétiques qui peuvent exister ou non dans la nature ; dans le dernier cas, ces composés sont dits artificiels. Ces fabrications sont, en général, basées sur des réactions chimiques appropriées en présence ou non d'un catalyseur.

En effet, en faisant passer les produits intermédiaires obtenus soit par distillation, soit par des unités secondaires, dans des unités spécifiques de pétrochimie on obtient des matières premières susceptibles d'être transformés en des produits qui n'existent pas dans la nature.

1.2.2. L'industrie pétrochimique

L'industrie pétrochimique fabrique des produits chimiques à partir du pétrole et du gaz naturel principalement. Le pétrole et le gaz naturel sont surtout composés d'hydrocarbures. La plupart des produits pétrochimiques contiennent au moins de l'hydrogène ou du carbone. Ils

peuvent être transformés en toutes sortes de produits industriels et de produits de consommation, tels que les plastiques (voir plastiques, industrie de la transformation des matières), les peintures, le Caoutchouc (voir caoutchouc, industrie du), les engrais, les détergents, les colorants, les textiles (voir industrie textile) et les solvants. Cette industrie comprend deux grandes divisions. L'industrie pétrochimique primaire fabrique des produits chimiques de base, tels que l'éthylène, à partir du pétrole ou du gaz. Les industries secondaires transforment les produits pétrochimiques de base en substances que d'autres industries utilisent directement. [01]

1.3. Types des unités pétrochimiques

1.3.1. Raffinage

1.3.1.1. Définition

Le raffinage du pétrole désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer du pétrole le maximum de produits à haute valeur commerciale. Selon l'objectif visé, en général, ces procédés sont réunis dans une raffinerie.

Le pétrole, mélange de différents produits hydrocarbonés, doit subir une série de traitements pour être utilisable dans les moteurs à combustion et dans les différentes branches de l'industrie (pétrochimie...). Très souvent, la qualité d'un brut dépend largement de son origine. Celle-ci détermine sa couleur, sa viscosité, sa teneur en soufre, son point d'écoulement et sa teneur en minéraux, facteurs pris en compte dans les procédés de raffinage.

Une raffinerie doit être conçue pour traiter une gamme assez large de bruts. Certaines sont adaptées à un brut particulier, lorsque la ressource estimée dudit brut est suffisamment importante.

Les raffineries sont schématiquement de conception simple ou complexe. Les raffineries simples sont constituées seulement de quelques unités de traitement, tandis que les raffineries complexes en possèdent bien plus.

En effet, selon l'objectif visé et l'endroit où se trouve la raffinerie, selon aussi la nature des bruts traités (exemple : brut BTS ou HTS, brut naphténique ou aromatique) la structure de la raffinerie à construire est différente ; selon également les besoins potentiels locaux, la raffinerie peut être très simple ou très complexe. Souvent en Europe, aux États-Unis et généralement dans des régions où les besoins en carburants sont élevés, la structure des

Chapitre I : La pétrochimie

raffineries est complexe. Par contre, dans les pays en développement, cette structure est assez simple.

Le pétrole, une fois arrivé à la raffinerie, est stocké dans des bacs de grande taille. En général, on stocke le pétrole à basse teneur en soufre (BTS) séparé de celui à haute teneur en soufre (HTS). Il en est de même dans le traitement. Selon la demande du marché, on traite d'abord dans un cycle avec du pétrole BTS avant de passer dans un cycle HTS afin d'éviter la contamination des produits BTS par ceux du HTS. Si c'est le cas inverse, les produits issus du traitement pendant quelques heures, s'il y a lieu, sont dirigés vers des bacs de produits HTS pour être retraités. [02]

1.3.1.2. Les trois étapes du raffinage

La transformation du pétrole brut est une opération incontournable. Dans une raffinerie, le brut est transformé en produits finis suivant des processus rigoureux appartenant à trois types principaux d'opérations : séparation, conversion et amélioration.

➤ **Les procédés de séparation :**

La première étape est celle de la séparation des molécules par distillation atmosphérique (c'est-à-dire à la pression atmosphérique normale), en fonction de leurs poids moléculaires. Ce procédé consiste à chauffer le pétrole à 350/400 °C pour en provoquer l'évaporation. Le chauffage s'effectue à la base d'une tour de distillation de 60 mètres de haut, appelée aussi topping. Les vapeurs de brut remontent dans la tour tandis que les molécules les plus lourdes, ou résidus lourds, restent à la base sans s'évaporer. À mesure que les vapeurs s'élèvent, les molécules se condensent les unes après les autres en liquides, jusqu'aux gaz qui atteignent seuls le haut de la tour, où la température n'est plus que de 150 °C. À différents niveaux de la tour se trouvent des plateaux qui permettent de récupérer ces liquides de plus en plus légers. Chaque plateau correspond à une fraction de distillation, appelée aussi coupe pétrolière, depuis les bitumes (hydrocarbures très visqueux) jusqu'aux gaz.

Les résidus lourds issus de cette distillation renferment encore beaucoup de produits de densité moyenne. On les soumet, dans une autre colonne, à une seconde distillation qui permet de récupérer plus de produits moyens (fiouls lourds et gazole).

➤ **Les procédés de conversion :**

Après les opérations de séparation, la proportion d'hydrocarbures lourds reste encore trop importante. Pour répondre à la demande en produits légers, on « casse » ces molécules lourdes en deux ou plusieurs molécules plus légère.

Appliqué à 500 °C, est également appelé craquage catalytique car il fait intervenir un catalyseur (substance accélérant une réaction chimique). 75 % des produits lourds soumis à la conversion sont ainsi transformés en gaz, essence et gazole. D'autres procédés permettent d'améliorer ce résultat par des ajouts d'hydrogène (hydrocraquage) ou en employant des méthodes d'extraction du carbone (conversion profonde). Plus une conversion est poussée, plus elle est coûteuse et gourmande en énergie. L'objectif permanent des raffineurs est de trouver l'équilibre entre degré et coût de la conversion.

➤ **Les procédés d'amélioration:**

Ils consistent à réduire fortement ou éliminer les molécules corrosives ou néfastes à l'environnement, en particulier le soufre. Les normes de l'Union européenne (UE) en matière d'émissions de soufre sont strictes : depuis le 1er janvier 2009, l'essence et le gazole contenant plus de 10 ppm (10 mg/kg) de soufre ne doivent pas être utilisés sur le territoire européen¹. Ces mesures visent à améliorer la qualité de l'air ambiant : elles permettent d'optimiser l'efficacité des technologies de traitement catalytique des gaz d'échappement des véhicules. La désulfuration du gazole s'effectue à 370 °C, sous une pression de 60 bars et en présence d'hydrogène dont l'action consiste à extraire la plus grande partie du soufre organique que l'on retrouve sous forme de sulfure d'hydrogène (H₂S). Ce dernier est ensuite traité pour produire du soufre, substance utilisée dans l'industrie.

Le kérosène, les gaz butane et propane sont, eux, lavés à la soude. Ce traitement, appelé adoucissement, débarrasse ces produits des mercaptans (thiols) qu'ils contiennent.

1.3.1.3. Structure d'une Raffinerie

➤ **Raffinerie simple :**

Les premières raffineries n'étaient formées que d'une seule unité : la distillation atmosphérique.

Cette pratique n'est plus viable économiquement et les raffineries les plus simples comprennent en outre des unités annexes de désulfuration et de reformage, ainsi qu'une distillation sous vide. Une raffinerie ne comprenant que ces unités est qualifiée « hydroskimming refinery » en anglais. Il n'en existe pratiquement plus.

Les raffineries modernes comprennent en effet en plus des unités précédentes, des unités de conversion (craquage) qui permettent de transformer les fractions pétrolières les plus

Chapitre I : La pétrochimie

lourdes dont le prix est de moins en moins attractif et qui ne sont utilisables que dans des installations industrielles spécifiques, en fractions plus légères pouvant constituer un carburant ordinaire (diesel, kérosène ou essence).

➤ Raffinerie complexe :

Les raffineries complexes peuvent donc avoir, en plus des unités ci-dessus, d'autres unités dont les plus communes sont :

- Le craquage catalytique (fluid catalytic cracking, FCC)
- Le viscoréducteur (visbreaking)
- L'isomérisation
- La polymérisation
- Le craquage à la vapeur (steam cracking)
- Le soufflage de bitume
- La cokéfaction (coking)

Dans ce cas, on dit qu'on est en conversion profonde (deep conversion). Ces techniques sont de plus en plus utilisées, du fait de l'évolution du marché : les pétroles disponibles sur le marché tendent à devenir plus lourds, tandis que la demande se déplace vers le « sommet du baril », le marché des fiouls lourds se réduit (en partie parce qu'ils sont souvent remplacés par le gaz naturel) tandis que la consommation de carburants automobiles ne cesse de croître.

➤ Unités de raffinage :

Chaque unité de raffinage abrite un procédé industriel ; il s'y déroule généralement une opération physique ou chimique simple. [03]

Le nombre des types d'unités et des procédés utilisés par l'industrie du raffinage est très élevé (ordre de 200). Il n'est donc pas question de les passer tous en revue.

1.3.2 Zone de stockage et/ou de distribution

1.3.2.1 Définition

➤ Centres de stockage :

Ce sont les arrêts 'intermédiaires' sous la responsabilité de l'entreprise que prend le produit de la source originale, où il est stocké, mouvementé et mis à la disposition du distributeur.

Source originelle : Nous entendons par 'source originale', le fournisseur ou l'endroit fournisseur en dehors de l'entreprise qui introduit les produits en provenance des installations algériennes d'hydrocarbures liquides ou gazeux, ou issue d'importation dans la chaîne de stockage.

❖ Centre de distribution hydrocarbures liquides et gazeux :

Sont inclus sous les termes 'commercialisation' toutes les activités qui amèneront les produits des centres de stock jusqu'à la clientèle. La commercialisation se résume à l'activité vente.

1.3.2.2 Classification

✓ Par rapport à la position dans la chaîne de stockage :

- Centres de stockage primaires :

Ce sont les premiers arrêts intermédiaires dans la chaîne. Ils reçoivent principalement les produits des sources originelles :

- Ils les mettent à la disposition du distributeur en vue de leur livraison à sa clientèle ;
- Ou les acheminent à la demande du distributeur vers les centres de stocks secondaires ;

- Centres de stockage secondaires :

Ce sont les deuxièmes arrêts intermédiaires. Ils reçoivent principalement les produits des centres de stock primaires et les tiennent à la disposition du distributeur pour la satisfaction de sa clientèle.

✓ Classifications par type de centre de stocks :

- a) Entrepôt : Centre de stockage primaire, servant principalement d'arrêt intermédiaire pour les hydrocarbures liquides et gazeux.

Chapitre I : La pétrochimie

b) Réservoir de stockage et Rampe de chargement GPL vrac : Centre de stockage primaire, servant principalement d'arrêt intermédiaire pour les hydrocarbures gazeux vrac.

c) Centre Emplisseur : Centre de stockage servant principalement d'arrêt intermédiaire et de conditionnement GPL.

d) Magasins ou centres : Centre de stockage servant principalement d'arrêt intermédiaire pour les lubrifiants, les pneumatiques et autres produits conditionnés.

e) Centre Bitumes : Usine ou Centre de stockage, soit primaire ou secondaire, servant principalement d'arrêt intermédiaire pour la fabrication et la formulation des bitumes fluidifiés.

f) Dépôt : Centre de stockage secondaire, servant d'arrêt intermédiaire pour autant de gammes de produits qu'il est jugé efficace et économique.

g) Centre de frais : Chaque centre de stockage et/ou de distribution tout produit est aussi un centre de frais, les activités qui s'y déroulent, génèrent des charges qui lui sont imputables.

1.3.2.3. Activités principales dans un centre de stockage, de distribution et de commercialisation - CSDC

a. Direction du centre :

- Dépôts carburants : Cette activité dont se charge le chef du centre et parfois secondé par un chef de centre adjoint, consiste à gérer l'ensemble des activités du centre
- Centre de distribution : Cette activité dévolue à la commercialisation a en charge les fonctions liées à la relation clientèle au sein des dépôts carburants.
- Magasins, centres emplisseurs et autres : L'activité est confiée à un responsable chargé de la gestion courante de l'unité.

b. Mouvements - produits : Déchargement, stockage et chargement des produits.

Suivant l'horaire et le volume de ces activités dans le centre, une ou plusieurs équipes seront responsables de décharger les entrées, de les mouvementer jusqu'à l'emplacement prévu pour leur stockage et de les manipuler à nouveau lors des sorties ainsi que de les charger sur les moyens de transport.

c. Production, conditionnement, mélange, petites fabrications, suivant l'horaire etc.....

Chapitre I : La pétrochimie

Selon le volume de ces "activités" au centre, une ou plusieurs équipes seront responsables de la transformation des produits. Si ces activités sont peu importantes dans le centre, les mêmes équipes de déchargement, de stockage et de mouvement produits assureront cette tâche.

Pour un rendement efficace, une équipe constituée d'un chef d'équipe avec le cas échéant des ouvriers spécialisés, des ouvriers et des manœuvres dont le nombre du personnel de l'équipe a été décidé par la méthode la plus appropriée en vue d'atteindre l'objectif assigné.

Ces activités ne se font que dans les unités préalablement arrêtées.

d. Entretien et réparation :

Dans certaines unités il pourrait y avoir une ou plusieurs personnes chargées de l'aspect technique, voir l'entretien et la réparation du matériel (non roulant) et de l'équipement du centre (MIF)

e. Transport :

Suivant l'horaire et le volume de cette activité au centre, une ou plusieurs personnes seront responsables pour organiser et contrôler le transport (dispatcher). Si des camions ont été affectés au centre, le personnel chargé de l'activité de transport inclura des chauffeurs et, cas échéant des convoyeurs.

f. Gestion :

Dans chaque centre, il y aura un nombre de personne qui sont chargées des activités

Administratives et de Trésorerie, telles que les fonctions de réception des commandes, facturation automatisée qui assure le contrôle crédit et le suivi des stocks, caisse, transmission courrier, dédouanement, rédaction des rapports, suivi du personnel etc.....

A l'exception des centres de distribution auxquels sont dévolus les fonctions :

- Transport livraison.
- Réception commande.
- Dispatching, facturation.
- Encaissement.
- Relation clientèle.

Chapitre I : La pétrochimie

Pour une gestion efficace et la sincérité des comptes de l'entreprise, la tenue des comptabilités Matière, Générale, Analytique est assurée au niveau des centres de stockage, de distribution et de commercialisation de tous les produits.

1.4. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre les généralités de la pétrochimie, on a commencé par la notion sur pétrochimie et l'industrie pétrochimique, après les types des unités pétrochimiques : raffinage, forage, zone de stockage et/ou de distribution.

Dans le chapitre suivant nous allons parler sur les risques liés aux unités pétrochimiques.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

2.1. Introduction

L'industrie pétrochimique constitue pour plusieurs pays un facteur important de croissance économique, mais elle peut aussi être très dangereuse et constituée un risque industriel majeur.

Les risques sont liés aux procédés technologiques et à leurs probables défaillances, aux matières utilisées qui peuvent se présenter sous forme gazeuse, liquide ou solide. Certaines sont toxiques, explosives, inflammables et peuvent générer des explosions, incendies, risque pour l'environnement, les travailleurs, les populations, si elles venaient à se répandre à l'extérieur des installations où on les utilisent .

D'autres risques moins dangereux peuvent être liés aux tâches (manipulation de produits chimiques, exposition au bruit...), en fonction de l'état de santé et de l'aptitude du travailleur qui les accomplit (travail posté, maladies chroniques...)

D'où l'intérêt accordée par les dirigeants de ces structures à haut risque aux mesures HSE par l'acquisition d'une organisation parfaite et perfectible en fonction de l'évolution des technologies ainsi que l'acquisition de moyens humains et matériels spécialisés pour pouvoir faire face aux différents défis lancés par cette industrie. [05]

2.2. Notion de bases

2.2.1 Risque technologiques

Le risque technologique est la possibilité qu'un aléa d'origine technologique (c'est-à-dire lié à des activités humaines) se produise et touche une population vulnérable à ce risque. La réalisation de ce risque est une catastrophe technologique ou catastrophe industrielle.

2.2.2. ISO 31010

IEC 31010 :2019 est publiée en tant que norme double logo avec ISO et donne des recommandations pour le choix et l'application des techniques d'appréciation du risque dans différentes situations. Ces techniques visent à aider à la prise de décision en cas d'incertitude, à donner des informations relatives à des risques particuliers et dans le cadre d'un processus de management du risque. Le document récapitule l'éventail des techniques, avec des références vers d'autres documents où ces techniques sont décrites de manière plus précise. Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique. Cette édition inclut les modifications techniques majeures

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

suivantes par rapport à l'édition précédente ; le nombre et la plage d'application des techniques ont été élargis ; les concepts couverts par l'ISO 31000 ne sont plus traités dans la présente norme. Mots clés : incertitude, management du risque

2.3. Les risques rencontrés dans les procédés pétrochimiques

2.3.1. Risques inhérents aux lieux de travail

Ce sont de grandes zones de travail où il y a nécessité de circuler en véhicule. Il existe donc un risque lié à la circulation véhicules avec ou sans présence de piétons dans ces lieux.

L'importance des canalisations en taille et en étendue nécessite une bonne connaissance des lieux pour évoluer en toute sécurité dans ce contexte.

Le stockage et la fabrication de produits dangereux de grandes tailles nécessitent une formation aux risques chimiques et aux risques liés aux produits inflammables pour pouvoir pénétrer dans ces zones (pénétration en zone ATEX). Sinon, l'accompagnement par une personne qualifiée et formée est nécessaire.

2.3.2. Risques inhérents aux tâches

Les opérations de production sont en continue en général (fonctionnement 24/24 toute l'année sauf arrêt programmé) et sont généralement pilotées à distance par l'intermédiaire de salle de contrôle. Le travail dit de quart est un facteur à risque : fatigue lié aux changements d'horaires de travail, passage de consignes mal passées, rythme social en décalage...etc. Le travail dans les salles de contrôle peut aussi provoquer des risques liés au travail sur écran, parfois lié à la monotonie des tâches ou parfois au contraire lié à la charge mentale importante (pilotage de plusieurs alarmes en même temps...).

Les opérations de maintenance sont la plupart du temps à la charge d'entreprises sous-traitantes. Le risque est souvent mal maîtrisé à cause premièrement d'une information insuffisante de l'entreprise utilisatrice envers les entreprises intervenantes et/ou deuxièmement par une sous qualification des intervenants extérieurs.

Ce constat constitue l'évolution actuelle du déplacement des risques de la raffinerie vers les entreprises extérieures. [06]

2.3.3. Risques liés aux Procédés

2.3.3.1 Le prétraitement du pétrole

Le dessalage

La première étape du raffinage consiste à éliminer les contaminants (l'eau, des sels inorganiques, des solides en suspension et des traces de métaux solubles dans l'eau) par dessalage (déshydratation) pour réduire la corrosion, le colmatage et l'encrassement des installations et empêcher l'empoisonnement des catalyseurs dans les unités de production.

Le dessalage est un procédé en circuit fermé, il y a peu de risque d'exposition à du pétrole brut ou à des produits, sauf en cas de fuite ou de rejet.

Un incendie peut se déclarer par suite d'une fuite dans les réchauffeurs, entraînant le rejet des constituants volatils du pétrole brut. Il peut y avoir exposition à de l'ammoniac, à des émulsifiants chimiques secs ainsi qu'à des bases ou des acides durant le dessalage. Il y a présence de sulfure d'hydrogène lorsqu'on procède au dessalage de pétroles bruts acides à des températures élevées.

Selon la matière première brute et les produits de traitement utilisés, les eaux usées contiendront diverses quantités de chlorures, de sulfures, de bicarbonates, d'ammoniac, d'hydrocarbures, de phénols et de solides en suspension. Si l'on procède à la filtration sur de la terre à diatomées, il faut limiter ou contrôler les expositions, car ce milieu de filtration peut contenir de très fines particules de silice qui sont dangereuses pour les voies respiratoires.

2.3.3.2. Les procédés de séparation du pétrole brut

Distillation atmosphérique

La première phase du raffinage est le fractionnement du pétrole brut dans des tours de distillation atmosphérique et sous vide.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

Distillation sous vide

Le brut peut contenir d'importante quantité d'eau en suspension qui se sépare au moment de la distillation. L'eau peut s'échauffer jusqu'à ébullition et provoquer une explosion, par vaporisation instantanée au contact des hydrocarbures.

Lors du traitement de bruts acides (riches en soufre), il y a un risque d'exposition au sulfure d'hydrogène dans l'échangeur et le four de préchauffage, dans la zone de détente et dans le circuit de tête de la tour, dans le four et la tour de distillation sous vide et dans l'échangeur des résidus de distillation.

Les pétroles bruts et les produits de distillation contiennent tous des composés aromatiques à point d'ébullition élevée, y compris des HAP qui sont cancérogènes.

L'exposition de courte durée à des vapeurs de naphta présentes en concentrations élevées peut provoquer des maux de tête, des nausées et des étourdissements, tandis que l'exposition de longue durée peut entraîner une perte de connaissance.

Pour les naphtas aromatiques contenant du benzène (cancérogène cat. .1), il est capital de limiter l'exposition à ces substances.

Les produits de tête des déshexaniseurs peuvent contenir des quantités importantes d'hexane normal, substance qui peut agir sur le système nerveux des personnes exposées.

2.3.3.3. Les procédés de conversion du pétrole brut

Les craquages thermiques, catalytiques, le reformage catalytique et l'isomérisation sont des procédés qui permettent de modifier les molécules d'hydrocarbures et d'obtenir ainsi des produits présentant des caractéristiques différentes.

2.3.3.3.1. Les procédés de craquage thermique

La viscoréduction

La viscoréduction est une forme de craquage thermique modéré de mélanges lourds qui permet de réduire le point d'écoulement des résidus cireux et de diminuer considérablement la viscosité du produit sans modifier sa plage d'ébullition.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

La cokéfaction

La cokéfaction est un craquage thermique poussé permettant d'obtenir de l'essence de distillation directe (naphta de cokéfaction) et divers distillats moyens qui sont envoyés dans les unités de craquage catalytique. **Le sulfure d'hydrogène et les bruts acides favorisent la corrosion des installations.**

L'unité de cokéfaction peut exploser par contact avec de l'eau résiduelle et lorsqu'elle est rechargée avec du coke chaud. Il y a risque de brûlure lors de la manipulation de coke chaud, par exposition à la vapeur en cas de fuite sur une conduite, ou encore par contact avec l'eau chaude, le coke chaud ou les produits pâteux chauds qui peuvent s'échapper lors de l'ouverture des fours de cokéfaction.

Il y a risque d'exposition à des naphtas aromatiques contenant du benzène, du sulfure d'hydrogène et du monoxyde de carbone à l'état gazeux, ainsi qu'à des traces de HAP cancérigènes produits lors des opérations de cokéfaction. Lorsque le coke est retiré sous forme pâteuse, il peut y avoir diminution de la teneur en oxygène en milieu confiné, par exemple dans des silos de stockage.

Procédés de craquage catalytique

Le craquage catalytique permet d'obtenir des molécules plus simples par fragmentation d'hydrocarbures complexes, d'améliorer ainsi la qualité et d'augmenter la quantité de produits légers plus intéressants et de diminuer la quantité de résidus.

Il faut régulièrement prélever des échantillons et analyser la charge, les produits obtenus et les produits recyclés pour s'assurer que le procédé de craquage se déroule comme prévu et qu'aucun contaminant n'a pénétrés dans le circuit.

Lors du traitement de bruts acides, **il peut y avoir corrosion si les températures sont inférieures à 482 °C. Il y a également risque de corrosion en présence simultanée de liquides** et de vapeurs et aux endroits soumis à un refroidissement local, par exemple les supports de buses et les points d'appui d'une plateforme.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

Lors du traitement de charges riches en substances azotées, la présence d'ammoniac et de cyanure pourrait entraîner **la corrosion**, la fissuration et le cloquage par l'hydrogène des équipements en acier inoxydable du circuit de tête.

La présence d'hydrocarbures liquides dans le catalyseur ou dans l'air de combustion chauffé peut provoquer des réactions exothermiques. Dans certains procédés, il faut s'assurer que les poussières de catalyseur n'atteignent pas des concentrations explosives durant le rechargement ou l'élimination. Il peut y avoir des feux de sulfure de fer durant le déchargement du catalyseur recouvert de coke.

Il y a des risques **d'exposition à des liquides ou à des vapeurs d'hydrocarbures extrêmement chauds lors du prélèvement d'échantillons** dans les circuits ou en cas de fuite ou de rejet. Durant le rejet de produits ou de vapeurs, on peut être exposé à des HAP cancérogènes, à du naphta aromatique contenant du benzène, à des gaz acides, à du sulfure d'hydrogène ou à du dioxyde de carbone. Il peut y avoir formation accidentelle de nickel carbonyle très toxique dans les procédés de craquage utilisant des catalyseurs au nickel.

La régénération du catalyseur comprend un stripage à la vapeur et un décokage qui peuvent présenter un risque d'exposition à des résidus liquides pouvant contenir diverses quantités d'eaux acides, d'hydrocarbures, de phénols, d'ammoniac, de sulfure d'hydrogène, de mercaptans et d'autres substances.

L'hydrocraquage

L'hydrocraquage est un procédé en deux étapes combinant le craquage catalytique et l'hydrogénation, procédé au cours duquel les produits souhaités sont obtenus par craquage de fractions distillées en présence d'hydrogène et de catalyseurs spéciaux.

Il existe des pressions très élevées intervenant dans ce procédé. Ce procédé est soumis à de fortes corrosions de par les conditions de températures élevées et la nature des gaz (sulfure d'hydrogène,...). **Compte tenu des pressions et des températures de fonctionnement très élevées des unités d'hydrocraquage, des incendies peuvent exister par le fait de fuites possibles d'hydrocarbures ni rejets d'hydrogène.**

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

Comme il s'agit d'un procédé en circuit fermé, les risques d'exposition pour le personnel sont minimales en temps normal. Il y a surtout un risque d'exposition à du naphta aliphatique contenant du benzène, à des HAP cancérogènes, à des émissions de gaz et de vapeurs d'hydrocarbures, à des gaz riches en hydrogène et à du sulfure d'hydrogène, en cas de fuites dans les circuits haute pression. Il peut aussi y avoir des rejets de grandes quantités de monoxyde de carbone durant la régénération et le changement du catalyseur. **Les poussières de catalyseur peuvent atteindre des concentrations explosives durant le rechargement. Des incendies peuvent être provoqués par le sulfure de fer qui recouvre le coke.**

✚ La polymérisation :

La polymérisation est un procédé permettant de combiner au moins deux molécules organiques non saturées (oléfiniques) en une seule molécule plus lourde dans laquelle les éléments de la molécule d'origine sont présents dans les mêmes proportions

✚ Le reformage catalytique

Les procédés de reformage catalytique permettent de convertir les naphthas lourds à faible indice d'octane en hydrocarbures aromatiques pouvant servir de matières premières pour l'industrie pétrochimique et en constituants pour l'essence à indice d'octane élevé.

Les produits obtenus sont appelés « reformat ». Les reformats peuvent avoir des concentrations très élevées de toluène, de benzène, de xylène et d'autres constituants aromatiques utiles dans la préparation de l'essence et dans les procédés pétrochimiques.

✚ L'isomérisation :

L'isomérisation permet de convertir le n-butane, le n-pentane et le n-hexane en leurs iso paraffines respectives. Il peut y avoir formation d'acide si la charge n'est pas complètement sèche et désulfurée, ce qui altérerait le catalyseur et entraînerait la corrosion du métal.

Il y a un risque d'exposition à l'isopentane, à des vapeurs et à des liquides de naphthas aliphatiques, à un gaz riche en hydrogène, à de l'acide chlorhydrique, à du chlorure d'hydrogène et à des poussières (lorsqu'on utilise un catalyseur solide).

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

2.3.3.4. Les procédés de combinaison

La polymérisation

La polymérisation est un procédé permettant de combiner au moins deux molécules organiques non saturées (oléfines) en une seule molécule plus lourde dans laquelle les éléments de la molécule d'origine sont présents dans les mêmes proportions.

Le personnel peut être exposé aux solutions de lavage caustiques (hydroxyde de sodium), à l'acide phosphorique utilisé lors du procédé ou éliminé durant la révision complète de l'installation, ainsi qu'aux poussières de catalyseur. Il y a aussi un risque de réaction exothermique incontrôlée en cas de perte d'eau de refroidissement.

L'alkylation

L'alkylation combine les molécules d'oléfines obtenues par craquage catalytique avec des molécules d'iso paraffines et accroît ainsi le volume et l'indice d'octane des essences de base.

L'acide sulfurique et l'acide fluorhydrique sont des produits chimiques dangereux, et il faut prendre des précautions lors de leur livraison et de leur déchargement. La concentration de l'acide sulfurique devrait être maintenue entre 85 et 95% pour assurer la bonne marche du procédé et limiter la corrosion. Il se produit **une certaine corrosion et un encrassement des unités d'alkylation à l'acide sulfurique en raison de la décomposition des esters sulfuriques ou de l'addition d'une substance caustique comme neutralisant.**

Les fuites, déversements ou rejets d'acide fluorhydrique ou d'hydrocarbures contenant de l'acide fluorhydrique **sont extrêmement dangereux.** . Les fuites, déversements ou rejets risquent de donner lieu à de graves expositions à des substances dangereuses. Tout contact direct avec de l'acide sulfurique ou de l'acide fluorhydrique peut causer de graves lésions cutanées et oculaires, tandis que l'inhalation de brouillards d'acide ou de vapeurs d'hydrocarbures contenant un acide peut entraîner une grave irritation et des lésions des voies respiratoires. [07]

2.3.3.5. Les procédés de traitement

De nombreux produits, comme les naphthas thermiques obtenus par viscoréduction, cokéfaction ou craquage thermique, ainsi que les naphthas et les distillats riches en soufre produits par distillation du pétrole brut, doivent subir un traitement avant d'être utilisés dans les mélanges d'essence et de mazout.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

Reformage à la vapeur

L'extraction par les solvants permet de séparer les composés aromatiques, les naphènes et les impuretés du produit en les dissolvant ou en les précipitant.

Il peut y avoir un risque d'exposition du personnel à la suite de la contamination du condensat par des matières de traitement, telles que des substances caustiques et des composés aminés, et en raison de la présence d'un excès d'hydrogène, de monoxyde de carbone ou de dioxyde de carbone. Le rejet de gaz chauds et de vapeur surchauffée risque de causer des brûlures.

Procédé de déparaffinage par solvant

Le déparaffinage par solvant, qui élimine la cire présente dans le distillat ou le résidu d'huiles de base, peut être appliqué à n'importe quelle étape du raffinage.

Procédé de désasphaltage par solvant

Le désasphaltage par solvant permet de séparer les fractions d'huile lourde et d'obtenir de l'huile lubrifiante lourde, des produits destinés au craquage catalytique et des bitumes.

Dans le désasphaltage par solvant, toute perte de vide risque de provoquer un incendie en raison de la pénétration d'air dans l'unité. On peut aussi être exposé aux vapeurs de solvant de déparaffinage, constitué d'un mélange de MEK et de toluène.

Bien que l'extraction par solvant soit un procédé en circuit fermé, elle comporte un risque d'exposition aux HAP cancérogènes présents dans les huiles traitées aux solvants d'extraction, comme le phénol, le furfural, le glycol, la MEK, des amines et d'autres produits mis en œuvre ou manipulés lors des opérations. Il faut réguler la température et la pression avec précision durant le désasphaltage pour éviter toute perturbation.

De plus, l'humidité, un excès de solvant et une baisse de la température de traitement peuvent entraîner la formation de mousse et affecter ainsi le bon fonctionnement des opérations. Le contact avec de l'huile chaude provoque des brûlures de la peau.

Il existe un risque d'exposition du personnel à de l'huile chaude contenant des composés aromatiques polycycliques cancérogènes, à du propane liquéfié et des vapeurs de propane, du sulfure d'hydrogène et du dioxyde de soufre.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

✚ Procédé d'hydrotraitement

L'hydrotraitement permet d'éliminer environ 90% des contaminants, y compris l'azote, le soufre, les métaux et les hydrocarbures non saturés (oléfines) présents dans les fractions pétrolières liquides, comme l'essence de distillation directe.

Lors de l'hydrotraitement, il faut maintenir au plus bas niveau possible la teneur en sulfure d'hydrogène de la charge pour réduire la corrosion.

En cas de rejet, il y a un risque d'exposition du personnel à des vapeurs de naphta aromatique contenant du benzène, du sulfure d'hydrogène ou de l'hydrogène ; en cas de fuite ou de déversement d'eau acide, **il y a un risque d'exposition à de l'ammoniac**. Il peut aussi y avoir présence de phénols lors du traitement de charges possédant un point d'ébullition élevé. [08]

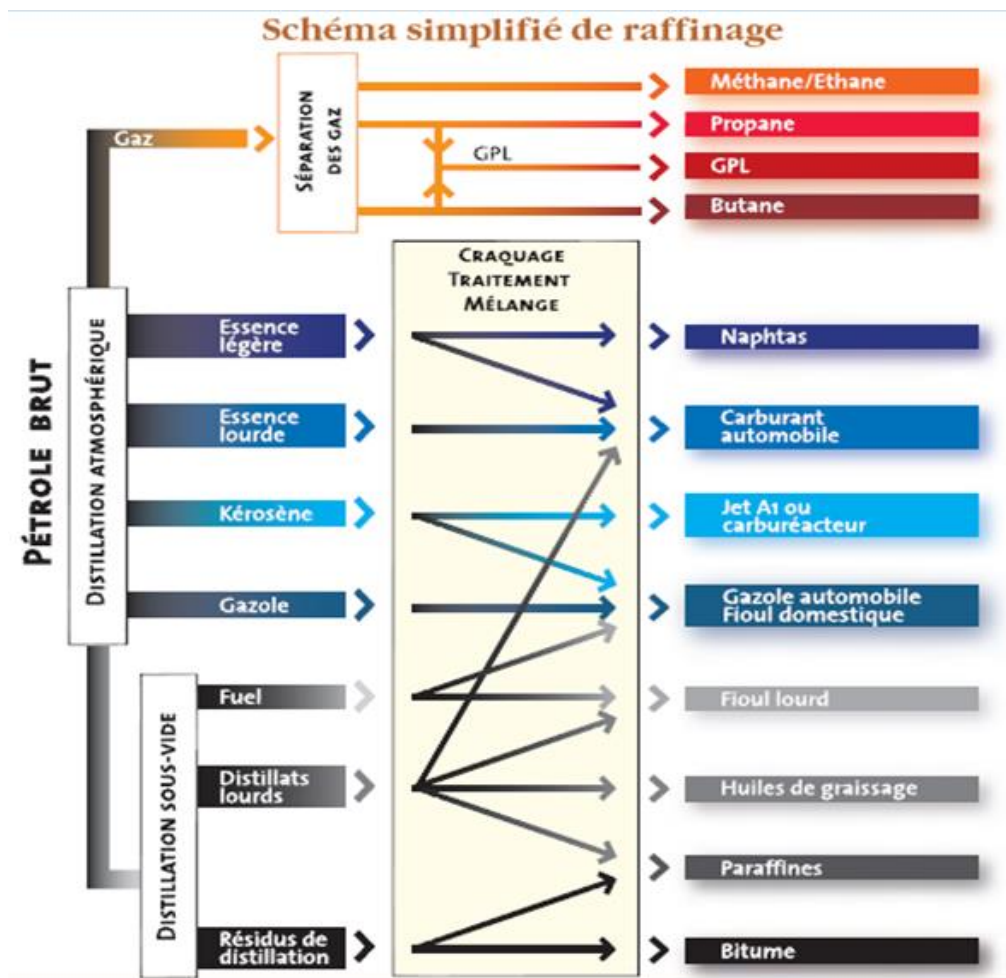


Figure 2.1 Schéma simplifié de raffinage

2.4. Scenarios d'incendie et d'explosion

2.4.1. L'incendie

2.4.1.1. Définition

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

L'incendie, appelé communément feu, est particulièrement destructeur pour les activités humaines et la nature : habitations, lieux de travail, entrepôts, véhicules, cultures, forêts, monuments historiques, etc. La prise en compte du risque d'incendie a conduit à créer des services de secours (sapeurs- pompiers, protection civile). Ils ont développé et perfectionné des moyens de lutte contre l'incendie pour combattre l'incendie.

2.4.1.2. Les causes d'incendie [09]

Les sources sont de trois ordres :

Energétiques:

- Thermiques (surfaces chaudes, appareils de chauffage, flammes nues, travaux par point chaud).
- Electriques (étincelles, échauffements dus à la vétusté, la non-conformité des installations ou les surcharges électriques).
- Electrostatiques (les étincelles peuvent intervenir comme énergie d'activation), mécaniques (étincelles, échauffements...).
- Chimiques (réactions exothermiques, emballement de réaction...).

Humaines:

- Cigarettes (l'extrémité d'une cigarette allumée atteint plus de 700 °C).
- Négligence.
- Malveillance.

Naturelle:

- Bactériologiques (la fermentation bactérienne peut échauffer le milieu).
- Climatiques (foudre, soleil...).

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

2.4.1.3. Scenario d'incendie

Incendie dans un complexe de gaz liquéfié.

Algérie, Laghouat, Hassi Rmel, Module « 0 » SH 26 /07/2007



Figure 2.2 Incendie Laghouat, Hassi Rmel

✚ Les installations concernées

Hassi R'Mel est le gisement gazier le plus important en Algérie et d'Afrique situé au niveau de la wilaya de Laghouat à environ 500 Km d'Alger, il s'étend sur 3500km³, le 1^{er} puit mis en exploitation était en 1952 les installations d'exploitation de gaz, de condensat et du brut sont au nombre de 14 unités et employant plus de 4000 travailleurs.

✚ Le déroulement, les causes et les circonstances de L'accident

➤ L'accident et son déroulement

Le matin à 09h40min au niveau de la zone centre du complexe gazier de HR un début d'incendie s'est déclenché au niveau de la soupape de dépressurisation du bac de stockage T3006 du module « 0 » d'une capacité de stockage de 2500 m³.

Les services d'intervention HSE ont pu maîtriser le feu sans qu'il y ait de dégât matériel ni humain dans un délai de 20min.

➤ Les causes probables

Le directeur régional déclare que le début de feu a pour cause le déclenchement normal d'une soupape de dépressurisation, une fois le gaz à l'air libre une étincelle électrostatique

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

serait la cause probable de l'incident en plus de la température ambiante de 47°C et le sifflement des vents.

2.4.2. L'explosion

2.4.2.1. Définition

Il y a lieu de distinguer deux types d'explosions :

- la première est une explosion résultant d'une combustion à vitesse élevée, elle peut se produire soit au sein même d'un produit, soit au sein du mélange d'un gaz avec l'air, dans ce dernier cas une flamme se propage dans le mélange à une vitesse élevée, et ce selon la réactivité du produit et les proportions du mélange.
- Le second type d'explosion est un éclatement d'un réservoir, ou d'un réacteur, dû à l'augmentation excessive de la pression de gaz qu'il contient ou à l'affaiblissement localisé de la résistance de ses parois.
- On peut observer aussi des explosions résultant de la mise en présence de substances chimiques dite incompatibles qui réagissent violemment entre elles.

2.4.2.2. Les effets de l'explosion

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

- Les effets de surpression engendrés par une explosion due à la production de gaz de combustion sont relativement importants dans les cas de fort confinement et peuvent passer du cas de déflagration à celui de détonation.
- Les effets d'un éclatement d'un réservoir ou d'une conduite sont d'une part des effets de surpression dus à l'expansion brutale des gaz comprimés et les vaporisations instantanées d'une partie de la phase liquide et d'autre part des projections des fragments du réservoir ou de la conduite.
- Les effets thermiques d'une explosion sont dus au rayonnement de la flamme et des gaz chauds de combustion, leur portée et leur gravité sont variables selon l'étendue de la propagation de l'explosion et selon sa vitesse.

- Plus une explosion sera confinée ou en milieu encombré, plus la vitesse de flamme et la suppression seront grandes.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

- Par ailleurs, plus les conditions d'explosion du mélange seront réunies sur une étendue vaste plus les cibles distantes seront affectées par les effets cumulatifs du rayonnement.

2.4.2.3. Scénario d'explosion

Raffinage du pétrole ALGERIE, SKIKDA 19/01/2004

✚ Les installations concernées

➤ Présentation de l'unité

Le complexe de raffinage du pétrole de Skikda est le plus grand site du raffinage au niveau continental, baptisé RA1/K. Il est implanté depuis 1980 dans la zone industrielle à 07 Km à l'est de la ville de Skikda et à 02 Km de la mer. Il est aménagé sur une superficie de 230 hectares (projet de réhabilitation inclus) et il emploie actuellement un effectif de plus de 1500 travailleurs. Cette raffinerie a pour mission de transformer le pétrole brut provenant d'Hassi Messaoud à travers un pipeline de 760 km et de 34 pouces de diamètre. Sa capacité de traitement est de 15 millions de tonnes par année de pétrole et de 279 000 tonnes par an de Brut Réduit Importé (BRI).

✚ Le déroulement, les causes et les circonstances de L'accident

➤ L'accident et son déroulement

Une explosion se produit vers 18h40 dans le complexe pétrochimique situé sur la côte et comprenant 6 unités de traitement de gaz et d'hydrocarbures. 1500 personnes travaillent sur ce site qui est en partie alimenté par du gaz et du pétrole en provenance du Sahara.

L'accident se produit dans l'unité traitant du gaz naturel (GNL), à la suite de l'explosion d'une chaudière à haute pression fabriquant de la vapeur. Sous la violence de l'explosion, des réservoirs de substances inflammables à proximité sont endommagés à leur tour : les fuites qui en résultent provoquent l'extension de l'incendie en différents foyers et de nouvelles explosions (effet domino). Le souffle de l'explosion, entendue à 10 km à la ronde, brise les vitres d'immeubles et commerces du voisinage. Une cellule de crise est mise en place par l'exploitant et le ministère de l'intérieur, le préfet local (" wali ") déclenche l'équivalent du PAM. Les secours doivent lutter 8 h pour maîtriser l'incendie.

Chapitre 2 : les risques liés aux unités pétrochimiques

➤ Causes et circonstances

Le bilan final est très lourd : 27 victimes parmi les employés dont 9 gardiens ou agents de sécurité situés dans un poste proche et 74 blessés (dont 43 sortiront le lendemain après examens). La plupart des décès est liée aux effets de surpression ou de projection et effondrements de structures.

L'estimation des dégâts matériels se monte à 800 M de dollars. 3 des 6 unités de liquéfaction sont détruites. Des débris sont projetés jusqu'à 250 m du point de l'explosion mais les dégâts restent limités au site.

Selon un des témoins, des bruits anormaux correspondant à des vibrations ou à des fuites sur soupapes auraient été entendus avant l'explosion violente. L'unité ("train 40") où s'est produite l'explosion, semblait présenter des anomalies de fonctionnement régulières. Suite à une fuite importante signalée par un agent de maintenance qui décèdera dans l'explosion, un mélange d'air et d'hydrocarbures gazeux aurait été aspiré par l'entrée d'air de la chaudière du train n°40. Cette aspiration aurait provoqué une première explosion à l'intérieur de cette dernière, suivie d'une seconde déflagration à l'extérieur puis d'un incendie détruisant les "trains" n°20 et 30 voisins espacés de 60 m les uns des autres.



Figure 2.3 Explosion SKIKDA

2.5. Conclusion

Nous avons essayé tout au long de ce chapitre de mieux situer les risques liés aux unités pétrochimiques.

Nous avons d'abord expliqué et données des informations sur Les risques rencontrés dans les procédés pétrochimiques dans lequel : risques inhérents aux lieux de travail, risques inhérents aux tâches et risques liés Procédés. Ensuite nous avons présenté deux scénarios : scenario d'incendie dans un complexe de gaz liquéfié **Algérie, Laghouat, Hassi Rmel, Module « 0 » SH 26 /07/2007**, et Scénario d'explosion *raffinage du pétrole ALGERIE, SKIKDA 19/01/2004*.

Dans le troisième chapitre nous allons bien détailler la méthode ADD et RB sur les deux scénarios.

**Chapitre III : Arbre De Défaillance
et Réseau Bayésien[15]**

3.1. Introduction

L'objectif de ce travail, est identifier et présenter l'arbre de défaillance et réseau bayésien en détail afin d'étudier les scénarios d'incendie dans unité pétrochimie par l'ADD et RB.

L'arbre de défaillances est une méthode statique basée sur la logique booléenne pour représenter le système étudié. Elle est adaptée à des systèmes à configuration statique, c'est à dire des systèmes dont les relations fonctionnelles entre leurs composants restent figées.

Les réseaux bayésiens (RB) sont des modèles graphiques interprétables et flexibles pour représenter des relations probabilistes entre de multiples entités inter agissantes. Utilisés dans un but d'aide à la décision et plus précisément dans l'élaboration de stratégies de maintenance des systèmes complexes à travers du diagnostic.

Pour cela nous allons présenter dans ce chapitre les méthodes les plus adaptées à la modélisation et étudié l'ADD et RB pour appliquer au des scénarios d'incendie.

3.2. Les arbres de défaillances

3.2.1. Les méthodes d'analyse prévisionnelle des risques

Les méthodes d'analyse prévisionnelle [35], [33] se répartissent par ces 3 étapes couramment rencontrés qui se différencient par les techniques de raisonnement :

- ✓ Qualitative / quantitative
- ✓ Inductive / déductive
- ✓ Statiques/dynamiques

La mise en œuvre de ces méthodes rend indispensables des décompositions hiérarchiques matérielles ou fonctionnelles du système.

Le Tableau 3.1 Quelques démarches ou méthodes utilisées

Méthode	Inductive/ déductive	Qualitative/ quantitative	Statique/ dynamique	Objectifs visés
Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC)	Inductive	Qualitative	Statique	Identifier les effets des modes de défaillance des composants sur le fonctionnement du système.

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Arbre de Défaillance (ADD)	Déductive	Qualitative Quantitative	Statique	Représenter de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent engendrer un événement redouté.
Arbre d'Événement (ADE)	Inductive	Qualitative Quantitative	Statique	Représenter sous forme de scénarios les conséquences potentielles d'un événement initiateur, d'une défaillance.
Réseau de Pétri	Inductive	Qualitative Quantitative	Dynamique	Repérer le passage par les états de défaillance sur le fonctionnement du système.
Chaînes de Markov	Inductive	Qualitative Quantitative	Dynamique	Repérer le passage par les états de défaillance sur le fonctionnement du système.
Réseaux Bayésien dynamique	Inductive	Qualitative Quantitative	Dynamique	Identification de l'évolution du système dans les états bon fonctionnement, dégradé, panne.

Les données d'entrée de ces méthodes sont de deux ordres :

- ✓ Connaissance du système résultant généralement d'une étude fonctionnelle.
- ✓ Données de nature événementielle, sous forme brute : états, historiques, ... ou sous forme de modèle statistique : lois mathématiques décrivant les fonctions de distribution des événements.

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Les résultats établis en sortie sont :

- ✓ Des modèles de comportement du système (vis-à-vis des défaillances, réparations, sollicitations, service, ...) :
 - Modèles de sûreté de fonctionnement.
 - Modèles mixtes sûreté de fonctionnement/performance, ...
- ✓ Des grandeurs établies à partir des modèles et pouvant revêtir différentes formes :
 - Probabilités d'états ou d'occurrence d'événements.
 - Quantificateurs FDMS, etc.
 - Métriques évoluées de performance et de coût.
- ✓ Des éléments de stratégies d'actions ou d'aide à la décision :
 - De maintenance : contrôle, fréquence d'entretien, ...
 - De gestion de risques : protection, évitement, ...

3.2.1.1 Analyse par arbre de défaillances

- **Analyse qualitative :**

Cette analyse permet de déterminer les faiblesses du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la fiabilité du système. La recherche des éléments les plus critiques est faite en déterminant les chemins qui conduisent à un événement sommet par les coupes minimales [16], (ensemble d'événements de base et de conditions suffisant pour produire l'événement-sommet). Ces chemins critiques représentent des scénarios qui sont analysés en fonction des différentes modifications qu'il est possible d'apporter au système.

La méthode consiste en une représentation graphique des multiples causes d'un événement dangereux. Elle permet de visualiser les relations entre les défaillances d'équipement, les erreurs humaines et les facteurs environnementaux qui peuvent conduire à des accidents. On peut donc éventuellement y inclure des facteurs reliés aux aspects organisationnels.

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

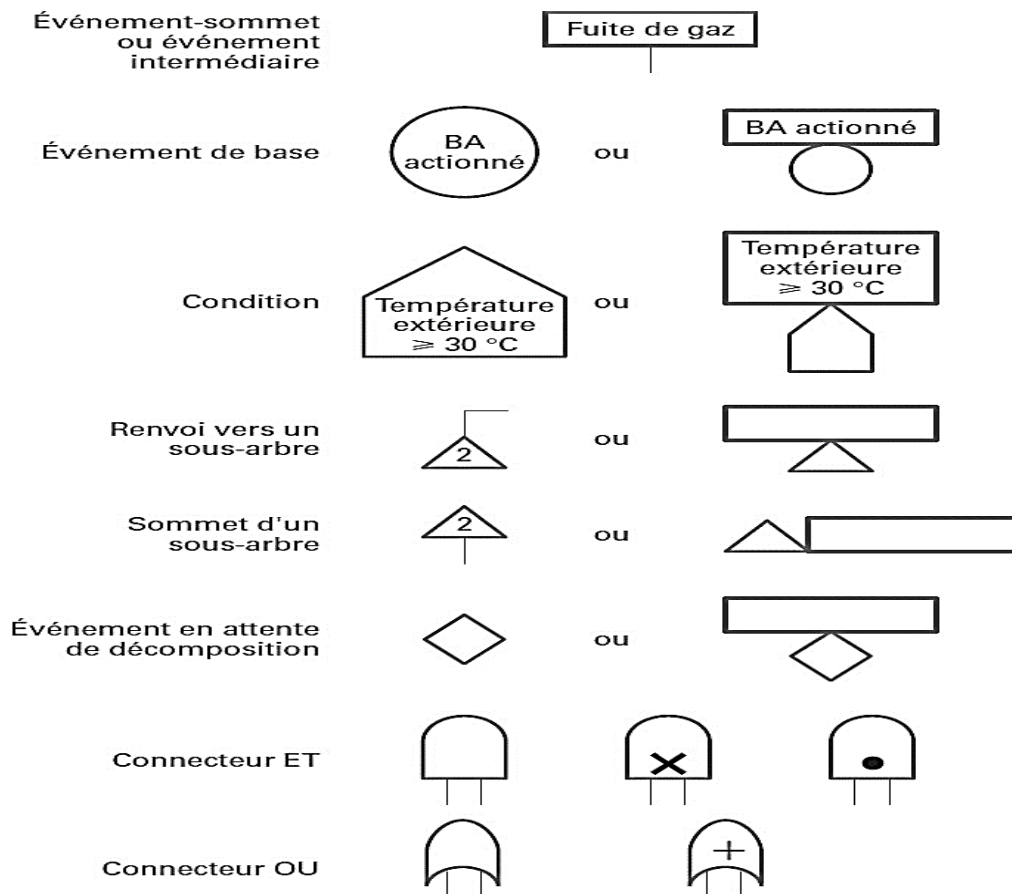


Figure 3.1 Les éléments de base pour la construction de la structure de l'arbre de défaillance

Le tableau présente quelques règles d'optimisation permettant de réduire les Arbres en faisant appliquer l'algèbre booléenne :

Tableau 3.2 Règles d'optimisation des arbres de défaillances

Propriétés	Produit (Porte logique Et)	Somme (Porte logique Ou)
Commutativité	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
Idempotence	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
Absorption	$A \cdot (A + B) = A$	$A + A \cdot B = A$
Associativité	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributivité	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

- **Analyse quantitative :**

Après l'étude FDMS des événements de base il est possible à partir de leurs valeurs numériques, et par l'utilisation des équations logiques tirées de la structure de l'arbre et d'évaluer la probabilité de l'évènement sommet, [28], [13]. Pour un système de distribution d'entrée X_1, X_2, \dots, X_n le Tableau 3.2 résume les équations de probabilité des portes logiques.

Tableau 3.3 Probabilités de défaillance propagées à l'aide d'équations de logique booléien

Portes	Equations de probabilité
Et	$P[and(X_1, \dots, X_n) = 1] = P[X_1 = 1 \wedge \dots \wedge X_n = 1] = P[X_1 = 1] \times \dots \times P[X_n = 1]$
Ou	$P[or(X_1, \dots, X_n) = 1] = 1 - P[or(X_1, \dots, X_n) = 0] = 1 - P[X_1 = 0 \wedge \dots \wedge X_n = 0] = 1 - (1 - P[X_1 = 1]) \times \dots \times 1 - (1 - P[X_n = 1])$
<i>k</i> -sur- <i>n</i>	$P[koon(X_1, \dots, X_n) = 1] = P[(X_1 = 1 \wedge \dots \wedge X_k = 1) \vee (X_1 = 1 \wedge \dots \wedge X_{k-1} = 1 \wedge X_{k+1} = 1) \vee \dots \vee (X_{n-k} = 1 \wedge \dots \wedge X_n = 1)]$
<p>$P [X = 1]$ indique la probabilité que X soit en état de fonctionnement et $P [X = 0]$ indique la probabilité que X soit en état de défaillance, à condition que, en <i>k</i>-sur-<i>n</i>, <i>k</i> soit l'entrée minimal en état de fonctionnement (<i>k</i>-out-of-<i>n</i> : G).</p>	

3.2.2. Arbre défaillance [21]

L'ADD ou en anglais (Fault tree Analysis FTA) est l'une des techniques connues par leurs utilisations dans l'analyse de la sécurité et de la fiabilité des processus, [11], [19], [16], [27]. Appelée aussi l'arbre des causes ou l'arbre des fautes a été élaboré au début des années 1960 par la compagnie « Bell téléphone ». Cette méthode déductive permet de combiner les composants par identification des causes relatives aux événements redoutés et des fonctions d'un système. [18]

La méthode consiste en une représentation graphique des multiples causes d'un événement redouté.

Elle permet de visualiser les relations entre les défaillances d'équipement, les erreurs humaines et les facteurs environnementaux qui peuvent conduire à des accidents. On peut

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

donc éventuellement y inclure des facteurs reliés aux aspects organisationnels. L'analyse par Arbre de Défaillances se déroule généralement en 3 étapes :

- ✓ Spécification du système et de ses frontières.
- ✓ Spécification des événements redoutés préalablement identifiés par exemple par AMDE.
- ✓ Construction des arbres de défaillances : On cible les événements redoutés un par un et on essaye d'identifier les successions et les combinaisons d'événements de base permettant de les atteindre.

Toutefois, un événement de base doit répondre à un certain nombre de critères, en l'occurrence :

- ✓ Il doit être indépendant des autres événements de base.
- ✓ Il ne doit pas être décomposable en éléments plus simples.
- ✓ Il doit avoir une fréquence évaluable.

A partir de l'évènement sommet, on construit en utilisant le symbolisme de logique booléenne, une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des évènements intermédiaires jusqu'à la mise en cause des évènements élémentaires (défaillance d'un composant). Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'évènement redouté. L'analyse par un arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- ✓ Un événement est une combinaison d'événements de base non décomposables.
- ✓ Les évènements de base sont indépendants.
- ✓ La probabilité d'occurrence des événements de base peut être évaluée.

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Les liens entre les différents évènements sont réalisés grâce à des opérateurs logiques, (et, ou, k-sur-n ...). Cette méthode utilise une représentation graphique qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente développée généralement et surtout pour les structures compliquées par un algorithme du diagramme de décision binaire.

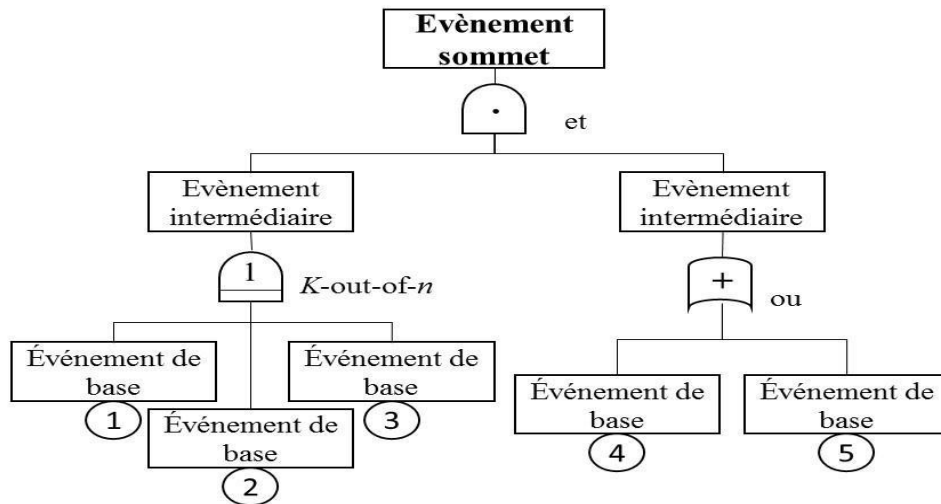


Figure 3.2 Exemple d'une structure d'arbre de défaillance

Il existe un ensemble de symboles normalisés permettant de représenter l'évènement sommet, les événements intermédiaires, les événements de base et les connecteurs. Les principaux symboles utilisés sont regroupés dans le tableau suivant :

Quantification des probabilités d'occurrence : Il s'agit ici d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement sommet à partir des probabilités d'occurrence des événements de base.

Plusieurs auteurs, donne de plus amples informations sur la construction et l'évaluation qualitative et quantitative des arbres de défaillances. Cependant, le calcul du risque qu'un événement indésirable se produise est basé sur les liens de causalité, qui peuvent être :

- Inclusifs (A ET B) : $\Pr(A \cap B) = \Pr(A) \cdot \Pr(B)$ avec A et B indépendants ;
- Exclusifs (A OU B) : $\Pr(A \cup B) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A \cap B)$;
- Avec le cas particulier où les événements déclencheurs sont parfaitement exclusifs $\Pr(A \cap B) = 0$.

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Recherche des coupes minimales (CM) : On nomme coupe minimale un ensemble d'événements de base ou conditions nécessaires ou suffisantes à produire l'événement sommet. Si on retire à une coupe minimale un seul de ses éléments, la défaillance (événement sommet) n'est plus générée.

On trouve les coupes minimales en descendant l'arbre ligne par ligne. Lorsque l'on a identifié l'ensemble des coupes minimales on peut :

- Eliminer les redondances d'événements dans une même coupe (il est inutile de citer plusieurs fois le même événement dans une coupe) ;
- Eliminer les redondances de coupes (quand le même ensemble d'événements a été produit par plusieurs voies, il est inutile de le conserver en plusieurs exemplaires) ;
- Eliminer les « super-coupes » qui en contiennent d'autres (quand un ensemble est strictement contenu dans un autre, il n'est utile de garder que le plus petit).

3.3. Réseaux Bayésiens

La représentation des connaissances et le raisonnement a donné naissance à de nombreux modèles. Les modèles graphiques probabilistes, et plus précisément les réseaux bayésiens, qui doivent leur nom aux travaux de Thomas Bayes au XVIII^e siècle sur la théorie des probabilités Figure 3.3, les réseaux bayésiens sont initiés par Judea Pearl dans les années 1980 se sont révélés des outils très pratiques pour la représentation de connaissances incertaines, et le raisonnement à partir d'informations incomplètes, [20], [36], [23], [25], [26], [30].

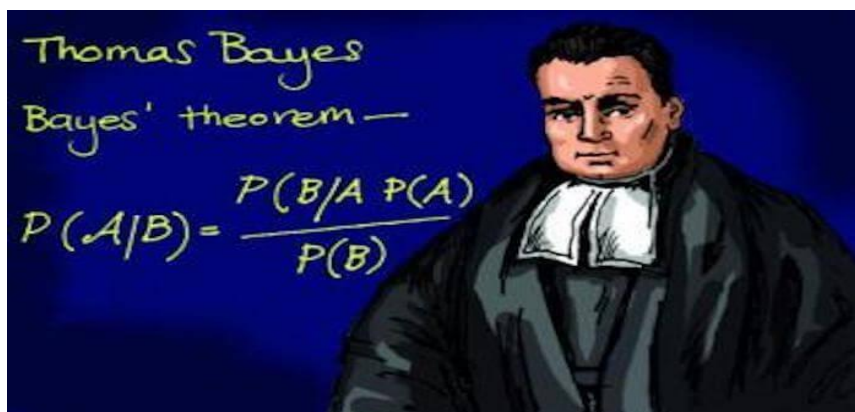


Figure 3.3 Thomas Bayes connu pour avoir formulé le théorème de probabilité conditionnelle

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

3.3.1. Théorème de Bayes'

Le théorème de Bayes permet de fusionner deux types d'information : la connaissance initiale, dite a priori, obtenu à partir du jugement d'experts ou le retour d'expérience, et la vraisemblance qui représente les observations du retour d'expérience pour obtenir une connaissance enrichie [12], [20], dont l'incertitude est plus faible : La probabilité a posteriori représentant ainsi la nouvelle connaissance pour l'expert. Notons que le résultat a posteriori peut devenir l'information a priori si de nouvelles informations issues du retour d'expérience sont disponibles. Ceci représente le principe d'actualisation dynamique des connaissances utilisé particulièrement pour les bases de données.

Pour une Analyse Quantitative des risques, l'application du théorème bayésienne consiste en l'application de l'inférence bayésienne représentée dans la Figure 3.4. Le passage de la distribution a priori à la distribution a posteriori des paramètres du modèle probabiliste est exprimé par la formule de Bayes afin d'établir une aide à la décision, qui peut être par la suite interprétée comme une mise à jour de la connaissance, sur le réseau bayésien.

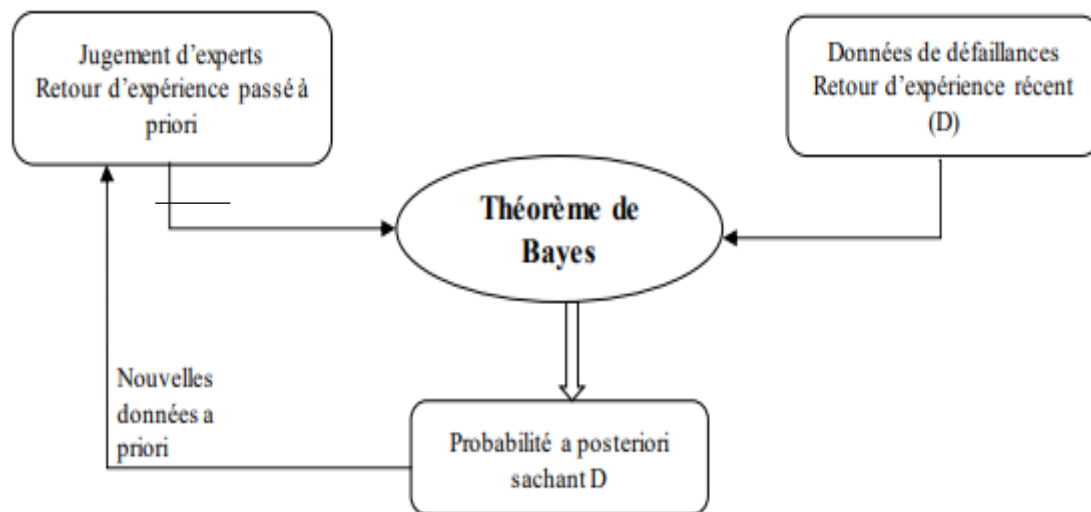


Figure 3.4 Principe de l'approche Bayésienne.

3.3.1.1. Formule de Recomposition

$$\forall A \in I, P(A) = \sum_i^n P(A|B_i)P(B_i) \quad (3.1)$$

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

3.3.1.2. Formule de Bayes

$$P(B_i/A) = \frac{P(A/B_i).P(B_i)}{\sum_j [P(A/B_j).P(B_j)]} \quad (3.2)$$

La probabilité conditionnelle de réalisation d'un événement B sachant que l'événement A s'est produit, est proportionnelle à la probabilité (a priori) de B (probabilité avant que l'on observe A) multipliée par la probabilité d'observer A sachant B.

Où : B : événement étudié,

A : événement(s) observé(s),

$P(B)$: probabilité a priori de réalisation de l'événement B,

(A/B) : vraisemblance de l'occurrence de l'événement B_i sachant que A a été observé,

(B/A) : probabilité a posteriori de réalisation de l'événement B sachant que A a été observé.

3.3.2. Définition et concept du Réseau Bayésien

Un réseau bayésien $RB = (G, \theta)$ peut être défini par :

$G = (V, E)$, un graphe acyclique orienté où V est l'ensemble des nœuds de G, et E l'ensemble des arcs de G.

$\theta = \{P(V_i | Pa(V_i))\}$ Ensemble des probabilités de chaque nœud V_i conditionnellement à l'état de ses parents $Pa(V_i)$ dans G.

Un réseau bayésien est donc un graphe causal auquel on a associé une représentation probabiliste sous-jacente. Cette représentation permet de rendre quantitatifs les raisonnements sur les causalités que l'on peut faire à l'intérieur du graphe.

Le graphe est appréhendé selon un aspect qualitatif et un aspect quantitatif. L'aspect qualitatif du graphe indique les dépendances (ou indépendances) entre les variables et donne un outil visuel de représentation des connaissances, outil plus facilement appréhendable par ses utilisateurs. De plus, l'utilisation de probabilités permet de prendre en compte l'incertain, en quantifiant les dépendances entre les variables, c'est l'aspect quantitatif.

J. Pearl a aussi montré que les réseaux bayésiens permettaient de représenter de manière compacte la distribution de probabilité jointe sur l'ensemble des variables

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

$$P(V_1, V_2, \dots, V_n) = \prod_{i=1}^n P(V_i | Pa(V_i)) \quad (3.3)$$

Où $Pa(V_i)$ sont les prédécesseurs de X_i auxquels ça probabilité est sensible, également appelé les parents markoviens de X_i . Rigoureusement, Pa_i est défini comme le sous-ensemble minimal satisfaisant $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$.

Cette décomposition d'une fonction globale en un produit de termes locaux dépendant uniquement du nœud considéré et de ses parents dans le graphe Figure 3.5, est une propriété fondamentale des réseaux bayésiens. Elle permet de calculer $P(V)$ d'une manière plus rapide lorsqu'il y a des dépendances entre les variables. Elle est à la base des premiers travaux portant sur le développement d'algorithmes d'inférences, qui calculent la probabilité de n'importe quelle variable du modèle à partir de l'observation même partielle des autres variables.

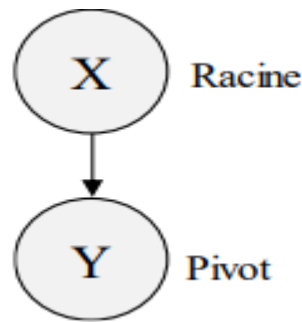


Figure 3.5 RB ou X est la cause de Y

$$P(V_i | Pa_i) = P(V_i | V_1, \dots, V_{i-1}) \quad (3.4)$$

Où Pa_i est minimal dans le sens qu'aucun de ses sous-ensembles n'est conforme à l'équation 3.4. La distribution conjointe d'un ensemble de variables donne toutes les informations nécessaires sur la distribution.

À partir de l'équation 3.3 et 3.4, on peut voir que la fonction de probabilité d'un réseau bayésien est donnée en spécifiant un ensemble d'hypothèses d'indépendance conditionnelles ainsi qu'un ensemble de tableau des probabilités conditionnelles (TPC), qui spécifient les probabilités antérieures de tous les nœuds racine et les probabilités conditionnelles de tous les nœuds intermédiaires et les nœuds feuilles en prenant en considération toutes les combinaisons possibles de leurs parents

3.3.3. Inférence

L'utilisation essentielle des réseaux bayésiens est donc de calculer des probabilités conditionnelles d'événements reliés les uns aux autres par des relations de cause à effet. Cette utilisation s'appelle inférence [11], [22], [30], [17]. La correspondance qui existe entre la structure graphique et la structure probabiliste associée va permettre de ramener l'ensemble des problèmes de l'inférence à des problèmes de théorie des graphes. [29]

D'une manière générale, tout calcul portant sur la distribution de probabilité associée à un réseau bayésien relève de l'inférence. Certains types de calcul ont traditionnellement une plus grande importance, parce qu'ils peuvent correspondre à des utilisations pratiques.

C'est vrai en particulier du calcul de la probabilité d'une variable conditionnée à un ensemble d'observations. Ce type d'inférence, appelée aussi mise à jour des probabilités, est essentiel dans des applications de diagnostic, où l'on doit reconsidérer son appréciation de la situation en fonction d'une ou plusieurs nouvelles observations. Le problème de l'inférence est uniquement un problème de calculs. Il n'y a aucun problème théorique ; en effet, la distribution de probabilité étant entièrement définie, on peut (en principe) tout calculer.

3.3.4. Types de Réseau Bayésien

Les réseaux bayésiens discrets sont des modèles probabilistes qui combinent la théorie des probabilités et la théorie des graphes [32]. Les probabilités simples et les probabilités conditionnelles sont représentées par des valeurs absolues comprises entre 0 et 1.

3.3.4.1. Réseaux bayésiens statiques

Les réseaux bayésiens statiques modélisent juste la situation réelle du système d'étude sans informations sur le passé ni prédiction de la situation future. Les probabilités conditionnelles sont stationnaires et ne changent pas d'une situation à l'autre.

3.3.4.2. Réseaux bayésiens dynamiques

Contrairement aux RBS, les réseaux bayésiens dynamiques sont un moyen d'étendre les réseaux bayésiens pour modéliser distributions de probabilités sur des collections semi-infinies de variables aléatoires [29]. Ce contient des séquences temporelles pour prédire la situation future.

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Pour convertir un RBS en RBD, nous devons ajouter des nœuds représentant plusieurs instances et relier-les aux nœuds précédents.

3.4. Limitation et les avantages de la méthode ADD et RB

Le Tableau 3.4 présente les avantages et les limites de la méthode d'arbre de défaillance et bayésienne pour élaborer nos travaux de recherche.

Tableau 3.4 Résumé sur les avantages et les limites des méthodes d'arbre de défaillance et bayésienne

Méthode	Avantage	Limite
ADD	<p>Étude prioritaire des défaillances relatives à des événements redoutés dont la gravité de production est plus significative. Elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté.</p> <p>Un autre point fort essentiel est la lisibilité à travers la représentation graphique des combinaisons de causes aboutissant à des défaillances. Les coupes minimales représentent des résultats synthétiques qui montrent directement les criticités des composants.</p> <p>L'analyse peut prendre en compte les défaillances multiples et de cause commune.</p>	<p>La méthode exige une parfaite connaissance des scénarios événementiels et donc du fonctionnement du système et de son interaction avec son environnement. La lisibilité des arbres de défaillances peut s'avérer très compliquée quand il s'agit de systèmes complexes ou d'évènement indésirable trop générique ou mal spécifié.</p> <p>Cette méthode est efficace pour analyser de petits systèmes. L'analyse d'un système complexe nécessiterait sa décomposition en plusieurs sous-systèmes. Néanmoins, la dernière décennie à vue paraître plusieurs logiciels offrant, entre autres, des fonctionnalités d'aide et d'assistance pour la conception graphique, la recherche systématique des coupes minimales et la propagation des probabilités.</p> <p>Les dépendances ne sont pas prises en compte ainsi que les effets du comportement physique et dynamique du système.</p>

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

		<p>Dans le cas de gros arbres, il est possible d'oublier des évènements, surtout pour des systèmes à haut risque qui présentent nombreuses redondances et protections. La quantité de travail pour construire l'arbre est remarquable. Non continuée dans le temps.</p> <p>Pas de quantification des dépendances temporelles.</p> <p>Exploite une vision totalement statique du système.</p> <p>Elle ne prend pas en compte la dimension temporelle ; elle ne rend pas compte de la dynamique d'un système.</p>
RB	<p>Ils permettent l'utilisation des connaissances expertes du domaine sur leurs tables de probabilités conditionnelles (CPT) avec donner plus d'accès à l'entrée du modèle.</p> <p>Deuxièmement, leur structure graphique limitée à un ensemble de nœuds et les flèches offrent une facilité de compréhension et de traçabilité que la plupart des autres techniques.</p> <p>Où les dépendances sont simplement représentées par une flèche unidirectionnelle d'un nœud à une autre. Troisièmement, les résultats de la modélisation sont simplement des probabilités absolues dans une plage de 0 à 1 compris. Quatrièmement, les NE sont moins influencés par la</p>	<p>Utilisation des probabilités : L'utilisation des graphes de causalités est, une approche très intuitive. Il reste cependant que la notion de probabilité, est, au contraire, assez peu intuitive. Il est en effet assez facile de construire des paradoxes fondés sur des raisonnements probabilistes. Les modèles déterministes, formulés en termes d'entrées et de sorties, comme les modèles de régression, les réseaux de neurones, ou les arbres de décision, même s'ils peuvent être réinterprétés dans le cadre d'un formalisme probabiliste, restent d'un abord plus facile.</p> <p>Lisibilité des graphes : En effet, même si la connaissance manipulée dans les réseaux bayésiens, ou extraites des données par les algorithmes d'apprentissage associés est lisible puisque représentée sous forme de</p>

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

	<p>petite taille de l'échantillon (Eisenstein, 1996) en raison de l'incorporation des connaissances spécialisées dans les données statistiques.</p>	<p>graphes, elle reste moins lisible que celle représentée par un arbre de décision, par exemple, surtout si ce graphe présente un grand nombre de nœuds. Notons aussi que l'information représentée par le graphe est la structure des causalités. Les probabilités ne sont pas représentables, et on n'a donc pas d'idée, à la simple lecture du graphe de l'importance d'un arc donné.</p> <p>Les variables continues : L'essentiel des algorithmes développés pour l'inférence et l'apprentissage dans les réseaux bayésiens, aussi bien que les outils disponibles sur le marché pour mettre en œuvre ces algorithmes utilisent des variables discrètes.</p> <p>La complexité des algorithmes : La généralité du formalisme des réseaux bayésiens aussi bien en termes de représentation que d'utilisation les rend difficiles à manipuler à partir d'une certaine taille. La complexité des réseaux bayésiens ne se traduit pas seulement en termes de compréhension par les utilisateurs. Les problèmes sous-jacents sont pratiquement tous de complexité non polynomiale, et conduisent à développer des algorithmes approchés, dont le comportement n'est pas garanti pour des problèmes de grande taille.</p>
--	---	---

3.5. Interprétation de ADD en RB

Plusieurs travaux de recherche, ont montré la similitude entre les arbres d'erreurs et les réseaux bayésiens afin de créer des algorithmes capables de convertir les arbres d'erreurs des méthodes classiques en réseaux bayésiens parmi les méthodes les plus performantes et les plus efficaces utilisées dans le domaine de l'intelligence artificielle. Améliorer l'outil d'aide à la décision en temps réel pour des études de fiabilité plus approfondies. Ce travail montre comment ADD peut être converti en RB et que toutes les analyses et étapes vers des réductions minimales sur le modèle ADD peuvent être présentées en RB [20], [23], [34].

De plus, certaines nouvelles analyses sont effectuées par les BN comme le calcul de la probabilité ex post qu'un système sache que des composants sont défectueux. Par conséquent, tout ADD correspondant à RB et toute technologie appliquée à ADD peuvent être implémentés dans RB, mais cela nécessite des solutions de modélisation [14].

3.5.1. Convertir l'ADD en RB

A partir des travaux de recherche un algorithme d'obtention d'un RB à partir d'un ADD est proposé ci-dessous avec une simplification présentée dans la Figure 3.6 dans cet algorithme il est supposé que le ADD n'aura que des portes logique «ou», « et » et « k-sur-n », le RB résultant sera binaire et ces variables représenteront les états des composants d'un système et les deux valeurs qu'elles pourront prendre seront désignées par faux « F » pour l'état de fonctionnement et par vrai « V » pour l'état défaillant. Cependant, l'algorithme peut être généralisé à n'importe quel ADD.

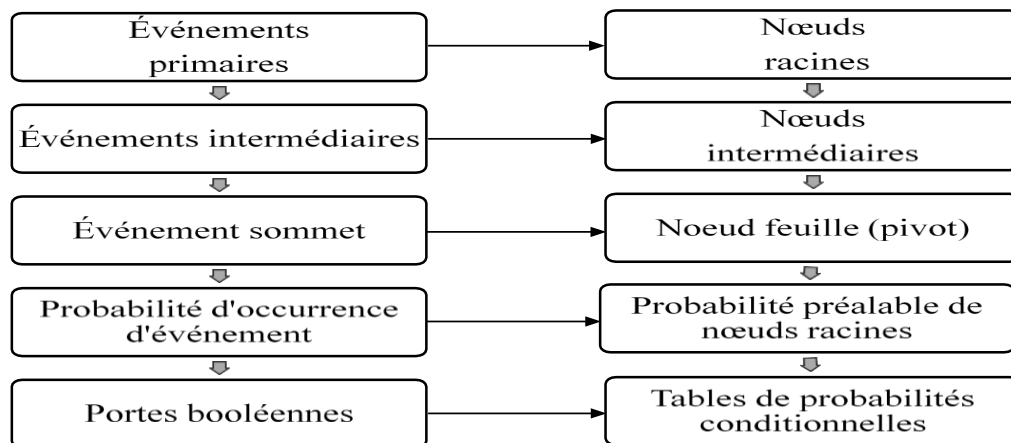


Figure 3.6 Organigramme représentant un algorithme simplifié pour représenter un ADD en RB

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Les Figures 3.7 et 3.8 montrent comment la structure d'un ADD simple est convertie RB.

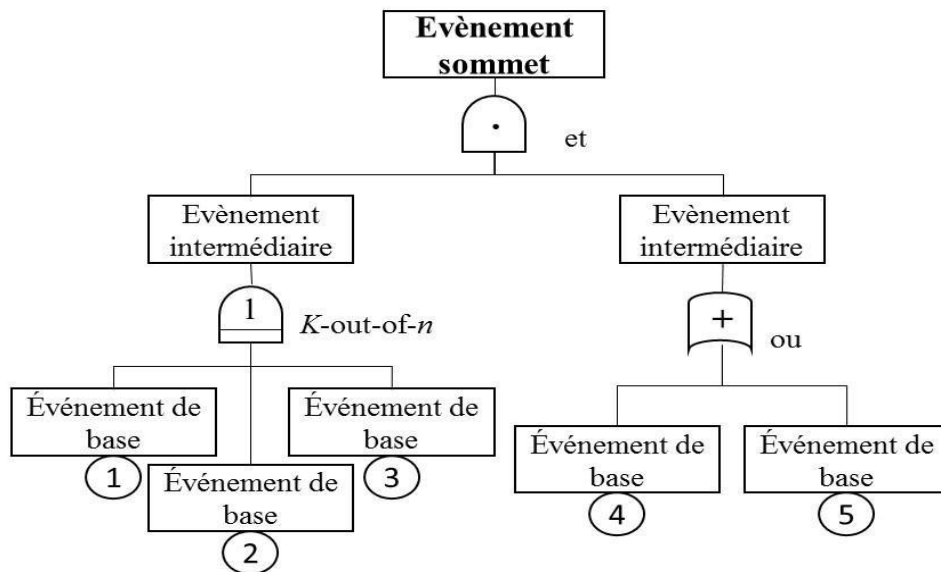


Figure 3.7 Exemple de Structure d'ADD

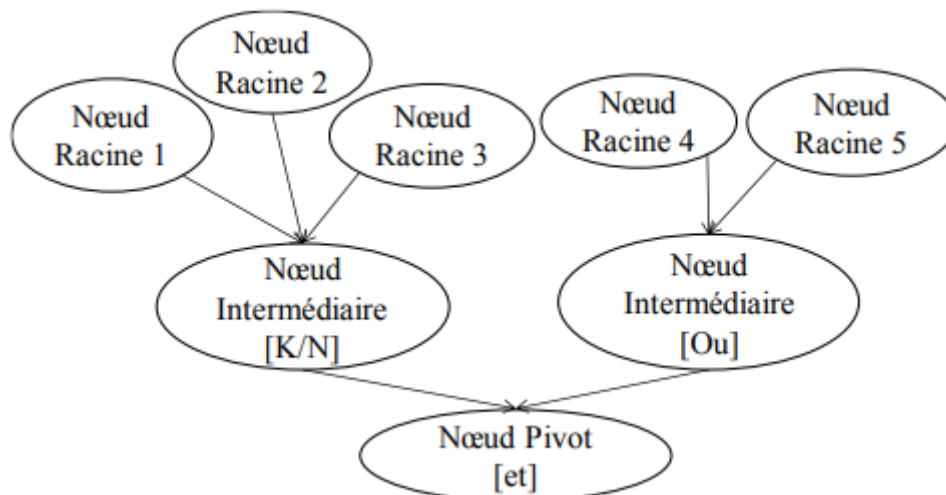


Figure 3.8 Structure du réseau bayésien obtenu à partir de la Figure 3.7

3.5.2. RB obtenu à partir de ADD avec des événements répétés

Les événements de base qui apparaît plusieurs fois dans l'ADD (événements répétés), peuvent être représentés dans les RB en créant simplement un seul nœud pour les événements de base répétés et en le reliant avec plusieurs arcs vers les nœuds correspondant aux événements répétés.

Dans la Figure 3.9, l'événement de base A apparaît deux fois dans l'ADD en tant que sortie des portes EI1 et EI 2

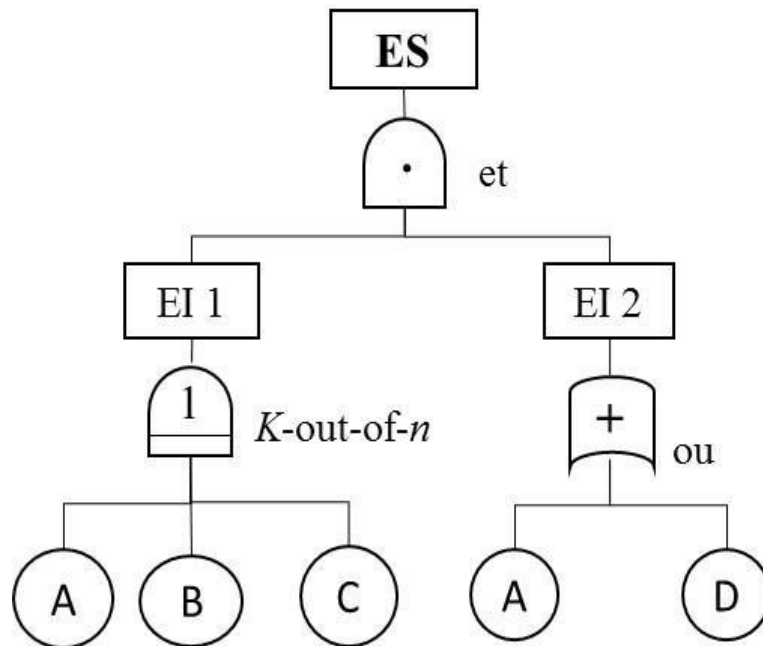


Figure 3.9 Arbre de défaillance avec un événement répété

Le RB correspondant à l'ADD dans la Figure 3.9 est présenté dans la Figure 3.10 avec le nœud A qui apparaît qu'une seule fois lié avec 2 arcs un vers EI 1 et l'autre vers EI 2.

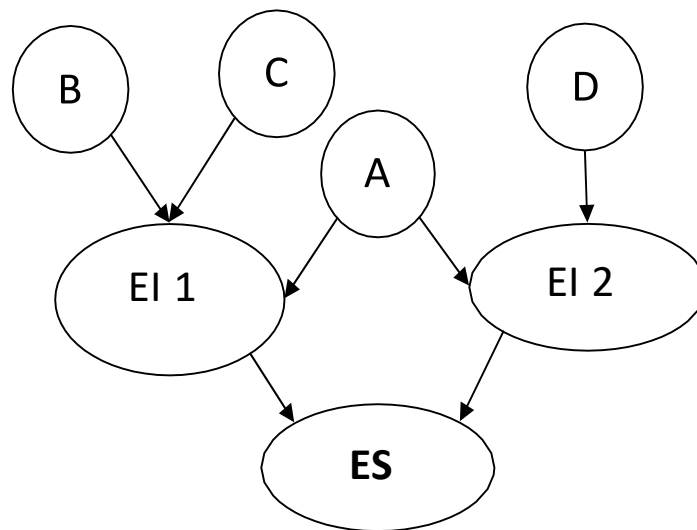


Figure 3.10 Réseau bayésien avec nœud répété

Chapitre III : Arbre De Défaillance et Réseau Bayésien

Lorsqu'un ADD a de nombreux événements répétés, le RB correspondant peut prendre une structure graphique dans laquelle les arcs se croisent de manière à rendre la compréhension visuelle plus simple pour les réseaux les plus compliqués. La même procédure peut être appliquée pour un ADD avec des branches répétées, le RB correspondant aura pour résultat des nœuds avec plus d'un lien, comme présenté dans les Figure 3.11 et 3.12.

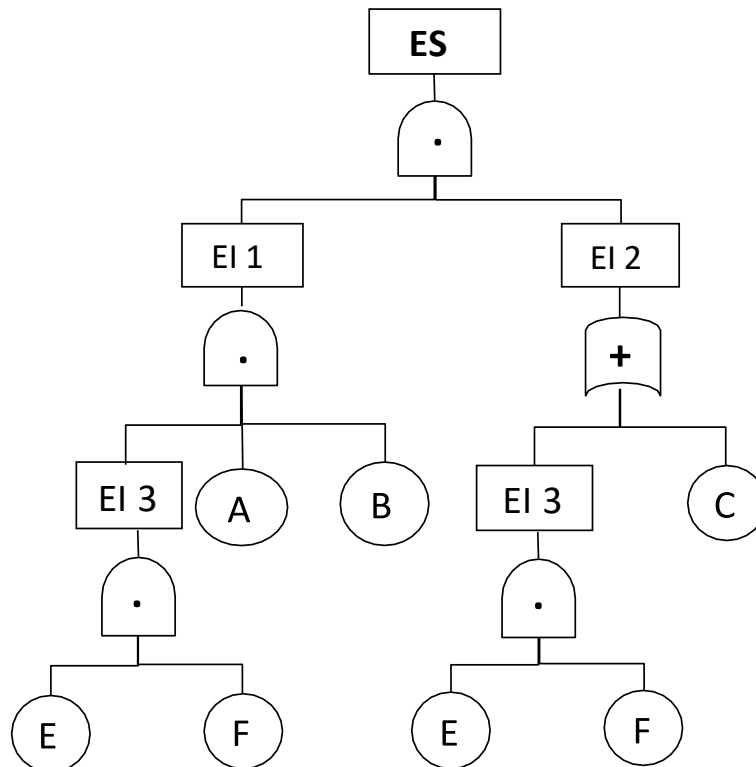


Figure 3.11 Arbre de défaillance avec une branche répétée

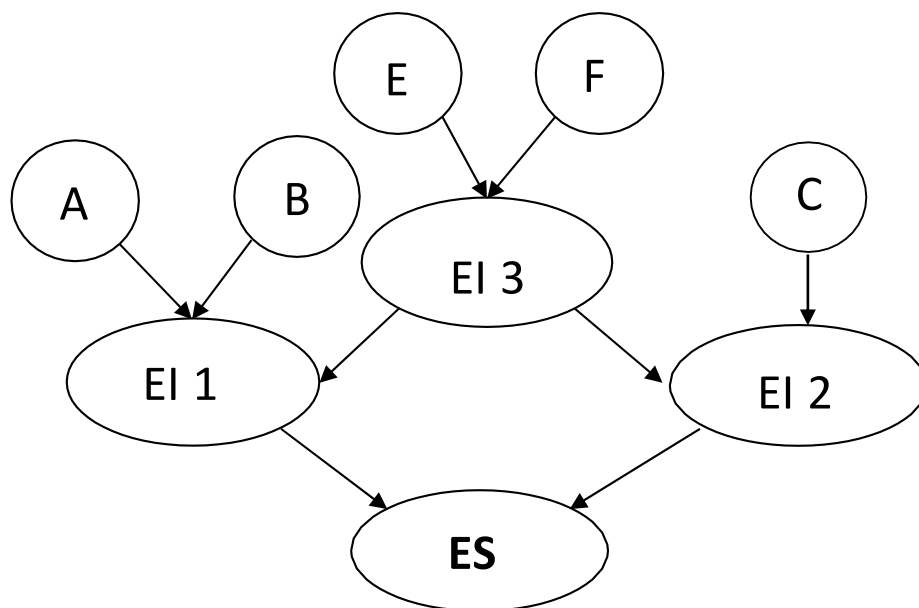


Figure 3.12 Réseau bayésien avec une branche répétée

3.5.3. L'inférence sur le RB obtenue à partir de ADD

Dans l'étude d'indisponibilité l'événement sommet dans l'ADD correspond à la probabilité à priori du nœud désigné nœud de défaillance dans le RB (la probabilité à posteriori est obtenue à partir de l'inférence dans le réseau) et c'est la même procédure pour les événements intermédiaire (sous système). Dans un ADD, les calculs d'indisponibilité sont obtenus à partir des coupes minimales, par contre dans les RB ils peuvent être obtenus par le concept d'inférence bayésienne. La règle de mise à jour des probabilités est donnée par la forme

$$P(H | e) : P(H | e) = P(e | H) \cdot P(H) / P(e)$$

$P(H)$ probabilité a priori, et $P(e | H)$, la probabilité que e se produise lorsque H est vraie, H représente la défaillance (ou bien les variables du sous-système) et l'évidence est l'ensemble vide, $e = \emptyset$. La probabilité à posteriori peut également être calculée dans un RB [12], [24], en prenant en considération un seul composant, un sous-ensemble de composants (sous-système) ou pour tous les composants, à l'exception de ceux auxquels des évidences ont été attribuées.

Quand la défaillance est donnée comme évidence, la probabilité à posteriori de chaque composant est une information de la criticité de chacun des composants et la probabilité à posteriori d'un sous-système est une information de la criticité du sous-système qui est l'origine de la défaillance du système.

3.6. Conclusion

Dans Ce chapitre un aperçu de littérature sur l'arbre de défaillance et les réseaux bayésiens en générale, nous avons d'abord clarifié la méthode arbre défaillance en détail dans lequel : Les méthodes d'analyse prévisionnelle des risques, défaillance, l'ADD et après avoir décelé les avantages et les limites des méthodes ADD et RB. Ensuite, Le réseau bayésien a été choisi comme étant notre démarche d'aide à la décision pour les intérêts suivant : Permet d'obtenir une connaissance enrichie sur le réseau bayésien (théorème ; définition ; L'inférence dans les réseaux bayésiens peut représenter les défaillances et les types de RB). Après avoir Interprétation de ADD en RB dans lequel : la possibilité de convertir l'arbre de défaillance en réseau bayésiens plus facilement et L'inférence sur le RB obtenue à partir de ADD.

Dans le chapitre suivant, nous allons revenir avec plus de détails sur l'application la méthode ADD et RB sur les scénarios d'incendie dans unités pétrochimique.

**Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par
l'ADD et RB**

4.1. Introduction

Toute entreprise pétrochimique est confrontée à une multitude des risques et des scénarios indésirables on différentes natures, bien que menée de diverses façons selon les domaines traités.

Pour savoir les causes relatives aux ces dernier on utilise deux méthodes déductives : Arbre de Défaillance et réseau Bayésien, on cible les événements redoutés un par un et on essaye d'identifier les successions et les combinaisons d'événements de base permettant de les atteindre.

4.2. Méthodologie de travail

4.2.1. Objectifs du projet

L'objectif de ce projet est de présenter des méthodes déductives pour la raison de contrôler tous scénario indésirable et détecter les évènements redoutés.

- Réduire les probabilités des scénarios d'incendie ;
- Améliorer la qualité du contenu des documents existants : plan de prévention, fiche d'évaluation.
- Estimation des paramètres de fiabilité étudiée de système concerné.

4.2.2. Critère de choix de la méthode de travail

L'entreprise a entamé une démarche d'analyse des risques du complexe elle nous a confié la mission d'étudier cette analyse pour les activités qui présentent le plus de risques.

Le système utiliser RB structuré à partir de l'ADD est à la fois rapide et corrélativement efficace ; l'avantage de ce système on peut appliquer en utilisant logiciel Agena Risk ® [AGE 18] qui est à la fois rapide et donne des résultats précis.

Par rapport aux autres méthodes, elle apparaît comme partiellement économique en termes de coût et termes du temps.

4.2.3. Etapes du travail

- Construction de l'arbre de défaillance du scénarios 1 et 2.
- Obtention des données de probabilités des nœuds parents.
- Structure du réseau bayésien à partir de l'ADD (Scénarios 1 et 2).
- Utilisation de logiciel AgenaRisk ® [AGE 18] se trouve des probabilités.

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

- Calcule de la probabilité de chaque évènement indésirable
- Analyse des résultats.

4.3. Application

4.3.1. Application de l'ADD et RB sur un scénario d'incendie

4.3.1.1. Arbre défaillance

Construction d'une arbre défaillance et un réseau bayésien d'un bac de stockage qui a été la raison principale de l'incendie du module « 0 » Hassi Rmel.

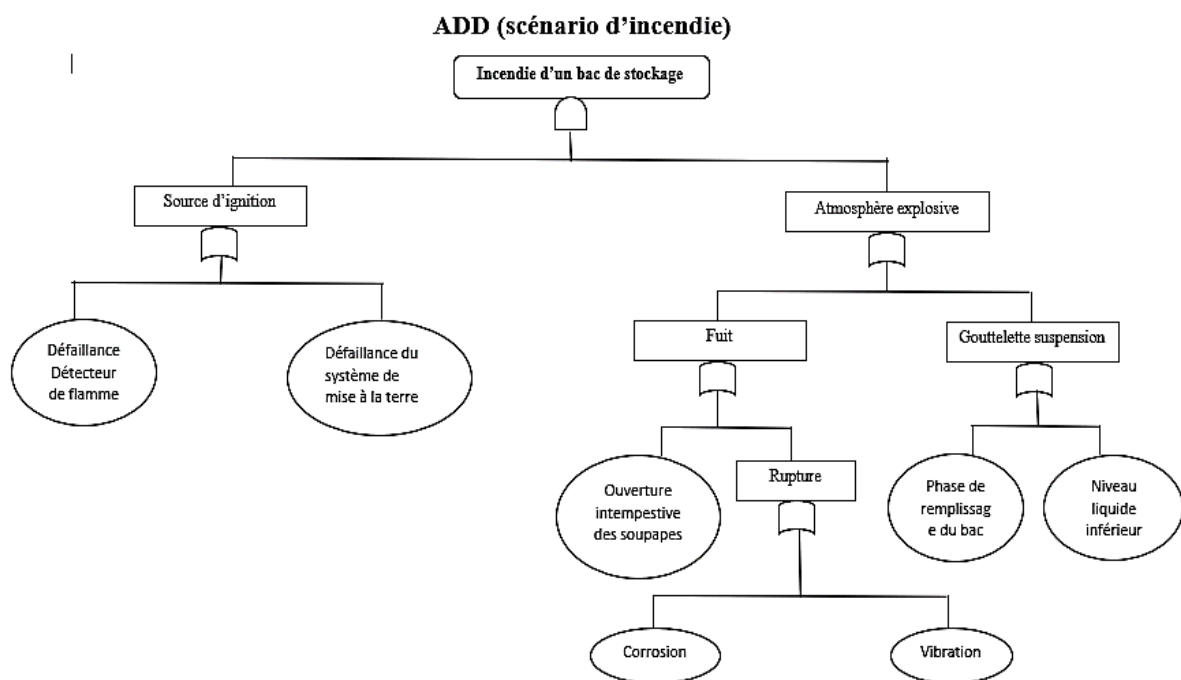


Figure 4.1 Arbre de défaillance d'un scénario d'incendie

4.3.1.2. Structure du RB à partir de l'ADD

Données de probabilité et statistique

Afin de quantifier les résultats possibles du modèle de risque développé, plusieurs bases de données et rapports ont été étudiés et examinés. Ces sources d'information documentent et discutent des données sur le risque et la probabilité des différents évènements d'incendie d'un bac de stockage, et fournissent des statistiques sur les probabilités d'occurrence.

- Données de probabilité d'occurrence de chaque évènement

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Les données sur la probabilité d'occurrence d'incendie d'un bac de stockage, sont données dans le Tableau 4.1. [31]

Tableau 4.1 Données des probabilités d'incendie d'un bac de stockage.

Code Even	Désignations des Evènements	Probabilité d'occurrence
A	Défaillance Détecteur de flamme	$P(A)=5.9 \text{ E-}7$
B	Défaillance du système de mise à la terre	$P(B)=3 \text{ E-}3$
C	Ouverture intempestive des soupapes	$P(C)=5.223 \text{ E-}3$
D	Corrosion	$P(D)=4.5 \text{ E-}5$
E	Vibration	$P(E)=2.9 \text{ E-}3$
F	Phase de remplissage du bac de stockage	$P(F)=1.67 \text{ E-}3$
G	Niveau liquide inférieur	$P(G)=3.7 \text{ E-}2$

Réseau bayésien :

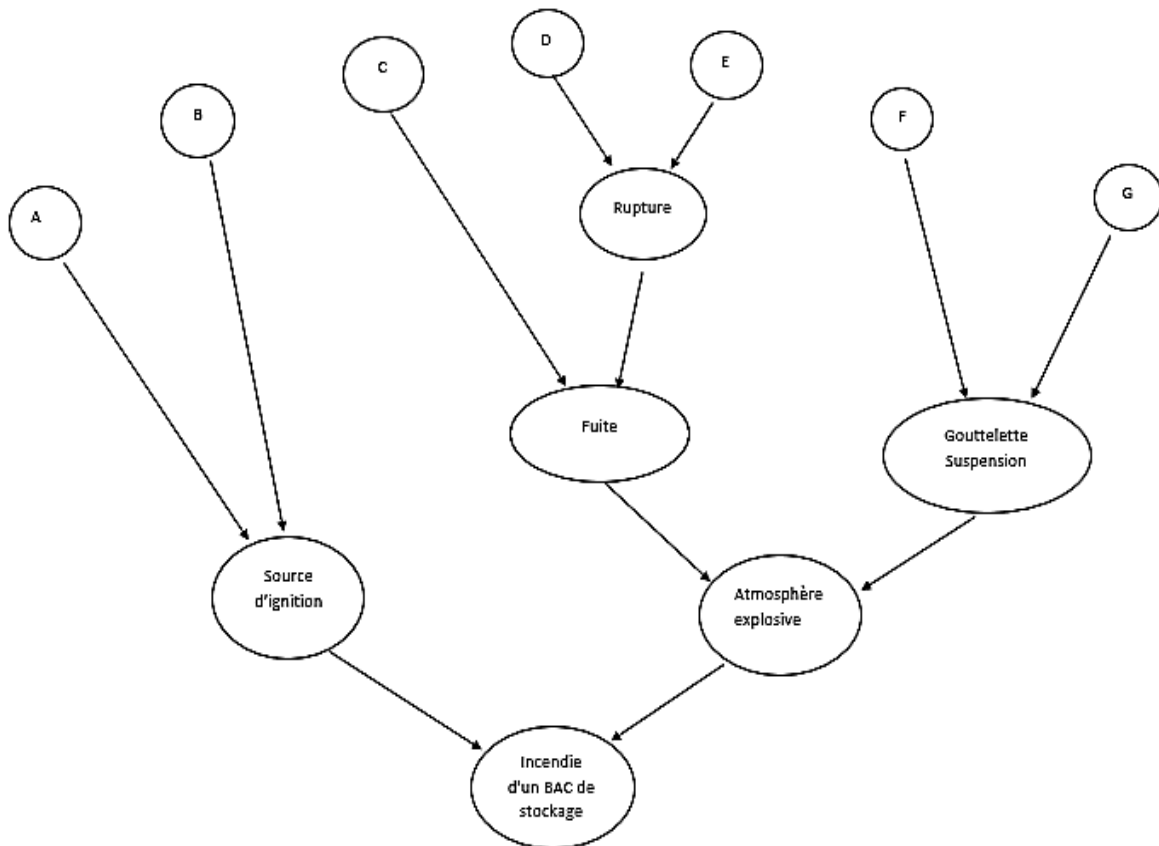


Figure 4.2 RB d'incendie d'un bac de stockage

Ces résultats ont pour principal objectif la validation du modèle établi par les réseaux bayésiens en utilisant le logiciel AgenaRisk ® [AGE 18].

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Tous les événements de base dans l'arbre de défaillance sont convertis en nœuds parents. Les nœuds logiques (pivot) sont obtenus à l'aide de la table de probabilités conditionnelles.

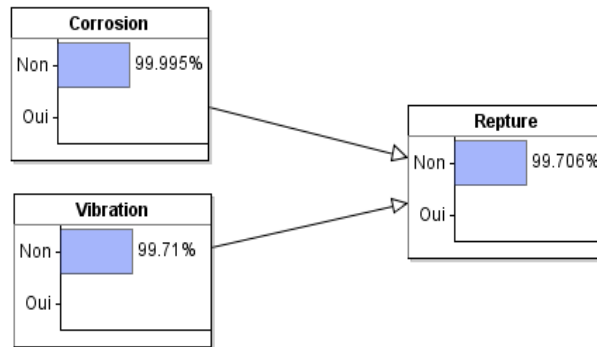


Figure 4.3 RB de la rupture

Tableau 4.2 TPC du nœud rupture

Corrosion		Oui		Non	
		Oui	Non	Oui	Non
Rupture	Oui	1	1	1	0
	Non	0	0	0	1

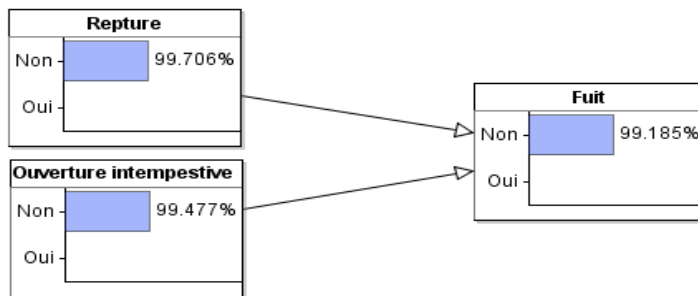


Figure 4.4 RB de la Fuit

Tableau 4.3 TPC du nœud Fuit

Rupture		Oui		Non	
		Oui	Non	Oui	Non
Ouverture intempestive des soupapes					
Fuit	Oui	1	1	1	0
	Non	0	0	0	1

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

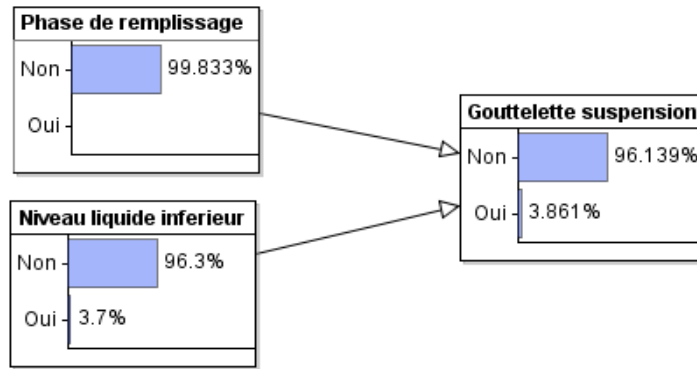


Figure 4.5 RB de la Gouttelette Suspension

Tableau 4.4 TPC du nœud Gouttelette Suspension

Phase de remplissage du bac de stockage		Oui		Non	
		Oui	Non	Oui	Non
Gouttelette Suspension	Oui	1	1	1	0
	Non	0	0	0	1

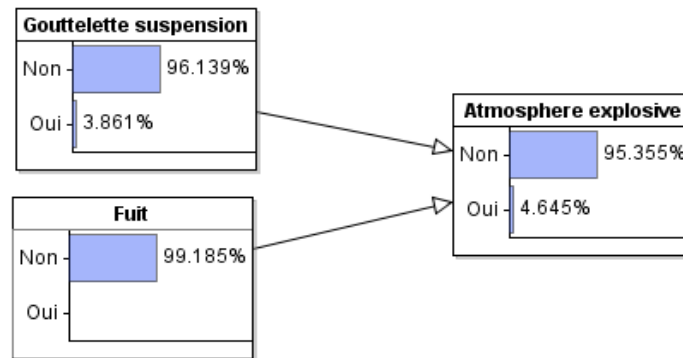


Figure 4.6 RB de l'atmosphère explosive

Tableau 4.5 TPC du nœud Atmosphère explosive

Gouttelette Suspension		Oui		Non	
		Oui	Non	Oui	Non
Atmosphère explosive	Oui	1	1	1	0
	Non	0	0	0	1

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

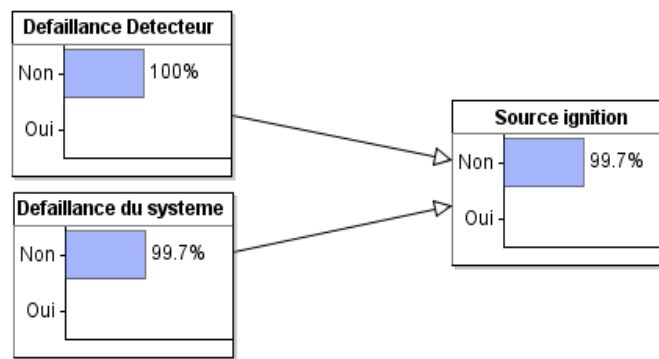


Figure 4.7 RB de la Source d'ignition

Tableau 4.6 TPC du nœud Source d'ignition

Défaillance Détecteur de flamme		Non		Oui	
Défaillance du système de mise à la terre		Non	Oui	Non	Oui
Source d'ignition	Non	1	0	0	0
	Oui	0	1	1	1

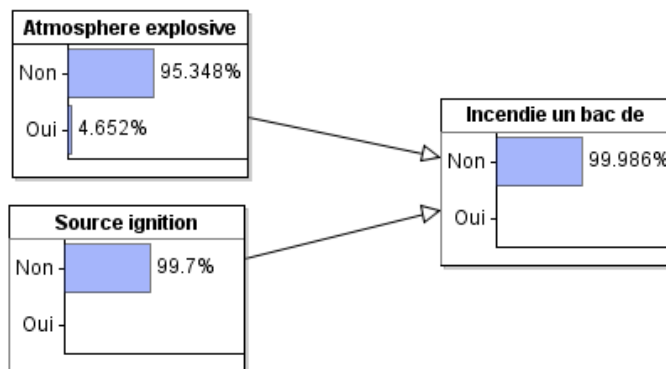


Figure 4.8 RB de l'Incendie d'un bac de stockage

Tableau 4.7 TPC du nœud Incendie d'un bac de stockage

Atmosphère explosive		Non		Oui	
Source d'ignition		Non	Oui	Non	Oui
Incendie d'un bac de stockage	Non	1	1	1	0
	Oui	0	0	0	1

4.3.2. Application de l'ADD et RB sur un scénario d'explosion

4.3.2.1. Arbre de défaillance

Construction d'un arbre de défaillance et un réseau bayésien de l'explosion d'une chaudière qui a été la raison principale d'un accident dans l'unité du gaz naturel (GNL) SKIKDA.

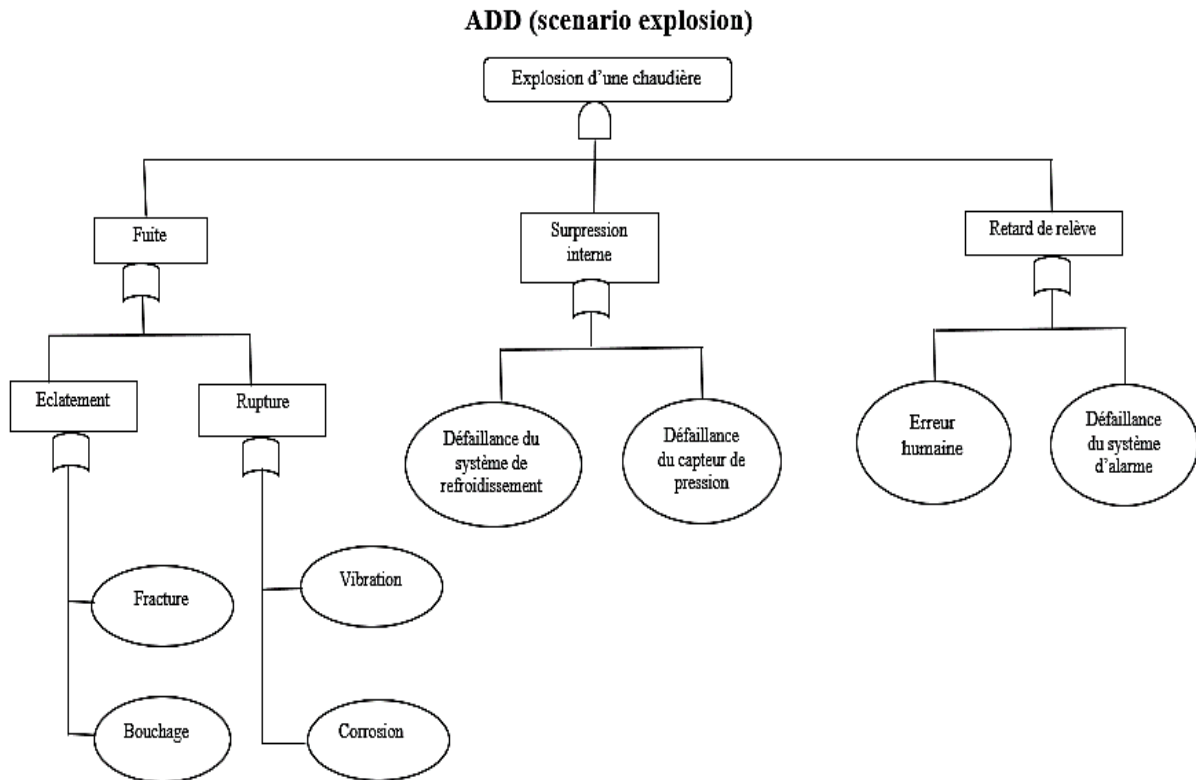


Figure 4.9 Arbre de défaillance d'un scénario d'explosion

4.3.2.2. Structure du RB à partir de l'ADD

Données de probabilité et statistiques

Afin de quantifier les résultats possibles du modèle de risque développé, plusieurs bases de données et rapports ont été étudiés et examinés. Ces sources d'information documentent et discutent des données sur le risque et la probabilité des différents événements d'explosion d'une chaudière, et fournissent des statistiques sur les probabilités d'occurrence.

- Données de probabilité d'occurrence de chaque événement.

Les données sur la probabilité d'occurrence d'explosion de la chaudière, sont données dans le Tableau 4.8. [31]

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Tableau 4.8 Données des probabilités de l'explosion d'une chaudière.

Code Even	Désignation des Evènements	Probabilité d'occurrence
1	Bouchage	$P(1)=1.3 \text{ E-}5$
2	Fracture	$P(2)=3.18 \text{ E-}3$
3	Vibration	$P(3)=9.1 \text{ E-}5$
4	Corrosion	$P(4)=6.9 \text{ E-}4$
5	Défaillance du système de refroidissement	$P(5)=1 \text{ E-}3$
6	Défaillance du capteur de pression	$P(6)=5.3 \text{ E-}5$
7	Erreur humaine	$P(7)=1 \text{ E-}2$
8	Défaillance du système d'alarme	$P(8)=5.06 \text{ E-}5$

Réseau bayésien :

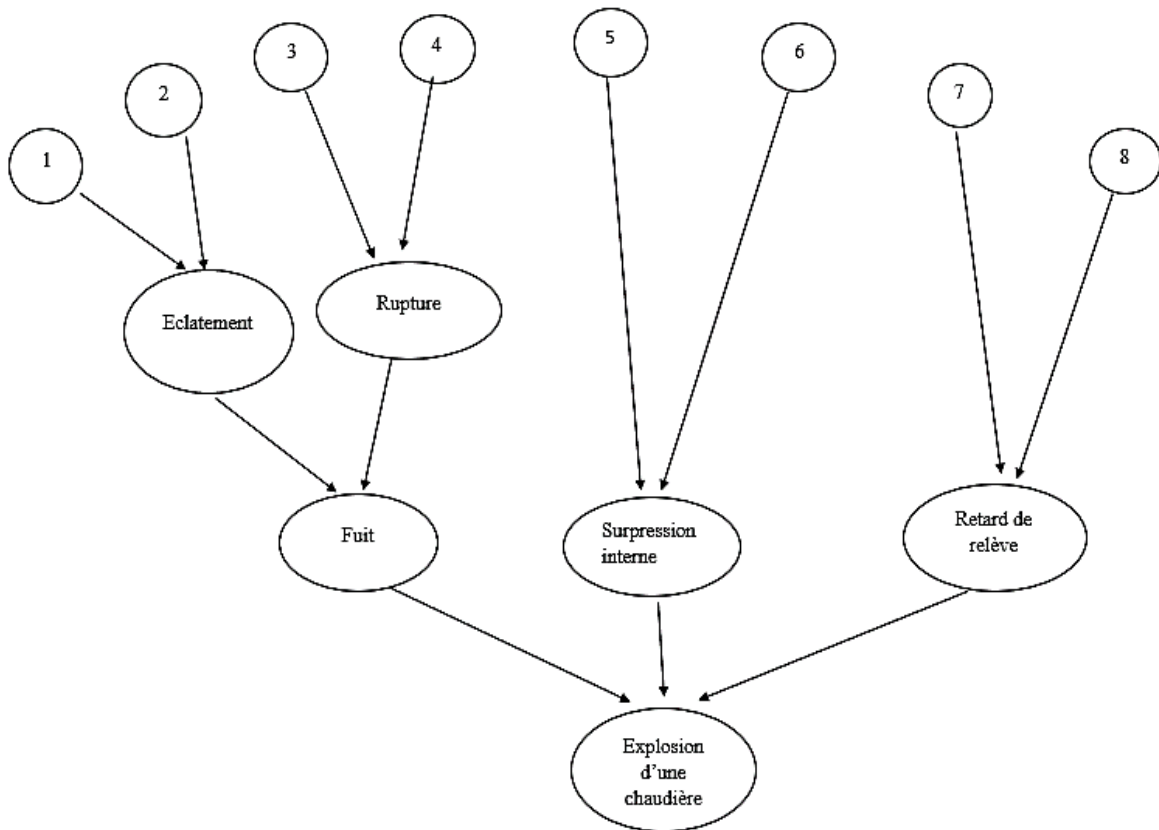


Figure 4.10 RB d'explosion d'une chaudière

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Ces résultats ont pour principal objectif la validation du modèle établi par les réseaux bayésiens en utilisant le logiciel AgenaRisk ® [AGE 18].

Tous les événements de base dans l'arbre de défaillance sont convertis en nœuds parents. Les nœuds logiques (pivot) sont obtenus à l'aide de la table de probabilités conditionnelles.

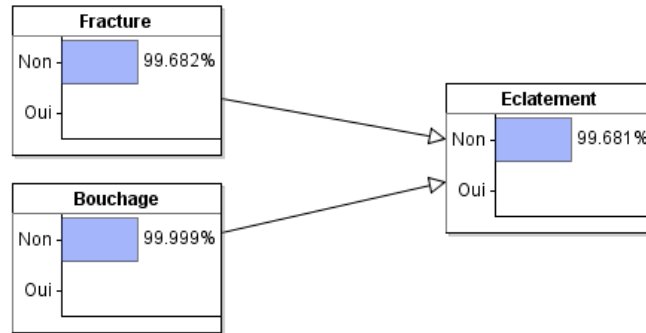


Figure 4.11 RB de l'éclatement

Tableau 4.9 TPC du nœud Eclatement

Fracture		Non		Oui	
Bouchage		Non	Oui	Non	Oui
Eclatement	Non	1	0	0	0
	Oui	0	1	1	1

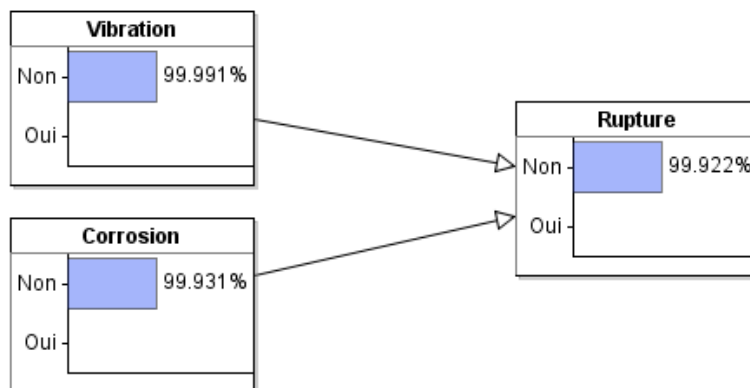


Figure 4.12 RB de la rupture Sc2

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Tableau 4.10 TPC du nœud Rupture Sc2

Vibration		Non		Oui	
Corrosion		Non	Oui	Non	Oui
Rupture	Non	1	0	0	0
	Oui	0	1	1	1

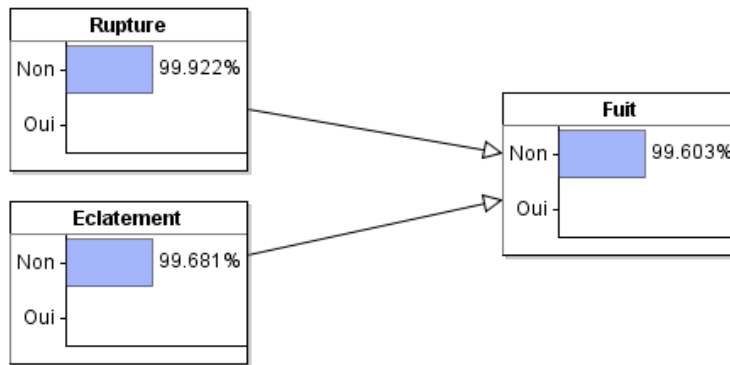


Figure 4.13 RB de la Fuit Sc2

Tableau 4.11 TPC du nœud Fuit Sc2

Rupture		Non		Oui	
Eclatement		Non	Oui	Non	Oui
Fuit	Non	1	0	0	0
	Oui	0	1	1	1

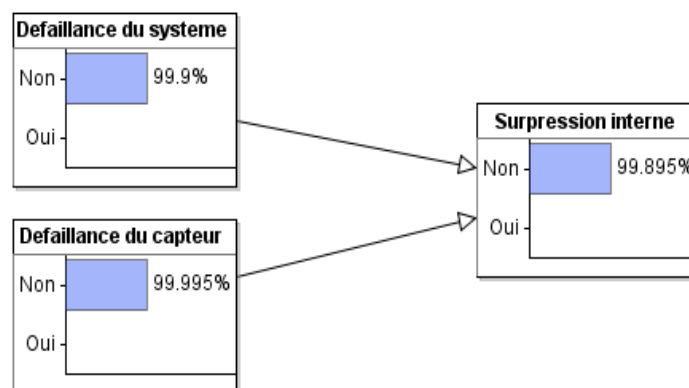


Figure 4.14 RB de la surpression interne

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Tableau 4.12 TPC du nœud suppression interne

Défaillance du système de refroidissement		Non		Oui	
Défaillance du la capture de pression		Non	Oui	Non	Oui
Supression interne	Non	1	0	O	0
	Oui	0	1	1	1

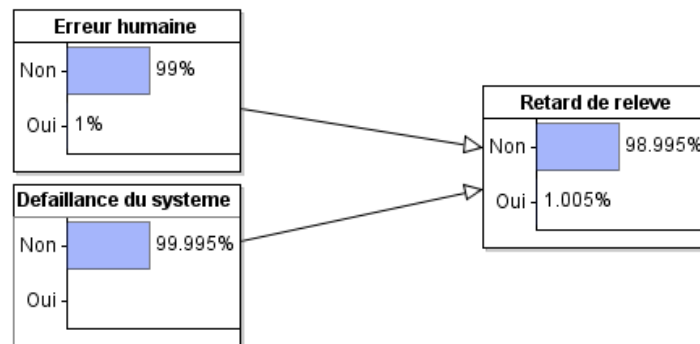


Figure 4.15 RB de la retard de relève

Tableau 4.13 TPC du nœud Retard de relève

Erreur humaine		Non		Oui	
Défaillance du système d'alarme		Non	Oui	Non	Oui
retard de relève	Non	1	0	O	0
	Oui	0	1	1	1

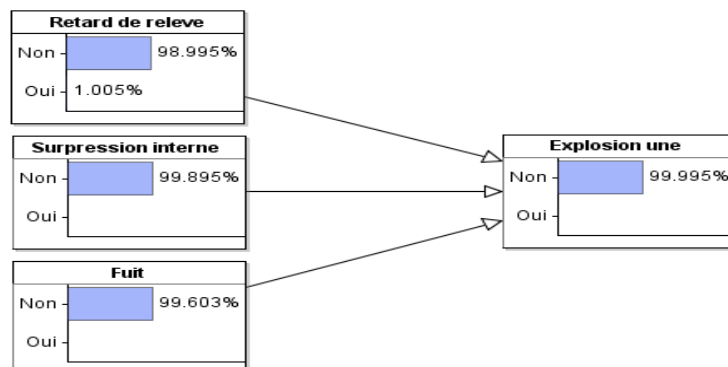


Figure 4.16 RB de l'explosion d'une chaudière

Chapitre IV : Etude des scénarios d'incendie par l'ADD et RB

Tableau 4.14 TPC du nœud Explosion d'une chaudière

Surpression interne		Non				Oui			
Fuit		Non		Oui		Non		Oui	
Retard de relève		Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Explosion d'une chaudière	Non	1	1	1	0	1	0	1	0
	Oui	0	0	0	1	0	1	0	1

4.4. Réulte et discussion

Suite à une analyse détaillée des scénarios par une approche bayésien à partir de l'arbre se défaillance, on a retenu les probabilités suivantes :

Tableau 4.15 Résultats des probabilités du Sc1 et Sc2

Produits Sc 1 et Sc2	Probabilités (P=oui)
Incendie d'un bac de stockage Sc1	0.00014
Explosion d'une chaudière Sc2	5E-05

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié deux scénarios différents par l'utilisation de la méthode de l'arbre défaillance et réseau bayésien, commençons par une construction de l'ADD. Ensuite on a créé un réseau bayésien correspondant à l'arbre de défaillance par l'utilisation du logiciel AgenaRisk.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'incendie reste, malgré tous les progrès technologiques et organisationnels indéniables, l'évènement non naturel le plus catastrophique et malheureusement le plus universel. Ses conséquences sont souvent dramatiques : quelles soient des atteintes à l'humain, aux matériels ou à l'environnement. Dans l'objectif de lui faire face, plusieurs stratégies de combat contre les incendies qui peuvent aider à mieux évaluer les risques d'incendie dans tous les types de scénarios, afin de prévenir ces évènements indésirables ont été mises en place.

L'objectif de ce mémoire est de développer des scénarios d'incendie probable par une méthode d'arbre de défaillance et la traduire en Réseau Bayésien qui est actuellement une des techniques les plus intéressantes de l'intelligence artificielle, car il permet la représentation de la connaissance par un graphe causale intuitif et compréhensible. De plus il est basé sur des probabilités, il intègre l'incertitude dans le raisonnement.

Perspectives

L'utilisation de l'ADD et le Réseau Bayésien est nouvelle, on compte donner à notre travail un aspect plus détaillé et plus développé en intégrant le concept de la logique floue dans la création des tables de probabilités des nœuds. Par ce biais, on espère surmonter le problème de quantification des probabilités.

Bibliographie

Bibliographie

[01] MINISTRE DU TRAVAIL, DU PLEIN EMPLOI ET DE L'INSERTION :

<https://travail-emploi.gouv.fr/archives/archives-courantes/metiers-et-activites/article/industrie-petrochimique>.

[02] UNIVERSALIS.fr : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/petrole-le-raffinage/#:~:text=Le%20raffinage%20du%20p%C3%A9trole%20est,%20C%20lubrifiants%20C%20paraffines%20et%20bitumes>.

[03] PLANETE ENERGIES :

<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/les-trois-etapes-du-raffinage>

[04] VERMILION ENERGY :

<https://www.vermilionenergy.fr/nosactivites/larecherchedupetrole/les-differents-types-de-forage-en-france.cfm>

[05] IFP Energies Nouvelles :

<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-fossiles/tout-savoir-petrole>.

[06] PREVOR :

<https://www.prevor.com/fr/le-risque-de-projection-chimique-dans-lindustrie-petrochimique/>

[07] EENI : <https://eeni.eu/site/la-petrochimie-une-industrie-incontournable/>.

[08] INRS : <https://www.inrs.fr/risques/incendie-explosion/introduction>.

[09] PREVENTICA :

<https://www.preventica.com/dossier-risque-incendie-causes-consequences.php>

[10] AgenaRisk <https://www.agenarisk.com>

[11] N. Aissani and I.H.M. Guetarni, "From Centralized Modelling to Distributed Design in Risk Assessment and Industrial Safety: Survey and Proposition," Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing, T. Borangiu, A. Thomas, and D. Trentesaux, (Editors), Springer International Publishing, Cham (2015), pp. 125–134.

Bibliographie

- [12] Salima BELEULMI. Contribution à l'Analyse Bayésienne en Fiabilité des Systèmes Mécanique. Université des frères MENTOURI Constantine 2016.
- [13] Alessandro Birolini, Reliability Engineering Theory and Practice, Springer, 2007.
- [14] A. Bobbio, L. Portinale, M. Minichino, and E. Ciancamerla, Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks, Reliab Eng Syst Saf. 71(3) (2001), 249–260.
- [15] These de Doctorat, analyse Quantative des risques : Application sur les Bacs de stockage, présentée par I.H.M. Guetarni.
- [16] Pierre-Yves CHAUX. Formalisation de la cohérence et calcul des séquences de coup e minimales pour les systèmes binaires dynamiques. ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN- ENSC, 2013.
- [17] Antoine CORNUEJOLS, Laurent MICLET and Yves KODRATOFF. Apprentissage artificiel : Concepts et algorithmes. France Telecom Recherche et Développement, Eyrolles, 2003.
- [18] Amel DEMRI. Contribution à l'évolution de la fiabilité d'un système mécatronique par modélisation fonctionnelle et dysfonctionnelle. Laboratoire de sûreté de fonctionnement, Qualité et organisation. ANGERS 2009.
- [19] Y. Deng, H. Wang, and B. Guo, BDD algorithms based on modularization for fault tree analysis, Prog Nucl Energy. 85 (2015), 192–199.
- [20] Norman FENTON, Martin NEIL. Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks. 2013
- [21] Islam H.M. Guetarni, Nassima Aissani, Eric Châtelet, and Zoubida Lounis, Reliability Analysis by Mapping Probabilistic Importance Factors into Bayesian Belief Networks for Making Decision in Water Deluge System, Process Safety Progress, 2018.
- [22] Michael S. HAMADA, Alyson G. WILSON, C. Shane REESE and Harry F. MARTZ. Bayesian Reliability. Springer Series in Statistics, New York, USA 2008.

Bibliographie

- [23] Mariapia LAMPIS. Application of Bayesian Belief Networks to System Fault Diagnostics. Loughborough University Institutional Repository 2010.
- [24] M. Lampis and J.D. Andrews, Bayesian belief networks for system fault diagnostics, Qual Reliab Eng Int. 25(4) (2009), 409–426.
- [25] Aurélie LEGER. Contribution à la formalisation unifiée des connaissances fonctionnelles et organisationnelles d'un système industriel en vue d'une évaluation quantitative des risques et de l'impact des barrières envisagées. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2009.
- [26] Ph. LERAY. Apprentissage et diagnostique de systèmes complexes, Modeling and simulation. Université de Rouen 2006.
- [27] Walid MECHRI. Evaluation de la performance des Systèmes Instrumentés de Sécurité à paramètres imprécis. L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis 2011.
- [28] Guillaume MERLE. Algebraic modelling of Dynamic Fault Trees, contribution to qualitative and quantitative analysis. Ecole normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2010.
- [29] Kevin Patrick MURPHY. Dynamic Bayesian Networks : Representation, Inference and Learning. University of California, Berkeley Fall 2002.
- [30] Patrick Naïm, Réseaux bayésiens, Eyrolles, 2007
- [31] OREDA 2002 : Offshore Reliability Data 4th Edition. Prepared by : SINTEF Industrial Management Distributed by : Det Norske Veritas (DNV).
- [32] Pearl, J., 1988. Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference. Morgan Kaufmann Publishers Inc, San Francisco, USA.
- [33] David J Smith, RELIABILITY, MAINTAINABILITY AND RISK Practical methods for engineers, Elsevier, 2001.
- [34] Nozer D. Singpurwalla, Reliability and Risk A Bayesian Perspective, John Wiley, 2006
- [35] Zachary TAYLOR, Subramanyam RANGANATHAN. Designing High Availability Systems: Design For Six Sigma and Classical Reliability Techniques with Practical Real-Life Examples. IEEE Press Editorial Board 2013.
- [36] Abdelaziz Zaidi, Intégration des réseaux bayésiens et bond graphs pour la supervision des systèmes dynamiques, Université Lille1, 2012.

ANNEXE N° 1

1-1 Bases de données de fiabilité

Les bases de données disponibles peuvent être classées en trois catégories :

- Les bases de données spécifiques à une entreprise ou à un site industriel : ce sont des données collectées des équipements similaires, utilisés dans des conditions similaires par une entreprise.
- Les bases de données spécifiques à une industrie : les données sont issues d'un secteur d'activité donné (télécommunication, nucléaire, militaire, etc.).
- Les bases de données génériques : les données proviennent de plusieurs secteurs d'activités et de plusieurs sources. Ces bases de données présentent souvent des expressions mathématiques qui sont des modèles de régression pour l'estimation des taux de panne, par exemple.

Base de données (dernière mise à jour) : OREDA, Offshore Reliability Data (2015)

1-2 Evaluation du risque

Le risque est la combinaison entre «la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences appliquée à un événement redouté.

Pour chaque conséquence liée à un phénomène non maîtrisé, le niveau de risque potentiel sera évalué. Pour cela le recours à une matrice de criticité est nécessaire.

Gravité	3 Elevé	RSM	RS	RS
	2 Moyenne	RNS	RSM	RS
	1 Faible	RNS	RNS	RSM
		1 Faible	2 Moyenne	3 Elevé
	Probabilité			

Figure 1-2 Matrice de criticité

Annexes

Evaluation quantitative de la gravité :

Tableau 1-1 Evaluation quantitative de la gravité pour la Matrice de criticité.

1	Faible	Pas d'accident. Pas d'impact sur les biens. Pas d'impact sur l'environnement
2	Moyenne	Accident sans arrêt de travail. Fuite < 1 tonne d'hydrocarbures. Incident sans arrêt de production.
3	Elevé	Accident avec arrêt de travail. Fuite > 1 tonne d'hydrocarbures. Incident avec arrêt de production.

Evaluation quantitative de la probabilité :

Tableau 1-2 Evaluation quantitative de la probabilité pour la Matrice de criticité

1	Faible	Pas de survenance de l'événement pendant les travaux.
2	Moyenne	L'incident peut survenir une fois
3	Elevé	L'incident peut survenir plusieurs fois.

Une fois le risque évalué, la notion de niveau acceptable apparaît.

RSN	Risque Non significatif ou risque faible- risque acceptable.
RSM	Risque significatif maîtrisé ou risque moyen - risque a été réduit à un niveau bas que raisonnablement réalisable.
RS	Risque significatif ou risque élevé – risque non acceptable.

Annexes

ANNEXE N° 2

2-1 BILAN DES INCIDENTS SURVENUS DURANT L' ANNEE 2001

Unité	Date	Nature de l'incident	Causes
Ain oussera	/01/2001	C/C au niveau du disjoncteur	Défaillance électrique
Mostaganem	04/01/2001	C/C à la sous station électrique	Surtension Sonelgaz
Alger	25/03/01	Incendie sur B 13 au niveau du hall d'emplissage	Projection de la bouteille au sol avec robinet
EL-Eulma	28/05/2001	C/c au niveau du câble de la commande M/A du convoyeur	Mauvais isolement du câble
Oued Sly	20/06/2001	Incendie sur compresseur	Echauffement du au colmatage des canalisations
Batna	24/06/2001	Brûlure d'un agent par jet de propane	Clapet de la citerne défectueux
EL - Eulma	08/08/2001	Echauffement d'un câble électrique d'alimentation d'un moteur	Mauvaise protection du câble
Bechar	/08/2001	Fuite d'eau au niveau du réseau incendie	Corrosion de la canalisation souterraine
Ain Osséra	17/09/2001	Un flash électrique s'est produit au niveau de la palettiseuse plein	Câble non protégé
Chorfa	29/09/2001	nondation du mini - centre par les eaux pluviales	Destruction du mur sur une longueur de 52 m
Oued Aissi	17/10/2001	Bras phase liquide s'est complètement et brusquement désaccouplé de la bride de la citerne	Usure du filetage de la bride d'accouplement de la citerne
Dépôt Messad Zone GPL Chlef	28/11/2001	C/c survenu près du garage du DR sur un camion ayant entraîné des dégâts matériels à ce dernier	Court Circuit
Dépôt Akkacha (zone GPL Chlef)	10/11/2001	220 ML de clôture en fonds de palettes emportés par les eaux - support de clôture en béton emporté par ses eaux	Dégâts suite aux intempéries du 10/11/2001

Annexes

2-2 BILAN DES INCIDENTS SURVENUS DURANT L' ANNEE 2002

Unité	Date	Nature de l'incident	Causes
Biskra	23/01/02	Un Camion tiers a heurté un chariot élévateur boss.	Inattention du chauffeur tiers Mauvais stationnement du chariot élévateur.
M'sila	12/01/02	Début d'incendie au Niveau du compresseur.	Blocage du piston d'échappement
Biskra	23/03/02	Eclatement B 13	Bouteille sur remplier
El Eulma	05/03/02	Rupture d'un câble électrique	Le câble passait sous la palettiseuse son mouvement a provoqué la rupture du câble
Tébessa	10/05/02	Inondation	Forte pluie
CR Béjaia	09/09/02	Court circuit sur compresseur N°1 ATLAS COPLO	Vétusté fatigue du compresseur (date de sa mais en service 1969) échauffement anormal des équipements du compresseur
Dépôt de (Saida)	13/08/02	Rupture bouteille Propane P 35	Bouteille sur remplie

Annexes

2-3 BILAN DES INCIDENTS SURVENUS DURANT L' ANNEE 2003

Unité	Date	Nature de l'incident	Causes
Hassi Messoud	07/01/2003	Incendie	Une erreur de livraison (livraison de l'essence au lieu de Gaz Oil) c'est au cours de l'opération de récupération du produit accidentellement livré qu'une étincelle provenant probablement de la Moto – pompe utilisée
SETIF (Dépot Bougaa)	03/02/2003	Début d'incendie sur une installation électrique	Des opérations de rénovation de l'installation électrique sont en cours
CE Oued Sly	25/04/2003	Incident sur bars de dépotage	L'avant de la citerne dépasser la hauteur des bars
Tébessa	12/06/03	Début d'incendie sur compresseur	L'étincelle est générée par contact d'un fil conducteur dénudé avec la carcasse du coffret électrique suite au vibration pendant le démarrage de ce dernier.
Oued Sly	23/07/03	Déversement important du produit.	Déchirure de joint. Mauvais fonctionnement du clapet. Mauvais serrage des boucles
BATNA	14/10/03	Fuite importante de produit lors d'une intervention technique sur la Sphère 2000 M3	Méconnaissance du matériel et des équipements.