



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : CHAAT Ahmed Bahaa Eddine

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Hygiène et sécurité industrielle

OPTION : Hygiène et sécurité industrielle

Thème

**Evaluation des risques par la conversion de Nœud papillon
en Réseau Bayésien sur four rebouilleur**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
ABDELMOUIZ Ahmed	MCB	Président
MERIGUI Khaled	MAA	Examineur
ZERROUKI Hamza	MCA	Rapporteur

Promotion : JUIN 2024

Remerciements

On adresse nos sincères remerciements à notre directeur de mémoire Monsieur **ZERROUKI Hamza**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions. On exprime toute notre reconnaissance de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Nos remerciements s'adressent également aux membres de jury d'avoir Mr. ABDELMOUIZ Ahmed et Mr. MERIGUI Khaled qui ont consacré de leur temps pour l'évaluation de notre travail.

On désire aussi remercier les professeurs de l'université d'Amar Telidji, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Ainsi que les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire. À tous ces intervenants, on présente nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Dédicace

Je dédie ce travail du pays de fierté et de dignité l'Algérie, à la terre des almoravides et des martyrs la Palestine

À Mes chers parents

À Toute ma famille

À Tous ceux qui me sont chers pour moi

À Toutes mes amis

Bahaa Chaat

Table des matières	
Table des matières	III
Liste des Figures	IV
Liste des Tableaux	V
Liste des Abréviations	VI
Introduction générale.....	- 1 -
Chapitre I : Revue des méthodes d'analyse et d'évaluation des risques.	
I.1. Introduction.....	- 3 -
I.2. Traitement du gaz naturel.....	- 4 -
I.3. Méthodes d'analyse des risques	- 5 -
I.3.1. Présentation de la méthode HAZOP (hazard and operability study)	- 6 -
I.3.2. Méthode arbre de défaillance	- 7 -
I.3.3. Méthode arbre d'évènements (AdE)	- 13 -
I.3.4. Méthode le nœud papillon	- 16 -
I.3.5. Réseaux Bayésiens	- 19 -
I.4. Conclusion	- 23 -
Chapitre II : analyse et évaluation des risques d'un four rebouilleur dans un procédé de traitement de gaz.	
II.1. Introduction	- 24 -
II.2. Description générale du champ de Hassi R'Mel.....	- 25 -
II.2.1. Situation Géographique et climat de Hassi R'mel.....	- 25 -
II.2.2. Présentation de région de Hassi R'mel.....	- 25 -
II.2.3. Présentation des secteurs de Hassi R'mel	- 26 -
II.2.3. Structure de la Direction Régionale.....	- 26 -
II.2.4. Description du Module 2.....	- 26 -
II.3. Application de la méthodologie proposée	- 28 -
II.3.1. Description du système four rebouilleur	- 28 -
II.3.2. Application HAZOP sur un système four rebouilleur.....	- 30 -
II.3.3. Nœud papillon technique	- 36 -
II.3.4. L'application de la méthode Réseau bayésien RB.....	- 37 -
II.3.5. Caractéristiques de RB par l'analyse à posteriori.....	- 37 -
II.4. Conclusion.....	- 39 -
Conclusion générale	- 41 -
Références	- 42 -
Résumé	- 45 -

Liste des Figures

Figure 1. Les étapes du procédé de traitement de gaz Pritchard.	4
Figure 2. Les étapes du procédé de traitement de gaz Hudson.....	5
Figure 3. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillance.	9
Figure 4. Exemple d'arbre de défaillances.	- 11 -
Figure 5. Arbre de Shannon.....	12
Figure 6. Exemple de codage préfix.....	12
Figure 7. Structure d'un Arbre d'événement [25].	- 15 -
Figure 8. Un exemple de la méthode de calcul d'un arbre d'évènements.....	- 16 -
Figure 9. Schéma de nœud papillon.	17
Figure 10. Un exemple de la méthode nœud papillon.....	18
Figure 11. Les différents éléments du RB.	20
Figure 12. Exemple de réseau bayésien classique.....	- 21 -
Figure 13. Conversion graphique d'un AdD en RB.	- 22 -
Figure 14. Algorithme simplifié de transposition d'un graphe nœud papillon en réseau bayésien... -	22 -
Figure 15. Situation géographique du champ de Hassi R'mel.	- 25 -
Figure 16. Structure de la Direction Régionale.	27
Figure 17. Schéma du procès, extraction gaz légers.	30
Figure 18. Four rebouilleur.....	- 30 -
Figure 19. Composants d'un four.	- 30 -
Figure 20. Diagramme de flux de processus du four H101 [33].	- 31 -
Figure 21. Nœud papillon du four H101.	- 36 -
Figure 22. RB du scénario défaillance de Four H101.	37
Figure 23. Les probabilités a priori a posteriori des EdBs et SBs.	38
Figure 24. Calcul de MPE utilisant Hugin Lite.	39

Liste des Tableaux

Tableau 1. Exemple de tableau pour l'HAZOP.	6
Tableau 2. La symbolique des événements [11].	8
Tableau 3. Règles de l'algèbre de BOOLE.	10
Tableau 4. Feuille HAZOP.	- 32 -
Tableau 5. Les différents composants et leurs probabilités dans le four H101.	36
Tableau 6. Les barrières de sécurité et leur probabilité de défaillance.	36
Tableau 7. Les résultats de RB pour l'évènement redouté et les conséquences.	37
Tableau 8. Les probabilités a posteriori des EdBs et SBs.	38

Liste des Abréviations

HAZOP: Hazard and Operability Analysis

AdD: Arbre de Défaillance

AdE : Arbre d'Évènement

NP : Nœud papillon

RB : réseau bayésien

QRA : Quantitative Risk Assessment

ISO: International Organization for Standardization

CEI : Central European Initiative

P&ID: Piping et instrumentation Diagramme

ER : Evènements Redoute

EdB : Evènements de basse

EI : Evènements initiateur

BS : Barrières sécurité

ERC : Evènements Redoute central

EIn : Evènements indésirable

PhD : Phénomène Dangereux

EC : Evènement courant

ERS : Evènement Redoute Secondaire

EM : Effet majeurs

BP : barrières prévention

BM : Barrières mitigation

MPP : Module Processing Plant.

GBL : Gaz Pétrole Liquéfier

CSTF : Centre de Stockage et de Transfert des Fluides

CNDG : Centre National de Dispatching Gaz.

P : Pompes.

K : Compresseur.

C : Colonnes de distillation.

H: Four.

T: Tank

Liste des Abréviations

E: Echangeur.

JT: Turbine.

L: Level (Niveau).

T: Température.

F: Flow (débit).

P: pressure (pression).

I: Indicateur.

C: contrôleur.

LIC: Level Control (Contrôleur de Niveau) .

PIC: Contrôleur de pression.

TIC: Contrôleur de Temperature.

FIC: Contrôleur de Débit.

TI : indicateur de Temperature.

PI : indicateur de Pression.

LI : indicateur de Niveau.

FI : indicateur de Débit.

ON-Spec : Produit prêt à l'expédition.

OFF-Spec : produit pas prêt à l'expédition.

Z : Déclanchement

A : Alarme.

AL : Alarme basse.

AH : Alarme Haute

TRCA : Temperature Recorder Contrôler Alarm

SONATRACH : Société nationale de transport par canalisation des hydrocarbures

Introduction générale

La sécurité industrielle est devenue une préoccupation mondiale, dans un monde de plus en plus dépendant de l'industrie autant de catastrophes industrielles qui ont conduit à dégager la notion d'accident majeur et à rechercher les moyens de prévenir ces accidents ou d'en limiter les conséquences s'ils devaient tout de même se produire car ces derniers engendrent des dégâts dévastateurs sur les biens, les personnes ou l'environnement. Pour faire face à cela, les entreprises mettent en place une démarche de gestion des risques qui consiste à analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques d'une installation, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux produits et équipements utilisés, liées aux procédés mis en Suivre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation. [1]

En Algérie le secteur industriel du pétrole occupe une place prédominante dans l'économie et de développement du pays, grâce aux importantes réserves en pétrole et en gaz naturel existantes, les hydrocarbures représentent 98 % des recettes d'exportation [2]

L'Algérie ne fait pas exception à la règle, car la maîtrise des risques devient un volet incontournable. Cela découle de la prise de conscience des dommages causés par les catastrophes dont on en parle jusqu'à présent et qui ont marqués l'histoire de l'industrie pétrochimique.

Ce mémoire de fin d'études porte sur analyse et évaluation des risques sur four rebouilleur H101 en Société Nationale Sonatrach par des méthodes d'analyse des risques Pour connaître les conséquences en cas d'accident et évaluer les performances des barrières de sécurité sur le système

Le présent travail comporte deux chapitres dans lesquels nous allons détailler le travail effectué pour maîtriser les risques majeurs au niveau de l'unité de traitement de gaz associés module 2 (MPP2) :

Ce manuscrit est composé de deux chapitres dont le premier chapitre introduit les différentes méthodes d'analyse et d'évaluation des risques utilisés pour évaluer les performances des barrières de sécurité et trouver les conséquences graves potentiels.

Le deuxième chapitre partie pratique, nous essaierons de donner une description détaillée de la station qui que nous avons fait notre stage. Aussi, nous allons introduire le système qui nous avons choisi pour étudier et nous avons identifié les risques du four en

Introduction générale

utilisant la méthode HAZOP pour connaître les causes et les conséquences causés par celui-ci en cas de défaillance. Après, avec l'aide des résultats de HAZOP, nous allons construire le diagramme Nœud papillon et le convertir en réseau bayésien. En conclusion, nous avons mis en évidence les principaux résultats obtenus.

Chapitre I : Revue des méthodes d'analyse et d'évaluation des risques.

I.1. Introduction

Les gaz industriels sont des substances extrêmement versatiles et de grande importance. Malgré son utilisation fréquente, l'extraction et l'utilisation du gaz restent un défi majeur, notamment en raison des dangers qu'elles représentent. Il faut toujours garder à l'esprit qu'ils peuvent apporter de nouveaux risques sur le lieu de travail et même à l'intérieur des maisons. Toute personne travaillant avec ces gaz doit avoir suivi les formations appropriées et les manipuler conformément aux procédures de sécurité en vigueur. Vous pouvez éliminer presque entièrement le risque lié aux gaz industriels si vous avez les connaissances appropriées sur le gaz et les procédures de sécurité et afin de contrôler ces risques, nous devons analyser et évaluer les risques [3] .

La norme ISO (International Organization for Standardization) a défini l'analyse de risque comme "Utilisation systématique d'informations pour identifier les facteurs de risque et pour estimer le risque" (ISO/CEI Guide 73, 2002). L'analyse de risque peut se résumer dans la réponse de ces trois questions : Ce qui peut mal tourner ? Quelle est la probabilité que cela se produise ? Quelles sont les conséquences ? [4]

L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens. En outre, l'analyse des risques permet de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection) [5] .

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

Dans ce chapitre, nous découvrons les différentes méthodes d'analyse et d'évaluation des risques utilisés dans notre étude. Les différentes méthodes telles que l'HAZOP, l'arbre des défaillance (AdD), l'arbre des événements (AdE), Noeud papillon, et les réseaux Bayésiens (RB) sera décrit en détail et étudié en termes de ses applications, ses avantages et de ses inconvénients.

I.2. Traitement du gaz naturel

I.2.1. Généralités

Le traitement du gaz naturel est l'ensemble des opérations appliquées au gaz brut extrait du gisement afin de le rendre utilisable. Les différents traitements sont effectués En surface, dès la sortie du gaz brut du gisement [3] :

- Dans une usine de traitement de gaz naturel ;
- Dans les terminaux méthaniers ;
- À la sortie des stockages souterrains.

Pour traiter le gaz naturel, il faut purifier afin d'éliminer les composants présents à la sortie du puits, tels que l'eau, les gaz acides (CO_2 , H_2S , par exemple) et les hydrocarbures lourds (condensats), afin de le rendre proche des spécifications commerciales

I.2.2. Procédé de traitement de gaz

Le choix d'un procédé de traitement se fait selon trois critères de base à savoir [3] :

Le taux de récupération des hydrocarbures liquides visés ;

- Les spécifications des produits finis ;
- Le coût global des investissements.

Plusieurs procédés ont été mis en œuvre citons

A. Le procédé PRITCHARD :

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par des détentes simples avec en plus l'utilisation d'une boucle de propane (C_3H_8) comme fluide réfrigérant pour atteindre en fin de cycle des températures voisines de -23 C° . Le principe de fonctionnement du procédé s'articule sur les quatre étapes présentées par le schéma suivant [6] :

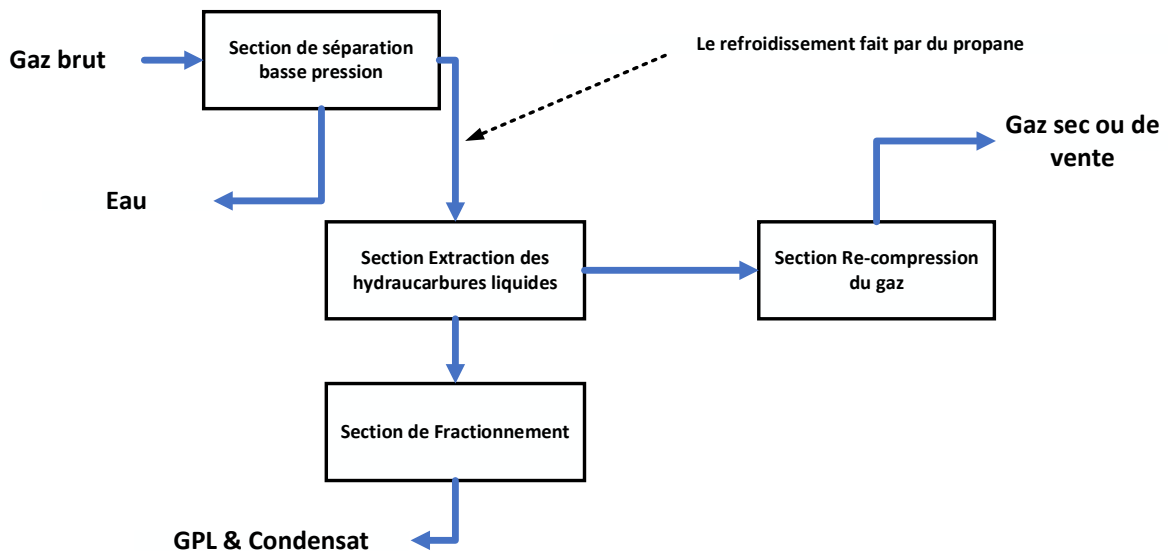


Figure 1. Les étapes du procédé de traitement de gaz Pritchard.

En Algérie Le procédé Pritchard est géré par la direction régionale de Hassi R'mel : Au Module (0) et au module (I) [3] .

B. Le procédé HUDSON

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et complété par une détente à travers une machine dynamique appelée TURBO-EXPANDER, qui permet d'atteindre un niveau de température proche de -50°C . Le principe de fonctionnement du procédé s'articule sur quatre étapes présentées par le schéma suivant [6] :

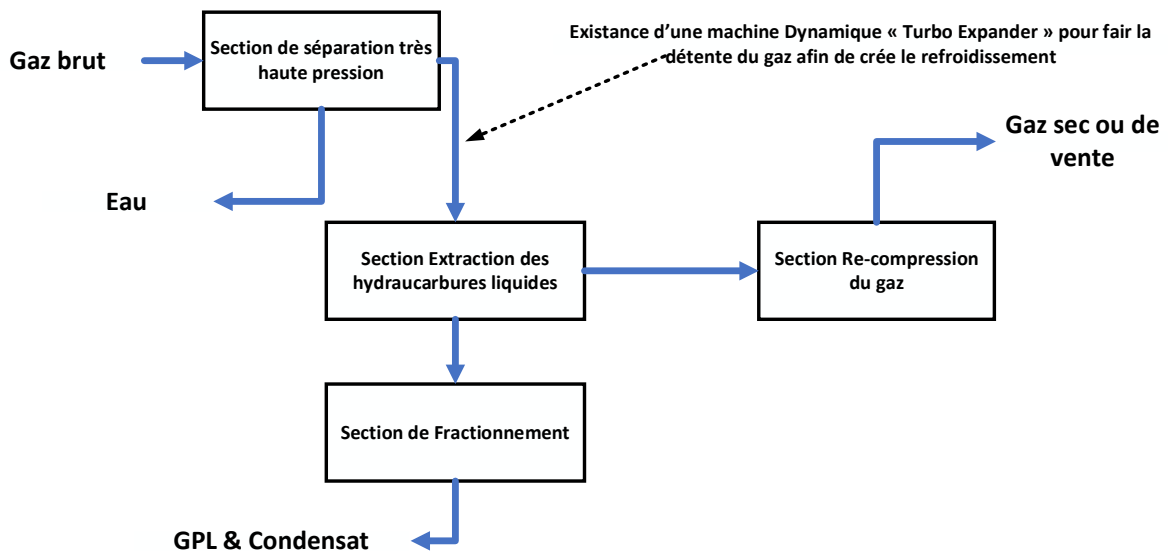


Figure 2. Les étapes du procédé de traitement de gaz Hudson.

En Algérie le procédé Hudson est appliqué et géré par [3] :
La direction régionale de Hassi R'mel : Au Modules (II),(III) et (IV) ;

- La direction régionale d'Alrar ;
- La direction régionale de Ouahanet ;
- La direction régionale de Rhourd Nouss ;
- Le groupement TFT, le groupement de Teguntourine et In Salah.

C. Procédé d'Alrar : Procédé mixte

Dans ce procédé de traitement de gaz on trouve une combinaison entre les deux précédents procédés de traitement pour assurer les besoins en frigories, il utilise à la fois une boucle de propane et un Turbo-Expander. La température finale obtenue grâce aux refroidissements successifs peut atteindre -65°C . Les liquides obtenus à différents niveaux sont stabilisés puis fractionnés en GPL et condensat. En Algérie, ce procédé est géré par la direction régionale de Haoud Berkaoui : au centre de traitement de Guellala [3].

I.3. Méthodes d'analyse des risques

Le choix de la méthodologie requis pour l'analyse des risques est crucial. Il n'existe pas de méthode miraculeuse qui permette aux entreprises de toutes tailles et de tous secteurs d'analyser les risques afin de déterminer des mesures préventives. Cependant, le choix d'une méthode approprié varié selon les objectifs souhaités et en fonction des besoins de

l'entreprise. Dans ce qui suit, Nous allons essayer de donner un aperçu complet sur les méthodes utilisées dans notre travail.

I.3.1. Présentation de la méthode HAZOP (hazard and operability study)

I.3.1.1. Définition de L`HAZOP

La méthode HAZOP, pour *Hazard Operability*, ou Analyse de Perturbations, est une analyse systématique et formalisée d'identification des risques et des problèmes d'opérabilité d'installations ou de procédés. L'identification systématique et la détermination des causes et des conséquences des perturbations susceptibles de survenir au cours de l'exploitation des installations permettent en fait une analyse de l'intégrité opérationnelle du système étudié. Une perturbation correspond à une déviation par rapport aux intentions du concepteur susceptible de survenir aussi bien en opération normale ou en exploitation dite de routine des installations qu'en phase de démarrage, de mise à l'arrêt, d'entretien, etc [7].

I.3.1.2. Principe de L`HAZOP

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser des paramètres comme la pression, la température, le débit...etc. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérives est effectuée de manière systématique comme [8] :

$$\text{Mot-clé} + \text{Paramètre} = \text{Dérive}$$

Par exemple :

« Plus de » et « Température » = « Température trop haute »,

« Moins de » et « Pression » = « Pression trop basse »,

La démarche présentée est globalement cohérente avec la démarche présentée dans la norme **CEI : 61882** « *Etudes de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) – Guide d'application* ». Voici un exemple de tableau pouvant être utilisé pour la méthode HAZOP :

Tableau 1. Exemple de tableau pour l'HAZOP.

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

I.3.1.3. Objectif de L'HAZOP

Parmi les objectifs de l'application de la méthode HAZOP, on mentionne [9] :

- Réalisation de l'étude au sein d'un groupe de travail rassemblant différents métiers : Sécurité, ingénierie, exploitation, maintenance ;
- Méthode d'analyse systématique liée aux installations avec circuits fluides ;
- Contribution au respect des normes en matière de sécurité ;
- Mise en évidence des principaux problèmes d'exploitation et d'entretien ;
- Etude des conséquences et risques éventuels liés à ces dérives ;
- Proposition des mesures correctives appropriées.

I.3.1.4. Informations utilisées dans l'étude HAZOP

Les éléments suivants doivent être consultables par l'équipe HAZOP [10] :

- Diagrammes de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID) pour l'installation ;
- Documentation de philosophie ou de description de procédé ;
- Procédures de fonctionnement et de maintenance existantes ;
- Diagrammes de causes et effets ;
- Plans d'aménagement d'usine.

I.3.1.5. Avantages et limites de la méthode

Parmi les avantages les plus importants, nous mentionnons les suivants :

- HAZOP est une méthode très adaptée à l'étude de dangers dans le domaine des procédés tel que le domaine chimique [11] .
- HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo hydrauliques, Cette méthode présente un caractère systématique et méthodique [12] .
- La méthode HAZOP repose sur la déviation des variables, mais ne prend pas en compte les défaillances, ni les enchaînements que peuvent entraîner les déviations de ces variables.
- Cette méthode ne représente pas l'installation sous une forme structurée facilement informatizable.
- HAZOP permet difficilement d'analyser les événements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances [13] .

Il est parfois difficile d'affecter un mot-guide à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive

I.3.2. Méthode arbre de défaillance

I.3.2.1. Principe

L'analyse par arbre de défaillance est une approche déductive qui représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui, dans certaines conditions produisent un événement donné, point de départ de l'étude appelons événement redouté (événement sommet ou bien indésirable). Construire un arbre de défaillance revient à répondre à la question « comment tel événement peut-il arriver ? », ou encore « quels sont tous les enchaînements possibles qui peuvent aboutir à cet événement ? » [14] .

I.3.2.2. Les événements d'arbre de défaillance

Événement redouté (ER) : l'événement redouté est l'événement indésirable pour lequel on fait l'étude de toutes les causes qui y conduisent. Cet événement est unique pour un arbre de défaillance et se trouve au "sommet" de l'arbre.


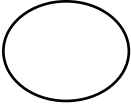
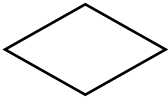
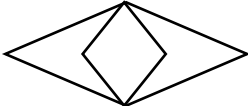
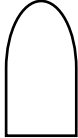
Événements intermédiaires : les événements intermédiaires sont des événements à définir comme l'événement redouté.

Événements de base (EdB) : les événements de bases sont des événements correspondants au niveau le plus détaillé de l'analyse du système. Dans un arbre de défaillance, ils représentent les défaillances des composants qui constituent le système étudié [14] .

Résumé de la symbolique des événements

Il existe d'autres types d'événements définis par la norme. Leurs symboles ainsi que leurs significations sont répertoriés dans le tableau suivant [14] :

Tableau 2. La symbolique des événements [11] .

Symbole	Nom	Signification
	Rectangle	Événement redouté ou événement intermédiaire
	Cercle	Événement intermédiaire
	Losange	Événement élémentaire non développé
	Double losange	Événement élémentaire dont le développement est à faire ultérieurement
	Maison	Événement de base survenant normalement pour le fonctionnement du système

I.3.2.3. Caractéristiques

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas comme indiqué dans la Figure 3. La ligne la plus haute ne comporte que l'événement dont on cherche à décrire comment il peut se produire, et ce que nous avons appelé dans le paragraphe précédent l'événement redouté (ER). Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure

auquel elles sont rattachées. Ces relations sont représentées par des portes logiques OU ou ET (Figure 03) [14] .

Dans un arbre de défaillances constitué de portes « OU », la probabilité de défaillance à la demande de l'évènement sommet de l'arbre est donnée par [15] :

$$P(T) = P(M) + P(X3) - P(M) \times P(X3) \quad (1.1)$$

Dans un arbre de défaillances constitué uniquement de portes « ET », la probabilité de défaillance de l'évènement sommet de l'arbre est donnée par [15] :

$$P(M) = P(X1) \times P(X2) \quad (1.2)$$

Les équations mentionnées précédemment ne sont utilisées que s'il n'y a pas d'événements répétés dans l'AdD étudié.

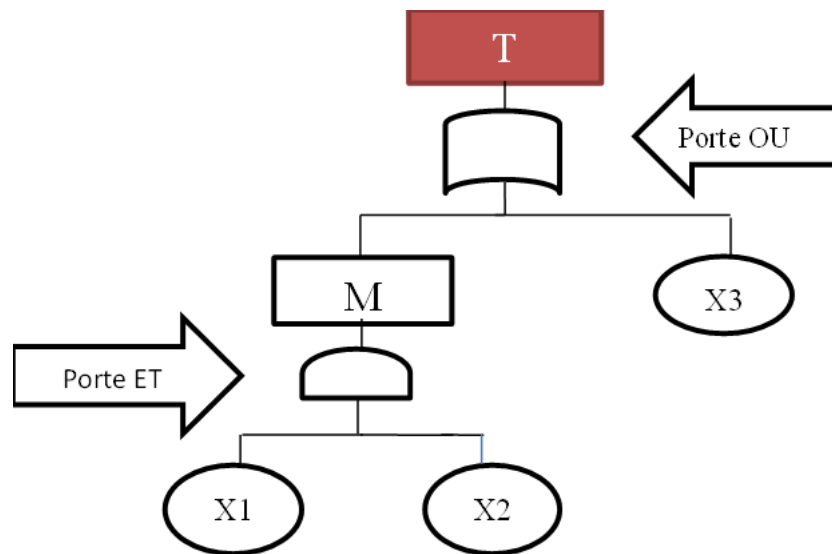


Figure 3. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillance.

Méthode de Poincaré : On peut donner un encadrement de la probabilité de défaillance par : [16]

$$P(EI) = \sum_i P(Xi) - \sum_{i,j} P(Xi)P(Yj) + \sum_{i,j,k} P(Xi)P(Yj)P(Zk) \quad (1.3)$$

L'avantage de cette formule est qu'elle utilise les coupes minimales qui sont en nombre limité. Cependant, on remarque que la formule de Poincaré nécessite de nombreux développements pour le calcul de la valeur exacte de la probabilité. Sur ordinateur, le calcul est limité par la capacité mémoire et les temps de calcul, ce qui nécessite pour les systèmes complexes d'employer les formules approchées de la probabilité de défaillance [4] .

Des coupes minimales : Une « coupe minimale » d'un arbre de défaillances cohérent est une coupe comportant un nombre minimal d'événements défaillants. Autrement dit, dès qu'on enlève une défaillance de la coupe, n'importe laquelle, l'ensemble des défaillances restantes ne suffit plus à provoquer l'évènement sommet. Une seconde propriété des coupes minimales est qu'elles ne peuvent contenir aucune autre coupe. La cohérence du système considéré permet alors de garantir que tout ensemble d'événements de base contenant cette coupe minimale est également une coupe. L'ensemble des coupes minimales est suffisant pour représenter la défaillance du système [17] .

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 [18] :

- Éliminer les redondances d'événements dans une même coupe (il est inutile de citer plusieurs fois le même événement dans une coupe)
- Éliminer 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)
- Éliminer 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)

La recherche des coupes minimales est effectuée à partir des règles de l'algèbre de BOOLE, Quelques-unes des principales règles de l'algèbre de BOOLE sont résumées dans le tableau suivant [19] :

Tableau 3. Règles de l'algèbre de BOOLE.

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

I.3.2.4. Exemple d'arbre de défaillance

Pour déterminer les coupes minimales de cet arbre il est d'abord nécessaire de donner pour chaque porte l'équation booléenne équivalente puis, par substitution successives celle de l'événement sommet S [20] .

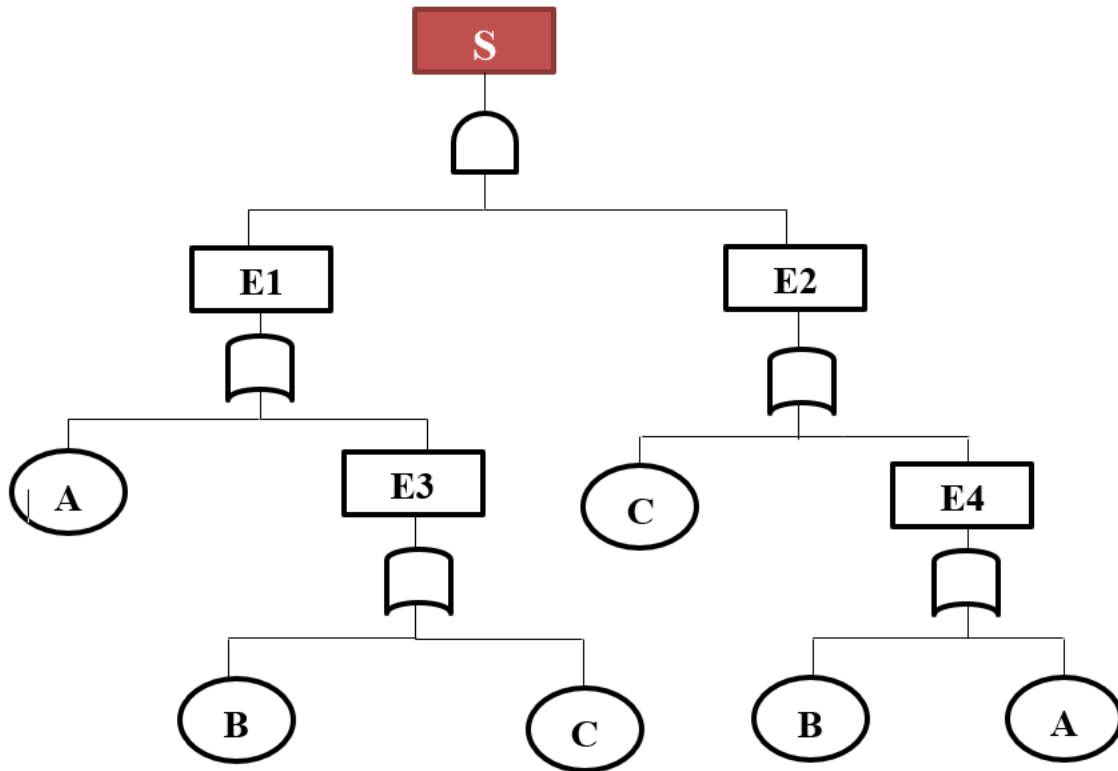


Figure 4. Exemple d'arbre de défaillances.

$$S = E1 \cdot E2$$

$$E1 = A + E3, E3 = B + C$$

$$E2 = C + E4, E4 = B + A$$

$$S = E1 \cdot E2 = (C + A \cdot B) (A + B + C)$$

$$S = AC + AAB + BC + ABB + CC + ABC$$

D'où finalement : $S = C + A \cdot B$

Coupe minimale d'ordre 1, la défaillance de C

Coupe minimale d'ordre 2, la défaillance de A.B

Arbre de Shannon

L'immense majorité des données (texte, son, image, vidéo, etc.) sont stockées et manipulées sous forme numérique, c'est-à-dire à l'aide de nombres entiers qui sont convertis en une succession de bits (des 0 et des 1). La conversion depuis le monde analogique continu vers ces représentations numériques discrètes est décrite par la théorie élaborée par Claude Shannon. Ce qui suit est un exemple d'arbre de Shannon [21].

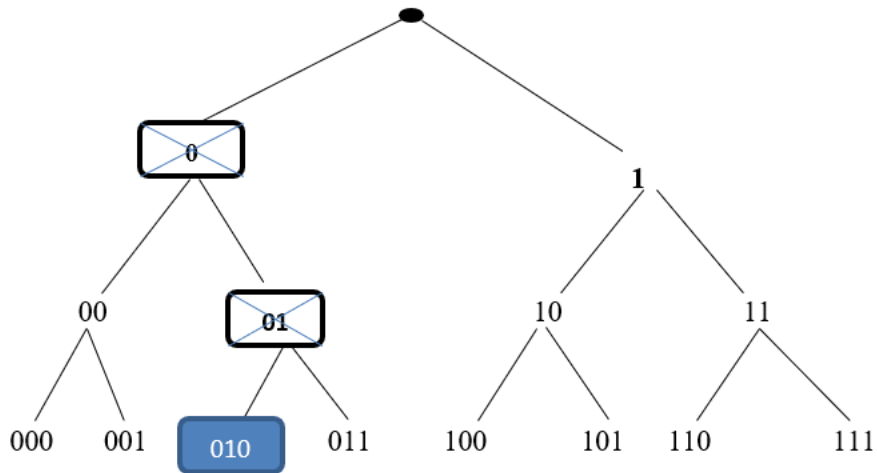


Figure 5. Arbre de Shannon.

Les codages préfixes sont alors représentés comme les feuilles des sous-arbres de cet arbre complet. La figure ci-dessous montre à quel sous-arbre correspond le code à longueur variable.

$0 \rightarrow 001$, $1 \rightarrow 01$, $2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 000$

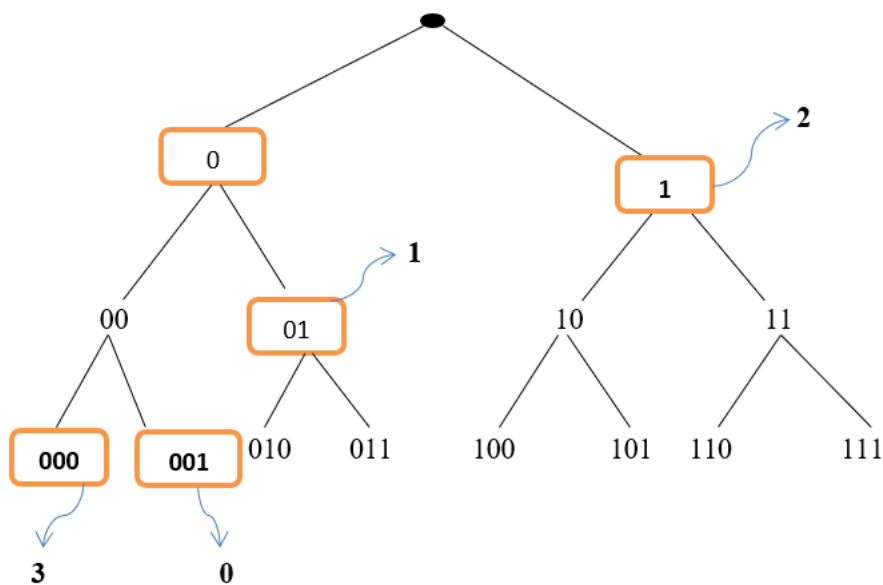


Figure 6. Exemple de codage préfix.

Une fois que l'on a représenté un codage préfix comme un sous-arbre binaire, l'algorithme de décodage est particulièrement simple à mettre en œuvre. Lorsque l'on commence le décodage, on se place à la racine, et on descend à chaque nouveau bit lu soit à gauche (pour un 0) soit à droite (pour un 1). Lorsque l'on atteint une feuille du sous-arbre, on émet alors le mot du code correspondant à cette feuille, et l'on redémarre à la racine. La figure précédente illustre le processus de décodage [21].

Les facteurs d'importance : Un facteur d'importance est la quantité qui représente la participation d'un événement de base dans l'occurrence de l'événement sommet. Si cet

événement sommet décrit la défaillance d'un système quelconque et les événements de base représentent des défaillances de composants, le facteur d'importance est la contribution du composant à la défaillance globale du système.

Le facteur d'importance marginale (MIF) ou de Birnbaum peut être exprimé comme la probabilité d'occurrence de l'événement sommet sachant l'occurrence de l'événement de base moins la probabilité d'occurrence de l'événement sommet sachant la non-occurrence de l'événement. Le facteur (MIF) d'un composant (I) est donné par la formule [18] :

$$MIF_i = P(ES/I) - P(ES/1 - I) \quad (1.4)$$

I.3.2.5. Les limites et les avantages de AdD

Le principal avantage de cette méthode est de pouvoir visualiser l'ensemble des combinaisons d'événements élémentaires conduisant à une défaillance, c'est-à-dire qu'elle permet d'avoir une vision globale et logique du fonctionnement et des dysfonctionnements d'un système.

La connaissance des coupes minimales permet d'identifier, en phase de conception, les composants d'un système à améliorer pour qu'un événement ne se produise pas fiabiliser ces systèmes revient donc à essayer de supprimer les coupes minimales.

Les principales limites de cette méthode sont les suivantes [22] :

- Les événements intermédiaires doivent être indépendants les uns des autres pour que le calcul des probabilités d'occurrence soit correct ;
- L'arbre des défaillances ne rend pas compte de l'aspect temporel des scénarios d'événements conduisant à la défaillance ;
- Cette méthode est binaire, un événement peut soit se produire, soit ne pas se produire.

I.3.2.6. Objectifs de l'AdD

L'objectif « qualitatif » est de construire une synthèse de tout ce qui peut conduire à un événement redouté (ER) et de trouver les combinaisons des composants conduisant de cet événement, c'est ce qu'on appelle les coupes minimales. Concernant la partie quantitative de l'exploitation de l'AdD, c'est de trouver la probabilité de l'ER et d'évaluer l'effet d'une modification du système, de comparer les conséquences des mesures qui peuvent être envisagées pour réduire l'occurrence de l'événement redouté étudié [22] .

I.3.3. Méthode arbre d'évènements (AdE)

L'arbre des événements est une méthode inductive qui consiste à partir de l'événement initiateur (EI) conduisant à un événement indésirable à envisager l'échec ou le succès des fonctions de sécurité puis définir les événements susceptibles de se produire en aval de l'événement initiateur, les barrières de sécurité et leurs fonctions doivent être identifiées en leurs affectant des probabilités de défaillance, L'AdE construit permet temporellement d'identifier les différentes séquences d'événements susceptibles de conduire ou non à des conséquences aux limites et les chemins les plus dangereux conduisant à des conséquences catastrophiques sont ensuite analysés en détail [23] .

I.3.3.1. Déroulement de l'AdE

La démarche généralement retenue pour réaliser une analyse par arbre d'événement est la suivante [19]

- Définir l'événement initiateur à considérer ;
- Identifier les fonctions de sécurité prévues pour y faire face ;
- Construire l'arbre ;
- Décrire et exploiter les séquences d'événements identifiées.

I.3.3.2. Objectif de l'AdE

Les arbres d'événements sont utilisés pour identifier les divers accidents qui peuvent se produire dans un système complexe. À la suite de l'identification des séquences d'accidents individuels, les combinaisons spécifiques de défaillance qui peuvent conduire à des accidents peuvent être déterminées à l'aide de l'arbre d'événements. L'arbre d'événements permet: [23]

- De rechercher toutes les conséquences résulte d'un EI, et les combinaisons des barrières existantes pour réduire leurs effets ;
- De vérifier les hypothèses faites au cours d'autres analyses à propos de l'indépendance des systèmes et de la non-prise en compte de certaines défaillances ;
- D'identifier les facteurs qui ont les conséquences les plus néfastes sur une caractéristique de fiabilité ainsi que les modifications nécessaires pour améliorer cette caractéristique ;
- D'identifier les événements communs ou les défaillances de cause commune.

I.3.3.3. Méthodologie d'élaboration de l'AdE

Notons que l'AdE s'intéresse à l'analyse et l'évaluation des risques d'un système donné. Conséquemment et à partir d'un EI, l'AdE s'attache à identifier le comportement des composants du système étudié (ou de ses fonctions de sécurité) pour en déduire les éventuelles conséquences. L'élaboration de l'AdE s'effectue en suivant les étapes suivantes :

Définition de l'évènement initiateur : Il s'agit d'une étape importante pour l'analyse par arbre d'évènements. Etant donné qu'il s'agit d'une approche qui peut vite se révéler lourde à mener, il est généralement bon de sélectionner un événement initiateur qui peut effectivement conduire à une situation critique. Ceci suppose donc de connaître, au moins de manière partielle, les principaux risques associés à l'installation considérée [24] .

Identification de fonction de sécurité : Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir d'éléments techniques de sécurité, de procédures organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux [25] .

Construction de l'AdE : La construction de l'arbre consiste alors à partir de l'événement initiateur à envisager soit le bon fonctionnement soit la défaillance de la première fonction de sécurité. L'événement initiateur est représenté schématiquement par un trait horizontal. Le moment où doit survenir la première fonction de sécurité est représentée par un nœud. La branche supérieure correspond généralement au succès de la fonction de sécurité, la branche inférieure à la défaillance de cette fonction [23] .

$$Si = EI \cap E1 \cap E2 \cap \dots En \quad (1.5)$$

Avec E_j ($j = 1..n$) est un évènement générique (ou intermédiaire) [26] ;

Estimation des probabilités de chaque branche (ou séquence) : L'expression d'une probabilité [26] :

$$Prop(S_i) = Prop(EI) \times Prop(E_1) \times \dots \times Prop(E_n) = \prod_{j=1}^n Prop(E_j) \quad (1.6)$$

Identification des conséquences associées aux différentes branches de l'AdE : Chaque conséquence est une combinaison des séquences (ou branches) de l'AdE [26] :

$$C_{qm} = S_p \cup \dots \cup S_q \quad (1.7)$$

Estimation des probabilités des conséquences de l'AdE : [26]

$$Prop(C_{qm}) = \sum_p^q Prop(C_q) \quad (1.8)$$

Evènements	Sous-système 1	Sous-système 2	Sous-système 3	Conséquence
Initiateur	Barrières 1	Barrières 2	Barrières 3	

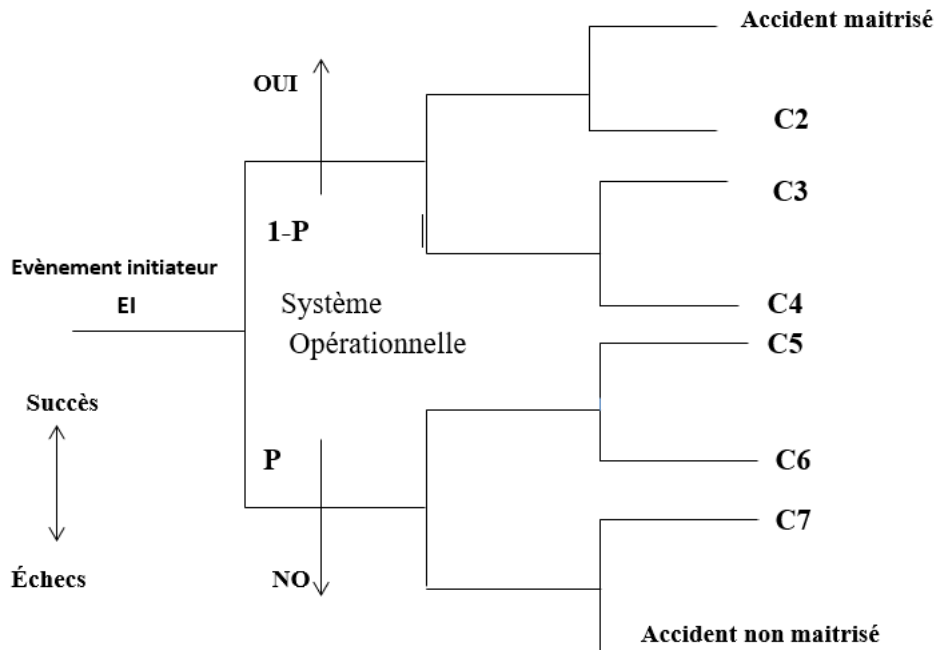


Figure 7. Structure d'un Arbre d'évènement [25].

I.3.3.4. Exploitation d'arbre d'évènements (AdE)

La réalisation d'un arbre d'évènements permet en définitive de déterminer la probabilité d'occurrence des différentes conséquences à partir des séquences identifiées. Cette dernière ne peut être effectuée qu'à partir d'un arbre d'évènements préalablement réduit. La réduction de l'arbre concourt entre autres à éliminer les chemins non physiquement possibles ainsi qu'à identifier les modes communs de défaillances. Cette opération est nécessaire pour assurer l'indépendance des évènements intermédiaires présentés. La probabilité d'occurrence d'une conséquence suite à une séquence particulière peut alors être estimée, pour des évènements indépendants, comme le produit de la probabilité d'occurrence de l'évènement initiateur et de la probabilité de défaillance ou de fonctionnement selon le cheminement des évènements

intermédiaires. La figure ci-dessous permet d'expliciter cette détermination des probabilités pour un arbre d'évènements réduit. Rappelons qu'un arbre des évènements ne doit pas être considéré comme un outil visant à déterminer la probabilité d'un événement avec exactitude mais comme un outil pour caractériser l'enchaînement des actions et des évènements pouvant conduire ou non à un accident [19].

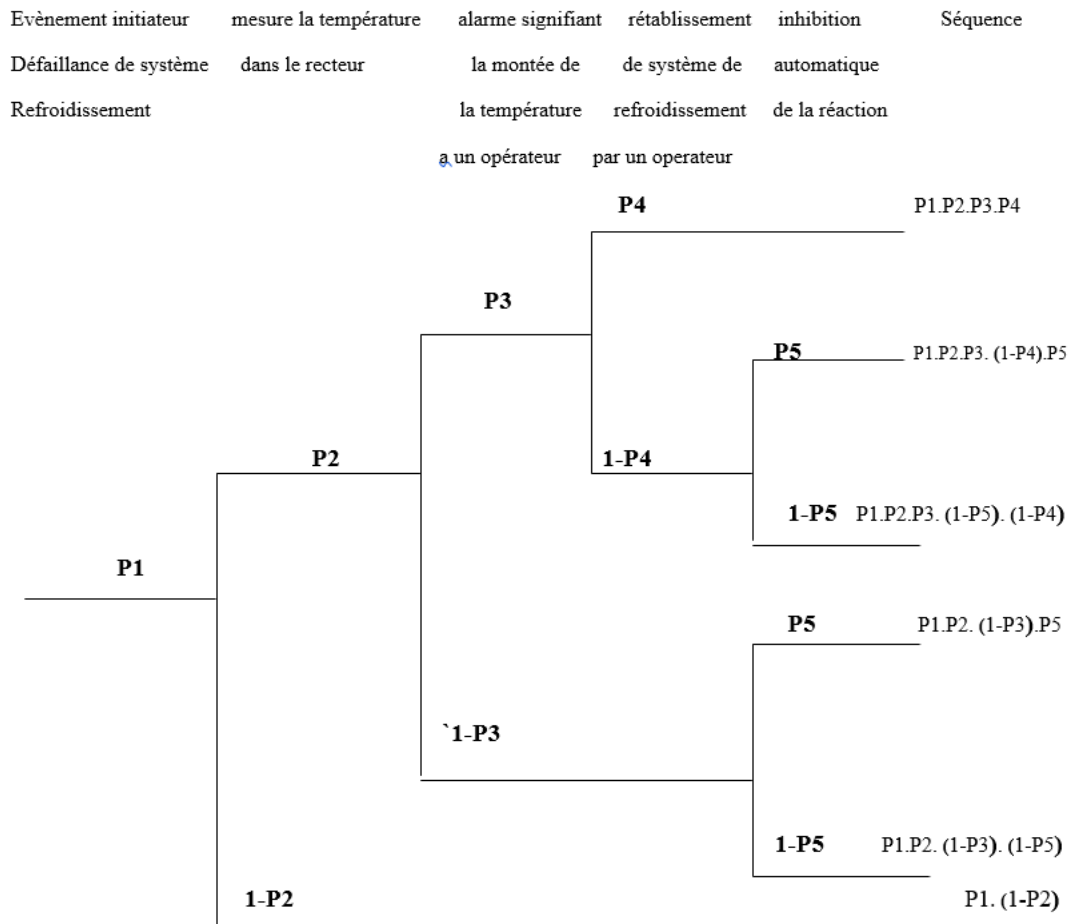


Figure 8. Un exemple de la méthode de calcul d'un arbre d'évènements.

I.3.3.4. Les limites et les avantages de AdE

L'analyse par arbre d'évènements est une méthode qui permet d'examiner, à partir d'un événement initiateur, l'enchaînement des évènements pouvant conduire ou non à un accident potentiel. Elle trouve ainsi une utilité toute particulière pour l'étude de l'architecture des moyens de sécurité (prévention, protection, intervention) existants ou pouvant être envisagés sur un site. A ce titre, elle peut être utilisée pour l'analyse d'accidents a posteriori. Cette méthode peut s'avérer rapidement lourde à mettre en œuvre. En conséquence, il faut définir avec discernement l'évènement initiateur qui fera l'objet de cette analyse [27].

I.3.4. Méthode le nœud papillon

I.3.4.1. Principe

Le nœud papillon est une approche probabiliste d'analyse et d'évaluation du risque. Elle résulte de la combinaison d'un arbre de défaillances et d'un arbre d'évènements, centré sur un même événement redouté. L'application de cette méthode dans le milieu industriel est de plus en plus répandue. La méthode de nœud papillon présente l'avantage d'apporter un modèle

pour la maîtrise des risques. Le mode de représentation sous forme de nœud papillon a donné son nom à la méthodologie [28] .

I.3.4.2. Présentation de méthode

Le schéma ci-dessous (Figure 5), présente et illustre un positionnement possible des différentes fonctions de sécurité par rapport à un Evénement Redouté Central (ERC), suivant le schéma conceptuel connu sous le nom de « Nœud papillon ».

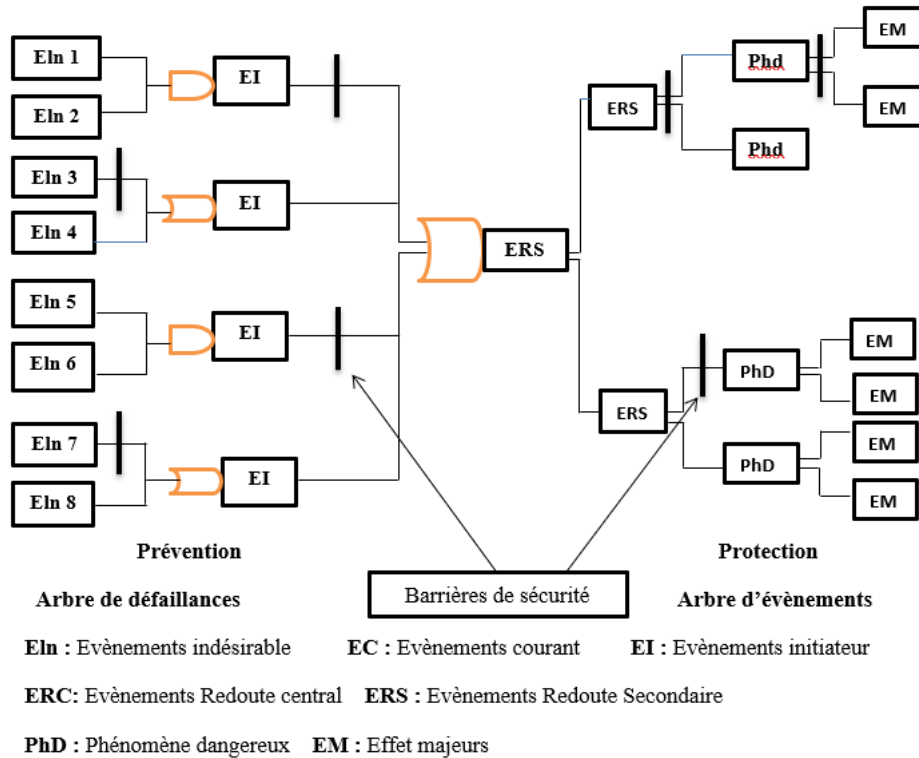


Figure 9. Schéma de nœud papillon.

La partie gauche du nœud représente l'identification des dangers, des causes possibles d'accident, et des divers enchaînements ou combinaisons par l'arbre de défaillances. Entre ces causes possibles et l'accident, des barrières dites de prévention doivent être installées.

La partie droite du nœud représente les conséquences possibles de l'accident par arbre d'événement. Par exemple, lors de la rupture d'une canalisation ou d'une brèche dans un réservoir, il peut en résulter la formation d'une flaque ou d'un nuage. Entre cet accident et les récepteurs, des barrières de protection doivent être installées pour réduire les effets sur ces récepteurs (ex. : un système de gicleurs) [29] .

I.3.4.3. Objectif de Nœud papillon

Concrètement cette approche permet de [30] :

- Représenter les relations entre les dangers, leurs causes et leurs effets ;
- Évaluer la contribution de chaque cause et la gravité de chaque risque ;
- Positionner des barrières de prévention et de protection ;

- Évaluer les facteurs aggravants diminuant l'efficacité des barrières ;
- Évaluer la robustesse et la contribution des barrières à l'atténuation des risques ;
- Évaluer l'impact de ces barrières sur la cotation générale du risque.

I.3.4.4. Exemple de nœud papillon

Afin d'illustrer la méthodologie du nœud papillon quantifié, un cas simplifié avec pour événement redouté « rupture d'un bras de dépotage d'un wagon de gaz liquéfié » est étudié

Présentation du nœud papillon simplifié : Cette présentation simplifiée a pour intérêt de visualiser rapidement les différentes conséquences liées à un même événement redouté. Son inconvénient est de ne pas permettre une présentation exhaustive de l'ensemble des conséquences suivant que les mesures de mitigation remplissent, ou non, leurs fonctions de sécurité [31].

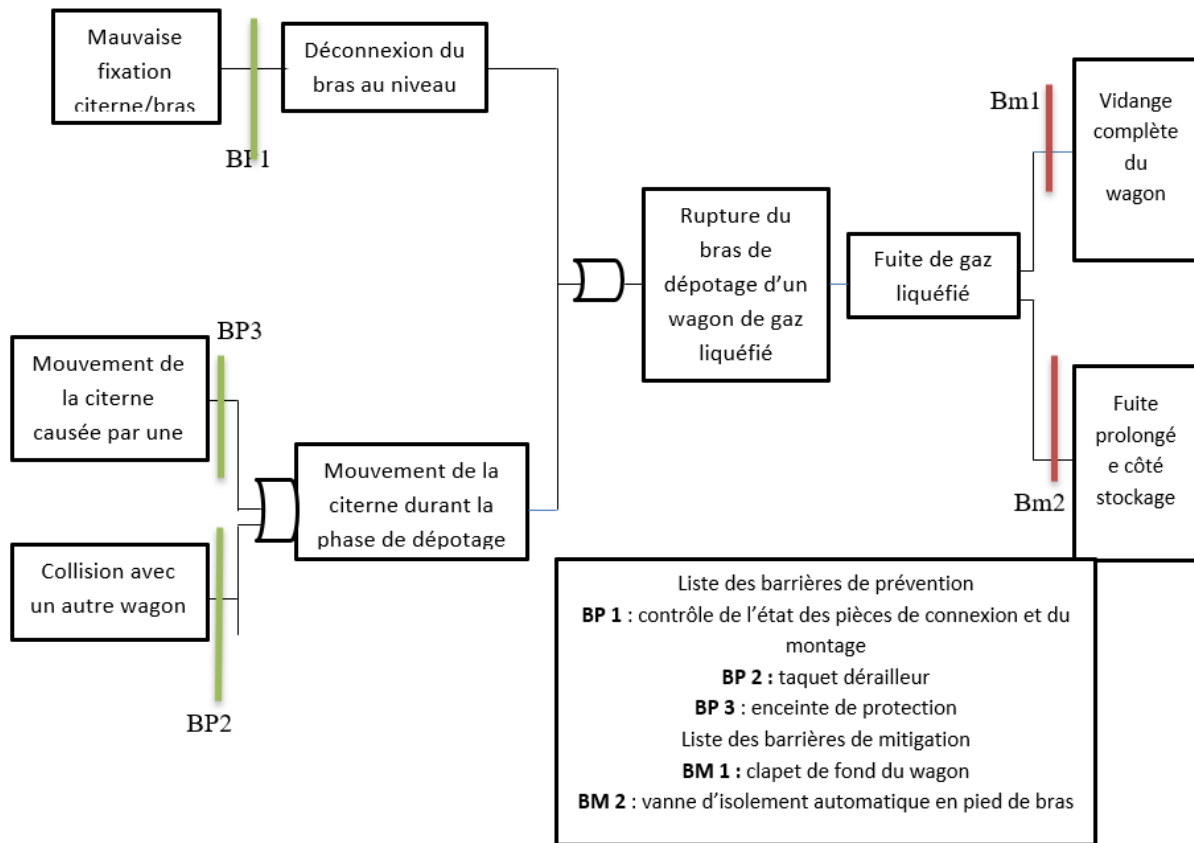


Figure 10. Un exemple de la méthode nœud papillon.

I.3.4.5. Les limites et les avantages

Le Nœud Papillon offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées. De ce fait, cet outil met clairement en valeur l'action des barrières de sécurité s'opposant à ces scénarios d'accidents et permet d'apporter une démonstration renforcée de la maîtrise des risques. En revanche, il s'agit d'un outil dont la mise en œuvre

peut être particulièrement coûteuse en temps. Son utilisation doit donc être décidée pour des cas justifiant effectivement un tel niveau de détail [32] .

1.3.5. Réseaux Bayésiens

1.3.5.1. Définition RB

Les réseaux bayésiens sont des outils mathématiques reposant sur la théorie des probabilités et la théorie des graphes. Ce sont des modèles graphiques probabilistes qui permettent de représenter intuitivement la distribution d'un ensemble de variables aléatoires. Ils représentent graphiquement loi jointe d'un ensemble de variables aléatoires, exploitant la relation d'indépendance conditionnelle entre ces mêmes variables aléatoires [33] .

1.3.5.2. Construction d'un graphe

Plusieurs étapes sont à considérer dans la construction d'un réseau bayésien :

- Identification des variables et de leurs espaces d'états ;
- Définition de la structure du réseau bayésien ;
- Définition de la loi de probabilité conjointe des variables.

La première étape est l'identification de variables et pour chaque variable l'ensemble de ses valeurs possibles, pour cette étape l'intervention des experts du système est toujours nécessaire, La deuxième étape est la définition de la structure du réseau bayésien, trouver les liens d'influence entre les variables tout en s'assurant qu'il n'y a pas de boucle ou cycle, La dernière étape vise la création des tableaux de probabilités pour les variables, soit de variables sans parentes pour lesquelles des probabilités marginales doivent être définies, soit de variables qui ont de variables partantes et, dans ce cas, de probabilités conditionnelles sont définies [34] .

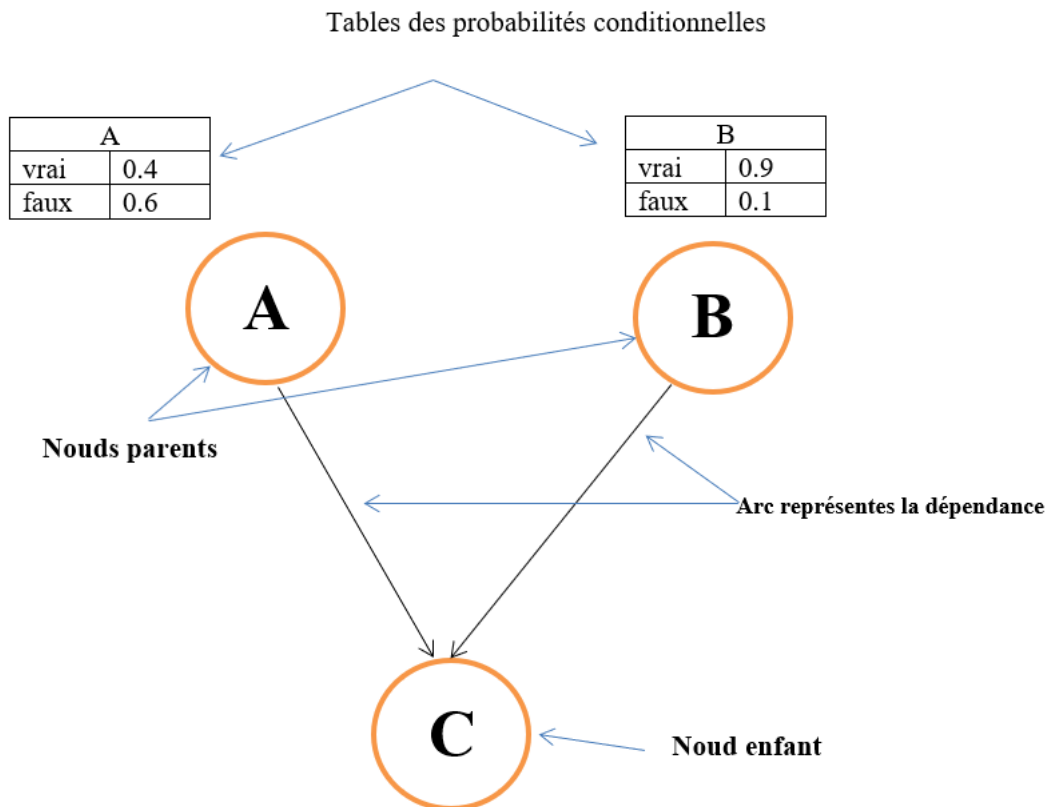


Figure 11. Les différents éléments du RB.

1.3.5.3. Principe du calcul bayésien

Le fondement des réseaux bayésiens s'appuie sur le théorème de Bayes, qui peut s'exprimer par les équations suivantes [28] :

$$P(A|B) P(B) = P(A \cap B) = P(B|A) P(A) \quad (1.9)$$

- Le terme $P(A)$ est la probabilité a priori de A, appelée aussi probabilité marginale de A ; elle est antérieure au sens qu'elle précède toute information sur B ;
- Le terme $P(A|B)$ est appelé la probabilité a posteriori de A sachant B (ou encore de A sachant B). Elle est postérieure, au sens qu'elle dépend directement de B ;
- Le terme $P(B|A)$, pour un B connu, est appelée la fonction de vraisemblance de A ;
- Le terme $P(B)$ est appelé la probabilité marginale ou a priori de B.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)} \quad (1.10)$$

La puissance du théorème de Bayes permet d'inverser les probabilités. C'est-à-dire que si l'on connaît les conséquences d'une cause, l'observation des effets permet de remonter aux causes.

1.3.5.4. Exemple d'un réseau bayésien

L'exemple suivant figure 12 représente le raisonnement que l'on peut faire sur une machine dans un atelier. Cette machine est arrêtée en moyenne dans 5% des cas pour différentes raisons (maintenance, panne, etc.). Mais, cette machine est également arrêtée lors d'une panne de courant (ce qui se produit environ 1 fois tous les 100 jours). Près de la machine se trouve une lumière qui est toujours allumée, exceptée lorsque l'ampoule grille (ce qui se

produit environ dans 1% des cas), ou bien lorsqu'il y a une panne de courant. On peut alors grâce à ces données remplir les différentes tables de probabilités conditionnelles. Ces tables permettent de formaliser de manière simple les distributions de probabilités conditionnelles associées à chaque variable en fonction de ses parents. Dans cet exemple, les tables de probabilités conditionnelles sont visibles à côté des nœuds représentés [28].

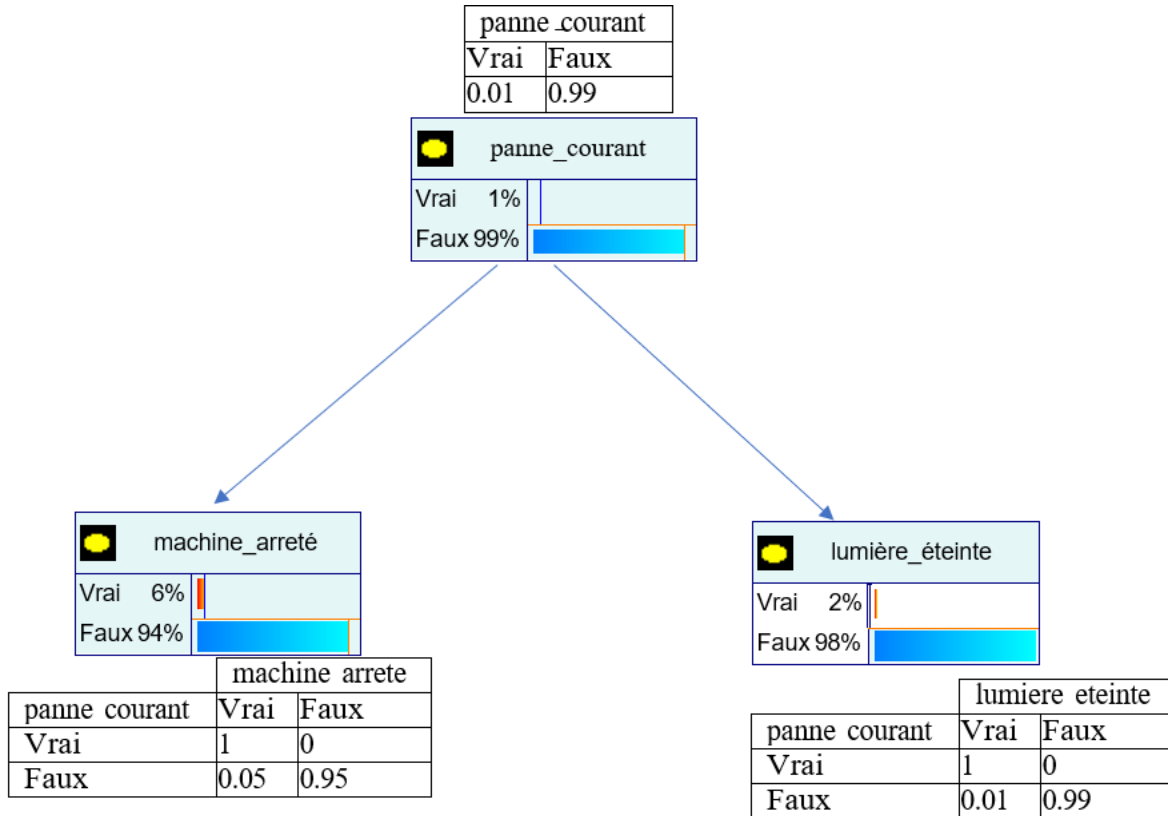


Figure 12. Exemple de réseau bayésien classique.

1.3.5.5. Conversion d'un graphe nœud papillon en réseau bayésien

Avant de convertir le Nœud papillon en RB, il est d'abord nécessaire de connaître comment convertir l'arbre des défaillances et l'arbre des événements en RB. Pour l'arbre des défaillances, la partie gauche de la Figure 6 montre la conversion d'une porte OU et d'une porte ET en nœuds équivalents dans la topologie bayésienne. Les nœuds parents A et B se voient attribuer des probabilités préalables coïncidant avec les valeurs de probabilité attribuées aux nœuds de base correspondants dans l'arbre des défaillances et le nœud enfant C se voit attribuer sa table de probabilités conditionnelles. Étant donné que les portes OU et ET représentent des relations causales déterministes, toutes les entrées correspondantes de la table sont des valeurs 0 ou 1 [28].

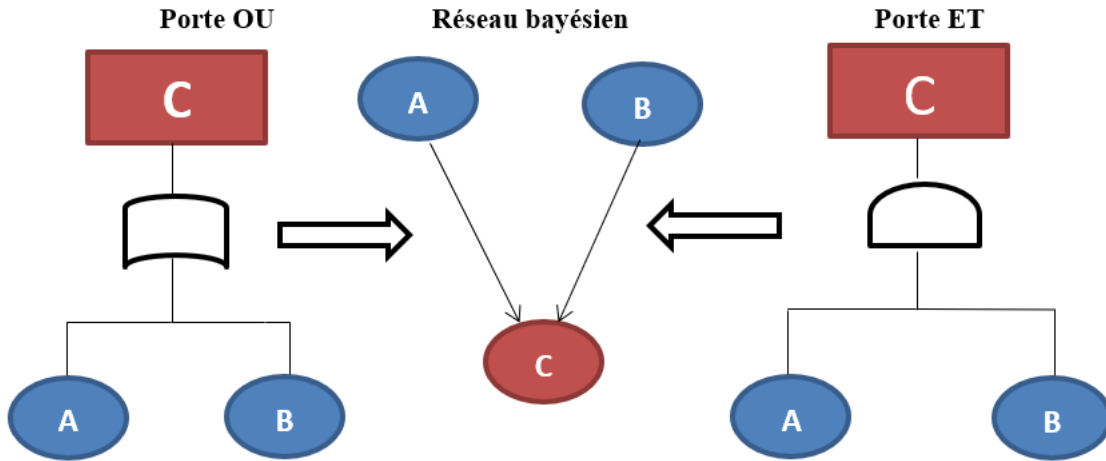


Figure 13. Conversion graphique d'un Add en RB.

Pour l'arbre des événements, chaque barrière de sécurité est représentée par un nœud de sécurité ayant deux états, l'un pour l'échec et l'autre pour le succès la barrière de sécurité. De même, un nœud de conséquence ayant autant d'états que le nombre de conséquences de l'arbre des événements est ajouté au réseau.

Une fois que les représentations bayésiennes équivalentes de l'arbre de défaillance et de l'arbre des événements sont développées, elles sont connectées l'une à l'autre via l'intermédiaire du nœud pivot, équivalent de l'Événement Redouté Central. Cependant, le nœud pivot est connecté aux nœuds des conséquences, la Figure ci-dessous montre le logarithme simplifié de conversion d'un graphe nœud papillon en réseau bayésien [28].

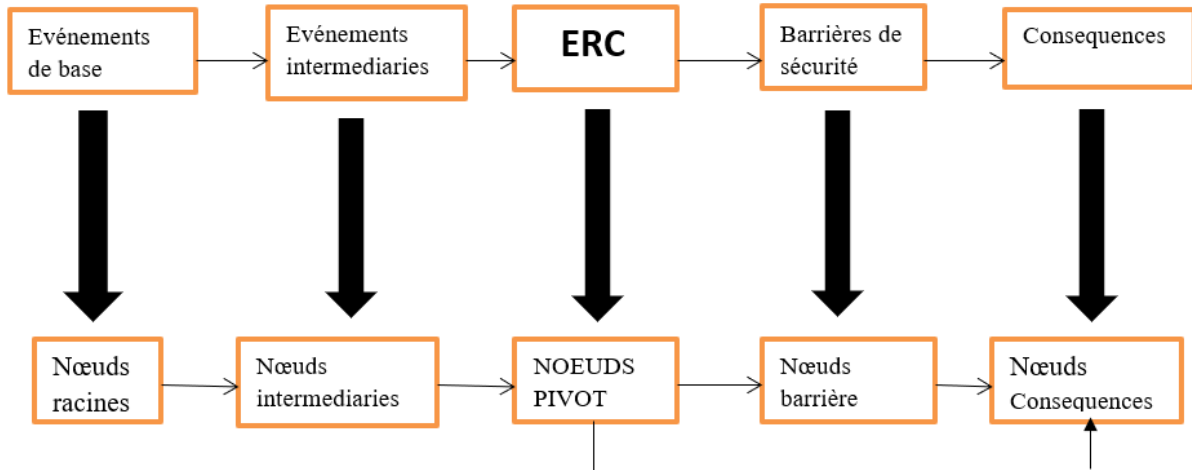


Figure 14. Algorithme simplifié de transposition d'un graphe nœud papillon en réseau bayésien.

I.4. Conclusion

Les accidents graves et catastrophiques sont les principaux catalyseurs pour que les décideurs et le grand public se concentrent sur l'évaluation de la sécurité et des risques.

Nous avons vu dans ce chapitre les méthodes de d'analyse et d'évaluation des risques, celles-ci permettent une identification systématique des composantes du risque, les différentes situations dangereuses, les évènements redoutés, les causes, les conséquences, ou les accidents potentiels, tous ces éléments sont identifiés d'une manière méthodologique.

L'analyse des risques quantitatifs (QRA) émerge comme une démarche cruciale dans la gestion des risques industriels, offrant une perspective approfondie et chiffrée des dangers potentiels. Grâce à des méthodes telles que l'analyse des arbres de défaillance (AdD), la QRA permet d'évaluer de manière systématique les scénarios critiques, offrant ainsi aux décideurs les informations nécessaires pour prendre des décisions éclairées. En adoptant une approche proactive, la QRA contribue à renforcer la sécurité des installations industrielles, à minimiser les risques et à favoriser une culture de gestion des risques efficace. Cette méthodologie demeure indispensable pour assurer la durabilité, la résilience et la sécurité des opérations industrielles dans un contexte complexe et dynamique.

**Chapitre 2 : analyse et évaluation des risques d'un four rebouilleur
dans un procédé de traitement de gaz.**

II.1. Introduction

Dans une société de plus en plus sensible aux notions de sécurité et de développement durable, les entreprises ont le souci d'éviter les dangers pouvant induire incendies, explosions et autres rejets de matières dangereuses, sources de dommages pour les personnes, l'environnement ou les biens. Ainsi, ont-ils l'inventaire des risques, de leurs natures, établissent-ils les mécanismes qui peuvent conduire au déclenchement d'accidents et estiment-ils leurs conséquences et la fréquence à laquelle ils sont susceptibles de survenir. Les risques traduisent à la fois la gravité du dommage et la fréquence d'occurrence de l'événement dangereux. Les échelles de gravité comportent plusieurs niveaux qui sont évalués en fonction des conséquences de l'événement dangereux sur les Personnes, l'environnement et les biens. De même, un certain nombre de niveaux est fixé pour la Probabilité ou la fréquence d'occurrence de l'événement dangereux. Une fois le niveau de risque Évalué, l'entreprise cherchera à le ramener sous un seuil acceptable [4] .

Les moyens à mettre en œuvre pour réduire les risques sont nombreux et variés, la conception du procédé, le choix des équipements participent en premier lieu à la réduction du risque. On peut aussi agir sur le système de contrôle commande du procédé, en prévoyant par exemple des redondances et des solutions de repli en cas de dysfonctionnement. Ces approches ne sont pas toujours suffisantes. Pour réduire encore les risques, il faut prévoir des systèmes de sécurité. Ceux-ci entrent en action lorsque le procédé se trouve dans des conditions anormales de fonctionnement et qu'une situation dangereuse risque de se développer [28].

Ce chapitre est consacré à l'analyse des risques liées à l'exploitation du système « Four rebouilleurs - unité de traitement de gaz, champ HASSI R'MEL », partie retenue pour notre étude.

II.2. Description générale du champ de Hassi R'Mel

L'Algérie est classée parmi les plus grands pays exportateurs de gaz naturel et possède l'un des plus grands gisements mondiaux de gaz naturel et qui se situe à Hassi R'Mel

II.2.1. Situation Géographique et climat de Hassi R'mel

Le gisement de Hassi R'Mel est situé à 525km au sud d'Alger, entre les Wilayas de Ghardaïa et Laghouat

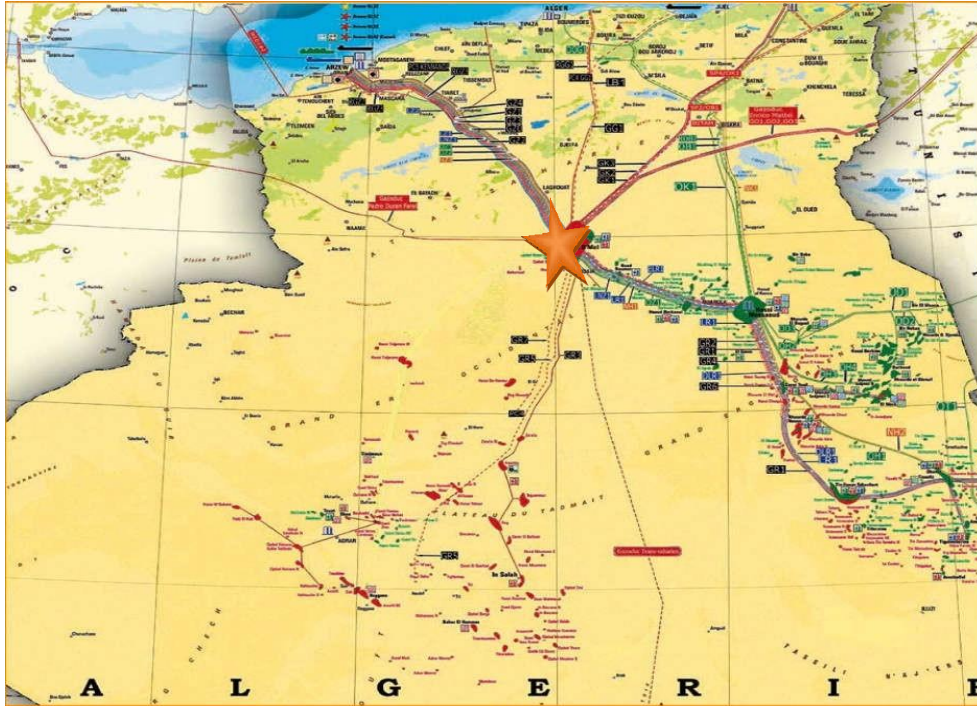


Figure 15. Situation géographique du champ de Hassi R'mel.

Le climat est caractérisé par une faible pluviométrie (140 mm/an) et une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. Les amplitudes thermiques sont importantes et la température variante entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en hiver, et $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ en été. Les vents dominants sont de direction Nord-Ouest.

II.2.2. Présentation de région de Hassi R'mel

L'évolution économique nationale a été essentiellement basée sur l'exploitation des hydrocarbures. Les responsables de l'état, dès la nationalisation de ces sources ont donné une très grande importance à l'exploitation des hydrocarbures dans les différentes régions du pays dont les réserves sont importantes.

La SONATRACH division production de Hassi R'mel, s'occupe de l'exploitation du gaz et d'huile dans la région. Le gisement de Hassi R'mel, est situé sur une plateforme saharienne, près de la bordure nord orientale du Sahara au sud et le pleur de l'atlas au nord à 600 km au sud d'Alger, cette région est très vaste, sa superficie est de 3 150 km² C'est un gisement de gaz à condensât, ses réserves sont considérées parmi les plus grandes réserves du monde, le méthane constitue la plus grande proportion bien qu'il comprenne d'autres composants lourds.

II.2.3. Présentation des secteurs de Hassi R'mel

Les quatre unités 1, 2, 3 et 4 de traitement du gaz ont une capacité de 80 millions m³ / jour chacune. Cependant le module 0 a une capacité de 30 millions m³ / jour et Djebel Bissa de 6 millions m³ / jour. Les deux centres de compression Nord et sud sont conçus pour la réinjection du gaz sec dans des puits injecteurs pour faire entraîner Les lourds (la richesse) et réinjections du gaz de vente, gaz pour les GNL en cas de problème ou révision des unités. Un autre poste de compression qui est appelé Boosting est actuellement en service, il est conçu pour augmenter la pression d'entrée du gaz des modules de traitement du gaz afin d'assurer l'exploitation continue du champ du gaz.

Secteur centre : Comporte les modules 0, 1 et 4, le centre de stockage et de transfert par facilité (CSTF) et le centre national de dispatching de gaz (CNDG).

Secteur nord : Comporte le module 3 et la station de compression nord (SCN).

Secteur sud : Comporte le module 2, la station de compression sud (SCS), le centre de traitement de gaz CTG de Djebel-Bissa et le centre de traitement de gaz CTG de Hassi R'mel sud.

II.2.3. Structure de la Direction Régionale

Le développement du champ de Hassi R'mel a nécessité des moyens humains et matériels considérable et pour maintenir la production dans les meilleures conditions tout en assurant la sécurité des travailleurs différentes structure sont nécessaire à savoir :

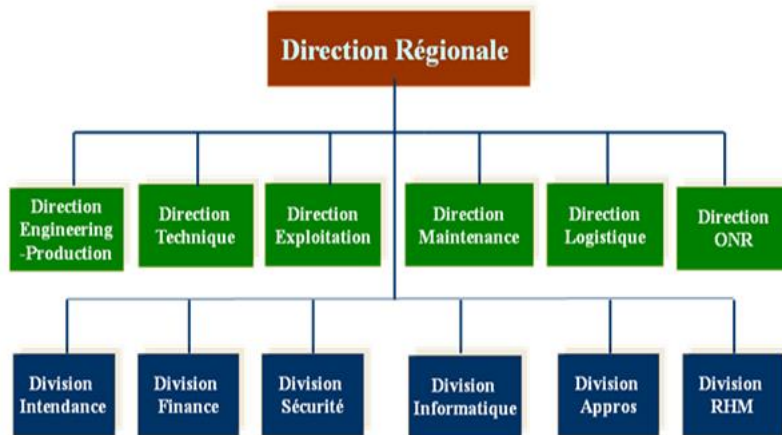


Figure 16. Structure de la Direction Régionale.

II.2.4. Description du Module 2

II.2.4.1. Présentation du module 2

Le module 2 est une usine de traitement du gaz naturel, situé au sud de Hassi R'mel à une distance de 23km du centre, mis en service en 1979.

L'usine MPP2 (Module Processing Plant 2) est un ensemble d'installations qui permettent de récupérer les hydrocarbures lourds (condensât et GPL) à partir du gaz brut, et de produire des gaz traités (gaz de vente ou de réinjection).

L'unité de traitement de gaz, Module 2, est constituée essentiellement de trois trains identiques d'une capacité de production de 20 millions m³ /jour de gaz chacun, chaque train comporte deux sections : section séparation à haute pression et section stabilisation et fractionnement. En plus des trois trains, il existe une section utilité et une section de glycol qui sont prévues pour assurer le fonctionnement du Module 2.

II.2.4.2. Description générale du process

Le gaz brut issu des puits est acheminé à travers des collecteurs au Module 4 en phase mixte sous des conditions de pression de 92 kg/cm² et température de 60 °C. A son entrée au train, le gaz est séparé en trois courants de mêmes débits à travers un appareil appelé diffuseur D001.

Ensuite chacun des trois courants est refroidi à travers l'aéro-réfrigérant E101 à la température 31 °C, après il passe à la première séparation dans le séparateur à trois phases D101 à 92 kg/cm². L'eau libre quittant le séparateur est drainée vers le séparateur huile / eau, tandis que les hydrocarbures liquides sont flashés à 32,03 kg/cm² et 30,3 °C dans le ballon séparateur riche en condensât D105.

Le gaz généré du séparateur à haute pression D101 est refroidi à travers les échangeurs Gaz-Gaz E102 et E103 de type tube - calandre à la température -10,1 °C, à ce niveau l'injection du glycol MEG à 80 % concentré est nécessaire pour éviter la formation des hydrates qui peuvent provoqués le bouchage des tubes du moment que le gaz est saturé en eau.

L'injection du MEG est assurée par des injecteurs, système de pulvérisation placé en amont des échangeurs à haute pression. Quittant les deux échangeurs, le Gaz est détendu une fois isenthalpiquement à travers la vanne Joule-Thomson (PRCV 108) à la température et pression -12,1 °C et 92 kg/cm², puis séparé des hydrocarbures liquides dans le ballon séparateur D102 et ensuite détendu une deuxième fois isentropiquement dans le turboexpander K101 côté turbine à la pression 70 kg/cm² et -25 °C.

Le gaz en fin de détente est séparé du condensât dans le séparateur D103 puis utilisé comme fluide réfrigérant du gaz chaud entrant les échangeurs E102, ainsi le procédé produit ses propres frigories et le système devient autonome. Le Gaz sortant de l'échangeur E102 à 25 °C du côté calandre, est comprimé à la pression 72 kg/cm² dans le Turbo-Expander K101 du côté compresseur.

Les hydrocarbures liquides résultants du flash dans les deux séparateurs D102, D103 sont flashées dans un séparateur froid D104 à basse pression à 34 kg/cm² et -32 °C, le gaz généré est mélangé avec celui du ballon de reflux du dé-ethaniseur D107 puis passe du côté calandre dans l'échangeur E103. A sa sortie, il est combiné avec du gaz issu du ballon basse pression D105 puis comprimé dans le compresseur des gaz à moyenne pression K002 à la pression de 75,1 kg/cm², ensuite injecté dans le circuit gaz de vente.

Elle constitue la dernière étape dans le procédé de traitement, elle a pour fonction de séparer et stabiliser le mélange GPL et condensât des entraînements des produits légers dans la colonne du dé-ethaniseur C101, ensuite fractionner le mélange en produits finis condensât et GPL dans la colonne du débutaniseur C102.

Après préchauffage dans l'échangeur d'alimentation du dé-ethaniseur E104, Celui-ci alimente la partie inférieure du dé-ethaniseur C101 comme (alimentation chaude), les liquides

provenant du D102 et D103 sont réunis dans le séparateur à basse pression D104, le liquide de ce dernier passe par un échangeur de reflux du déethaniseur E106 puis il alimente le 3eme plateau du déethaniseur (alimentation froide).

Les gaz de tête du C101 sont partiellement condensés dans l'E106, la partie condensée est retournée à la tête de C101 comme reflux. Le chauffage du liquide se trouvant dans la partie inférieure de C101 s'effectue dans le rebouilleur H101. Le C101 alimente le débutaniseur C102 par une charge constituée de GPL et condensât.

Une partie du GPL récupéré est utilisée comme reflux et l'autre partie est envoyée vers le CSTF. Le condensât passe par l'échangeur E104 avant d'être envoyé vers le système dégazage à travers le refroidisseur du condensât E107 puis il est expédié vers le CSTF.

Objectifs du procédé

Les principaux objectifs de l'unité de traitement de gaz MPP 2 (module 4) sont :

- Produire du gaz de vente à des spécifications requises.
- Maximiser la récupération du GPL et condensât en respectant les spécifications.

Notant que les spécifications sont issues d'un accord exprimé sous forme de contrat entre SONATRACH et ses clients et qui doit être respecté.

II.3. Application de la méthodologie proposée

II.3.1. Description du système four rebouilleur

Le four rebouilleur est considéré comme point névralgique dans les installations du champ HASSI R' MEL, l'équipement étudié est un rebouilleur de colonne, son rôle est d'apporter la chaleur nécessaire pour réchauffer un fluide en le portant à des niveaux de température élevés

Dans le champ HASSI R'MEL, les hydrocarbures liquides du fond de la colonne passe dans le rebouilleur à chauffage direct à travers de serpentins pour être chauffée de 145°C jusqu'à 180°C avant de le renvoyer vers la colonne comme reflux chaud afin d'extraire les gaz légers (gaz associés), voir figure ci-dessous.

Rôle du four : Celui-ci se présente sous la forme d'un four dans lequel du fuel gaz est brûlé pour réchauffer le liquide en pied passant dans un serpent.

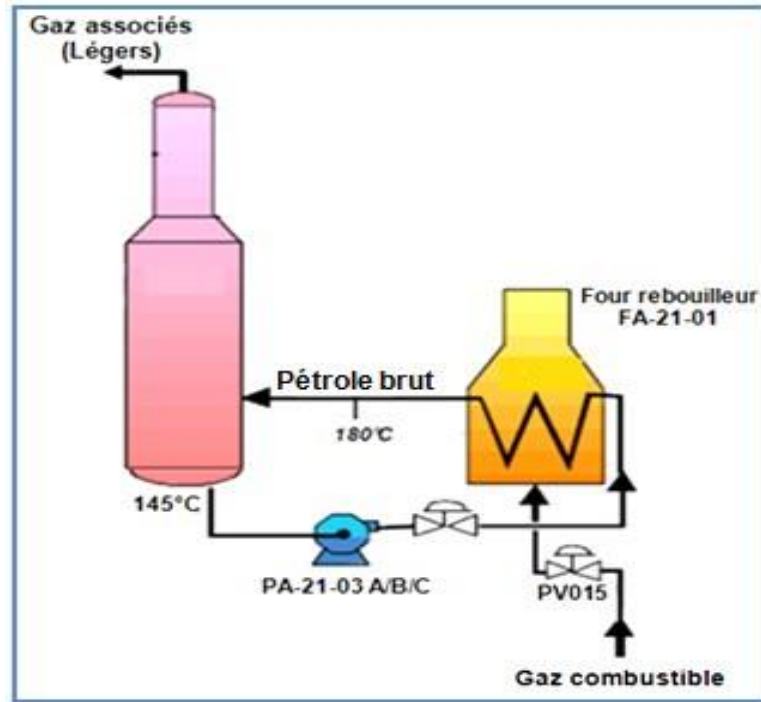


Figure 17. Schéma du procès, extraction gaz légers.

Constitution du four rebouilleur

Le four rebouilleur comprend :

Une zone de radiation : Constituant la chambre de combustion, garnie intérieurement de matériau réfractaire isolant, dans laquelle 112 tubes sont exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de combustion.

Une zone de convection : Éventuellement garnie, installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion. Elle est constituée d'un :

- Faisceau de tubes horizontaux (48 tubes)
- Cheminée d'évacuation des fumées

Un faisceau tubulaire : les faisceaux tubulaires sont des tubes droits, sans soudures, reliés entre eux par des coudes

- 16 pilotes et 16 les brûleurs

Accessoires : Tels que les portes d'accès, trappes d'explosion, thermocouples et connexions divers nécessaires au bon fonctionnement du four.



Figure 18. Four rebouilleur.

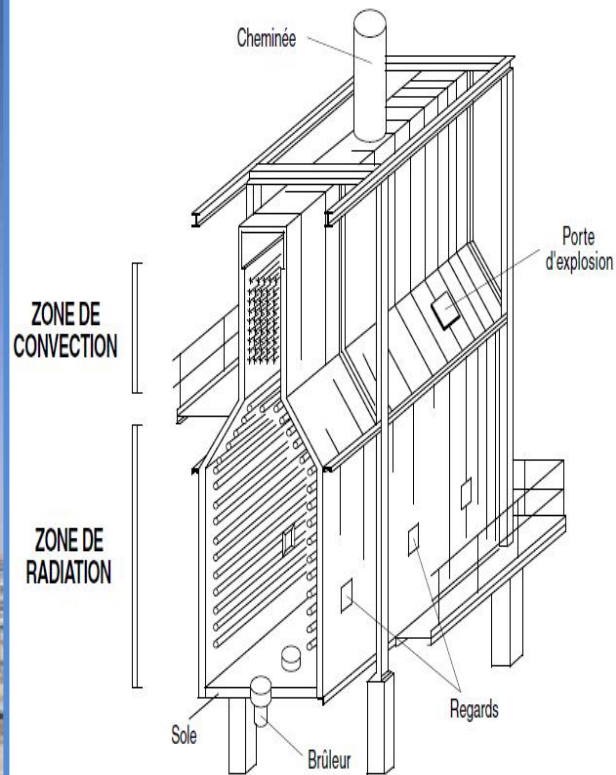


Figure 19. Composants d'un four.

II.3.2. Application HAZOP sur un système four rebouilleur

Cette partie est consacrée à l'application proprement dite de la méthode HAZOP sur un système « Four Rebouilleur » au niveau de l'unité CPF- Champ HA SSI R'MEL. Dans cette étape on s'inspire les différents composants des scénarios à partir des données trouvées et développées par HAZOP [IEC61882, 2001]. Cette méthode est appliquée dans le cadre d'un groupe de travail pluridisciplinaire exploitation, maintenance, HSE et technique, en se basant sur leurs retours d'expérience, pour un examen plus exhaustif des scénarios possibles, résultants des dérives de paramètres de fonctionnement du procès, voir tableau ci-après.

Tableau 4. Défaillance de HAZOP. [35]

SYSTEM ÉTUDIÉ : Four Rebouilleur H-101							
N°	Mot-guide	Élément	Déviatiion	Causes possibles	Conséquences	Moyen de prévention	Moyen de protection
1	PLUS	Vibration	Plus de vibration	Vibration du four : mauvais réglage du brûleur par erreur humaine par exemple.	Risque de rupture du four dû aux vibrations. Feu potentiel + blessure des opérateurs présents	1. opérateurs formés 2.Procédure opératoire 3. PIAH904 qui peut renseigner le mauvais réglage du four 4. Rondes des opérateurs qui détectent les vibrations de manière auditive et visuellement (état des flammes)	1. Rideau d'eau autour du four à déclenchement manuel 2. Etouffement à l'azote du four : procédure d'enclenchement manuelle depuis la salle de contrôle et sur place 3.Système Vide vite du four avec vanne manuelle déportée pour accessibilité en cas de feu. Vidange vers fosse de brûlage. 4.Moyen de lutte Incendie 5.POI

SYSTEM ÉTUDIÉ : Four Rebouilleur H-101							
N°	Mot-guide	Élément	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Moyen de prévention	Moyen de protection
2	NE PAS FAIRE/MOINS	Débit d'air	Pas de débit d'air	Défaillance de l'opérateur: erreur manipulation de vannes manuelles CE-908V / 907V (Restez fermé)	Combustion incomplète, très élevée pression à l'intérieur de l'appareil de chauffage H-101, capable de provoquer une explosion et arrêt du processus	1. Alarme: PIAH-904 (C10 MILLIMÈTRES H2O) 2. Indicateur de pression 3. Opérateur humain 4. Explosion de l'événement	

SYSTEME ÉTUDIE : Four Rebouilleur H-101							
N°	Mot-guide	Élément	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Moyen de prévention	Moyen de protection
3	PLUS	Débit de gaz combustible	Plus de débit de gaz combustible	Vanne de fuel Gaz TIC109 du four défaillante et grande ouverte	Blessure des opérateurs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inspection régulière préventive de l'instrumentation 2. Vibration du four entendue par l'opérateur lors de sa ronde 3. Indicateur local et en salle de contrôle de delta p entre fond du four et sommet du four avec alarme en salle de contrôle 4. Indicateurs de débit FI 138, 139, 140, 141 localement repris lors de la ronde des opérateurs 5. TI 140-141-142- 143 qui donne la t° de peau des tubes du four en salle de contrôle 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Etouffement à l'azote du four : procédure d'enclenchement manuelle depuis la salle de contrôle et sur place 2. Rideau d'eau autour du four à déclenchement manuel 3. Moyen de lutte incendie 4. POI

4	NE PAS FAIRE/ MOINS	Débit de gaz combustible	Pas/ Moins de débit	Mauvais fonctionnement des vannes.	Pas de fuel gaz pour H-101, basse température à la sortie de H-101, passage possible de produit en OFF-SPEC	- PAL-126 - FRAL-142 - TRCA-109	
				Mauvais fonctionnement de la vanne.	Pas de fuel gaz pour H-101, basse pression de fuel gaz, basse température à la sortie de H-101, passage possible de produit en OFF-SPEC	- PAL-126 - PZL-127 - FRAL-142	
					Dégagement de fuel gaz en atmosphère, explosion possible & arrêt d'unité	- TRCA-109	

II.3.3. Nœud papillon technique

La construction de la technique du nœud papillon suit les mêmes règles de base que les méthodes AdD et AdE. Dans la partie gauche du graphique, le AdD commence par l'événement supérieur à travers les événements intermédiaires jusqu'à atteindre les événements de base en utilisant des portes logiques (porte ET/OU). Alors que le côté droit du nœud papillon correspond à AdE, qui commence par l'événement initiateur et suit les séquences d'événements pour atteindre les conséquences (événements de résultat) [36]. Nœud papillon combine les deux méthodes pour analyser un scénario d'accident. Le scénario que nous avons choisi est basé sur l'étude HAZOP de notre système. La figure ci-dessous représente le scénario de défaillance de four rebouilleur H101 [35].

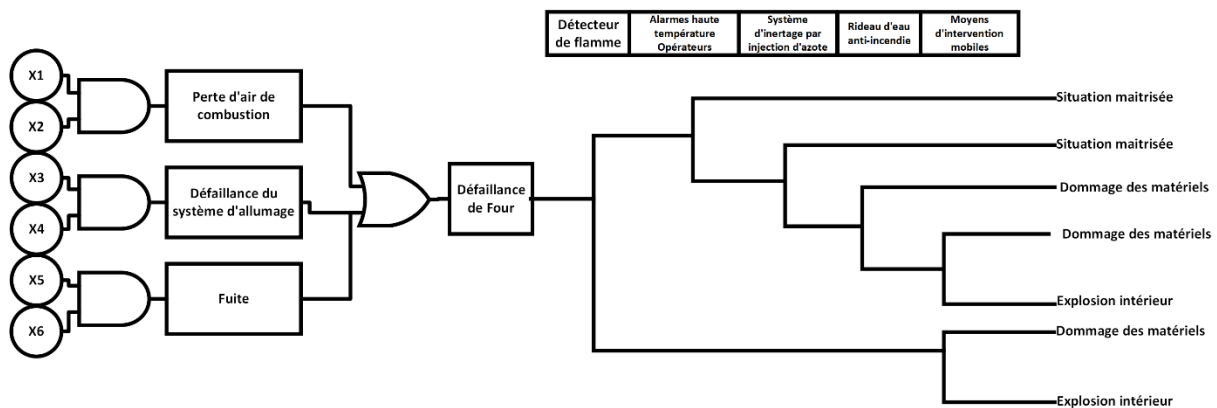


Figure 21. Nœud papillon du four H101.

Tableau 5. Les différents composants et leurs probabilités dans le four H101.

Symbol	Description	Probabilité de défaillance
X1	Réglage incorrect du brûleur du four (opérateur)	0.02
X2	Rupture de tube	0.088
X3	Sonde basse pression (FZL137/145) avec double bloc et purge	0.042
X4	Procédure de démarrage du four	0.07
X5	Programme d'inspection	0.05
X6	Alarmes de basse pression (PA 126/127) sur l'alimentation en gaz combustible avec double blocage et purge	0.0012

Tableau 6. Les barrières de sécurité et leur probabilité de défaillance.

Symboles	Description	Probabilité de défaillance
SB1	Détecteur de flamme	0.046
SB2	Alarmes haute température/opérateur	0.012
SB3	Système d'inertage par injection d'azote	0.065
SB4	Rideau d'eau de feu	0.04
SB5	Moyens d'intervention mobiles	0.05

II.3.4. L'application de la méthode Réseau bayésien RB

Utilisant l'algorithme de la figure 13 dans le chapitre 1, le RB du nœud papillon de la Figure 21 est construit et présenté dans la Figure 22. Les probabilités de défaillance et les symboles des événements de base sont représentés dans le tableau 04. Les différents barrières dans le diagramme du nœud papillon ont été placés dans le tableau 05. Les résultats des conséquences et de l'événement redouté du RB sont similaires à l'analyse nœud papillon, comme indiqué dans le tableau 06. De la figure 22, on peut remarquer que les relations entre les barrières de sécurité est considéré comme des arcs entre la première barrière et la barrière qui la suite, ce qui ne peut pas être incarné dans nœud papillon.

Tableau 7. Les résultats de RB pour l'évènement redouté et les conséquences.

Événement/conséquence	Probabilité/Fréquence
Défaillance du four	0.0047545
Situation Maitrisée	0.99948646
Dommages matériels	0.00030479
Explosion interne	0.00020875

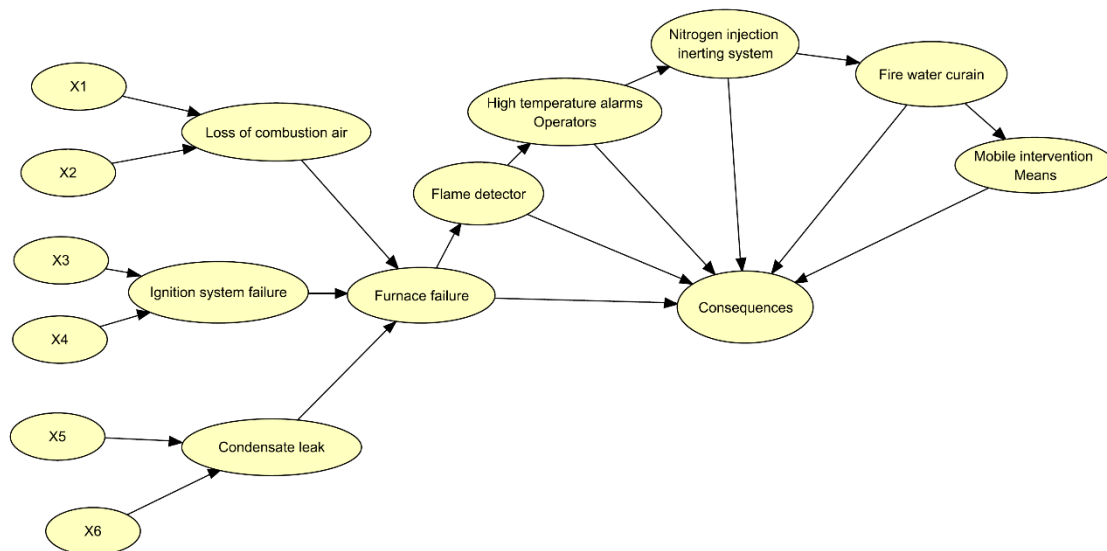


Figure 22. RB du scénario défaillance de Four H101.

II.3.5. Caractéristiques de RB par l'analyse à posteriori

Utilisant l'analyse à posteriori par le RB, on peut trouver les causes racines de l'accident et même d'investiguer le fonctionnement et l'importance de chaque barrière dans la mitigation de l'accident [35]. Considérons que la conséquence " **Explosion interne**" se produire, nous prenons $P(\text{EdB et SB/ Explosion interne}) = 1$ et calculons les probabilités des événements de bases (EdB) et les barrières de sécurités (SB). Le tableau ci-dessous représente les probabilités a posteriori de chaque événement et barrières. Les résultats de la modélisation est représenté dans le tableau 09 et la figure 24. De la figure 24, on peut remarquer que les causes principales de l'accident sont la défaillance de " **Sonde basse pression (FZL137/145)**"

avec double bloc et purge" et l'erreur de " Procédure de démarrage du four" . De la même figure, les barrières de sécurité les plus importants sont "détecteur de flamme", " Système d'inertage par injection d'azote" , et " Moyens d'intervention mobiles" .

Tableau 8. Les probabilités a posteriori des EdBs et SBs.

Symbol	Probabilité a priori	Probabilité a posteriori
X1	0.02	0.3817
X2	0.088	0.4246
X3	0.042	0.6333
X4	0.07	0.644
X5	0.05	0.062
X6	0.0012	0.0137
SB1 : Detecteur de flamme	0.046	0.9971
SB2 : Alarmes haute température / opérateur	0.012	0.0042
SB3 : Systèmed'inertage par injection d'azote	0.065	0.9994
SB4 : Rideau d'eau incendie	0.04	0.005484
SB5 : Moyens d'intervention mobiles	0.05	1

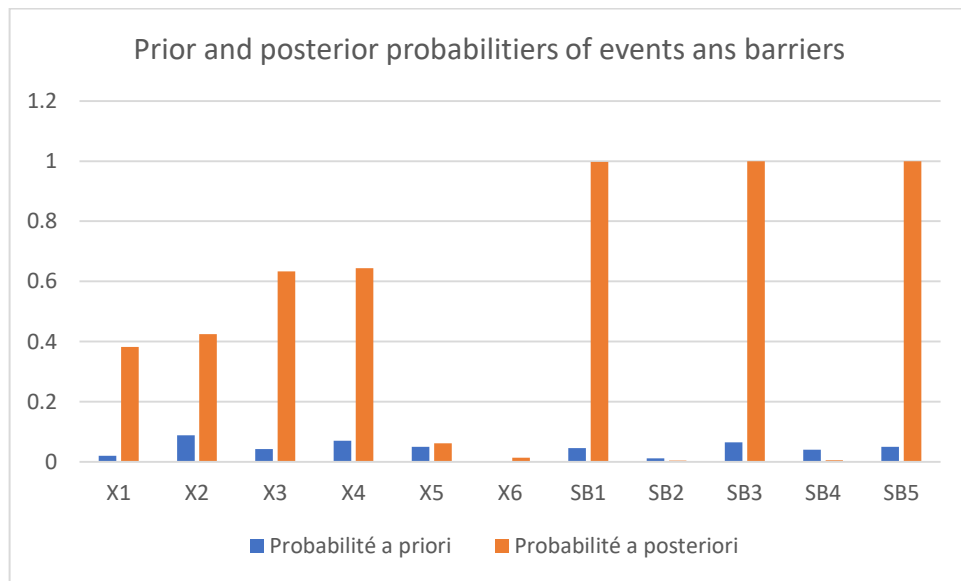


Figure 23. Les probabilités a priori a posteriori des EdBs et SBs.

Une autre caractéristique du RB est le "Most probable explanation" (MPE) ou La configuration la plus probable ou l'explication la plus probable dans RB représente l'état le plus probable de toutes les variables compte tenu de l'occurrence de l'accident(dans notre cas c'est Internal explosion). Le MPE aide à identifier les combinaisons faibles [35]. En utilisant le concept d'explication le plus probable, l'état le plus probable compte tenu de la survenance de l'accident est celui correspondant à la survenance des événements primaires X3 et X4 et les barrières SB1 et SB3 et à la non-survenance des autres événements primaires et barrières avec un eprobabilité de 0.52, comme indique la figure 24.

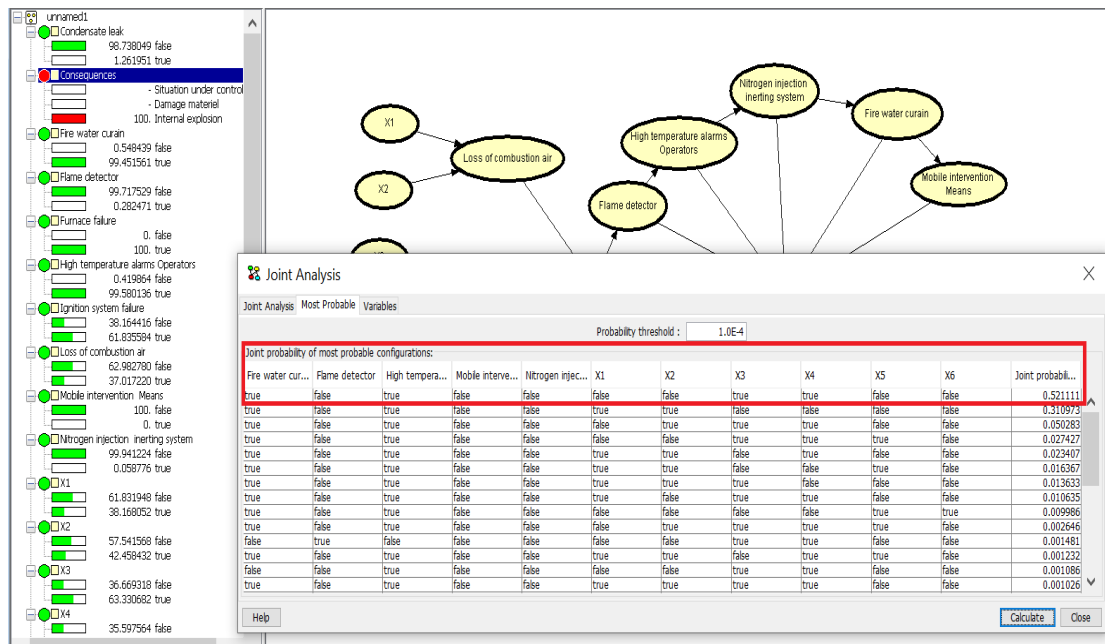


Figure 24. Calcul de MPE utilisant Hugin Lite.

II.4. Conclusion

Notre étude dans ce chapitre qui nous l'avons effectuée au niveau de la station de module 2 de Hassi R'mel était très bénéfique car elle nous a permis de nous interroger sur des scénarios attendus en cas de défaillance du four. L'objectif essentiel de notre travail ici c'est l'analyse et évaluation des risques du système de four rebouilleur.

Nous avons appliqué la méthode HAZOP pour découvrir les causes et les conséquences causées en cas de défaillance du four et transposition d'un graphe nœud papillon en réseau bayésien pour l'évaluation des risques afin de connaître les événements de basse dans le four qui provoquent l'explosion en cas de défaillance et les barrières de sécurité qui jouent un rôle important dans la protection du four contre l'explosion et nous avons supposé que l'explosion s'est produite pour connaître la configuration la plus probable à une explosion grâce aux caractéristiques du réseau bayésien .

Dans ce but et grâce aux méthodes d'analyse et d'évaluation des risques, nous avons réalisé cette étude avec la contribution de donner une solution technique pour protéger le four, les mesures proposées suivant :

- ✓ Nous avons choisi un système d'étouffement à CO2 dans lequel chaque four est protégé séparément par un ballon de stockage CO2 , afin d'avoir une protection sélective pour chaque équipement en cas de feu ;

- ✓ Il est possible d'installer un détecteur de sismomètres le four de sorte que lorsqu'il atteint une vibration inadmissible, il envoie un signal à l'unité de contrôle ;
- ✓ Il est également possible d'installer un capteur d'air dans le four afin qu'il mesure le pourcentage d'air dans la chambre de combustion pour ajuster le pourcentage de gaz pour une combustion complète ;
- ✓ Un plan de maîtrise a été suggérer, sur le plan de prévention nous avons proposé de doubler les équipements de sécurité (les indicateurs de contrôle), vérification périodique des systèmes de détection, sensibilisation et formation de personnel, la surveillance et vérification périodique.

En fin, nous concluons que l'augmentation de la protection de four H101 est une opération à priorité indiscutable et ce, afin de minimiser les risques majeurs et assurer la sécurité du personnel et des installations.

Conclusion générale

Le four d'une façon générale contient une variété de risques tels que l'explosion et l'incendie là nous a amené à s'intéresser à la découverte des causes et des effets ainsi le niveau de gravité de ces phénomènes dangereux afin de déterminer les mesures de prévention et d'intervention adaptées.

Ce mémoire constitue un compte rendu du sujet proposé au cours de notre stage de mise en situation professionnelle. Notre projet de fin d'étude portait sur analyse et évaluation des risques du four rebouilleur H101 faisant partie d'une unité de traitement de gaz naturel à SONATRACH, Hassi R'mel.

Cette étude nous a permis d'identifier en grande partie le scénario de l'accident et ses causes. Le scénario qui a mené à l'apparition de la conséquence est ce qui s'est réellement passé dans notre étude de cas. En conséquence, nous affirmons l'application du RB afin d'éviter toutes les causes conduisant à l'apparition d'un feu et d'une explosion.

Les conclusions suivantes sont tirées :

- ✓ Tous les experts de l'entreprise devraient appliquer la méthode bayésienne d'analyse et d'Évaluation des risques tous les équipements industriels afin qu'elle permette de déterminer de manière significative le scénario d'accident ;
- ✓ L'approche proposée montre que la démarche bayésienne est démontrée comme une méthode flexible et efficace pour estimer la probabilité ;
- ✓ L'approche peut être utilisée pour effectuer des investigations qui peuvent fournir des informations précieuses au décideur pour améliorer les performances en matière de sécurité des équipements industriels

Références

Bibliographie

- [1] F. DANIELLOU, «FACTEURS HUMAINS ET ORGANISATIONNELS DE LA SÉCURITÉ INDUSTRIELLE,» 2010.
- [2] A. Khelif, «La réforme du secteur des Hydrocarbures en Algérie,» 1999.
- [3] n. Choucha, Traitement et industrie du gaz naturel, 2022.
- [4] J. Isabelle, «ETUDES DE FIABILITE PAR SIMULATION ELECTRONIQUE RAPIDE. REALISATION D'UN,» 1991.
- [5] F. K. a. P. A. N. Khakzad, «Dynamic safety analysis of process systems by mapping bow-tie into Bayesian network,» 2012.
- [6] M. h. sellami, Procédés de traitement du gaz, 2015.
- [7] M. ROYER, HAZOP : une méthode d'analyse des risques - Présentation et contexte, 2020.
- [8] F. SF6, La méthode HAZOP.
- [9] L. FROQUET, Contribution à l'analyse des risques : Proposition d'une, france, 2005.
- [10] K. a. B. MILWAUKEE.D, «Sécurité fonctionnelle dans l'industrie des procedes principes,norme et mise en oeuvre,» 2013.
- [11] MAZOUNI.M, «Pour une Meilleure Approche du Management des Risques : De la modilisation ontologique de processus accidentel,» 2008.
- [12] K. a. MEDJDOUB.J, «Analyse de la Surete de Fonctionnement pour la Maitrise des Risques de la Chaudiere de Tchín-Lait,» Université Abderrahmane Mira,» 2013.
- [13] FROQUET.L, «Contribution à l'analyse des risques : Proposition d'une méthode par scénarios et capitalisation de la connaissance,» Institut National Polytechnique de,» 2005.
- [14] M. Yves , «Arbres de défaillance , des caues et d'évenement,» *Environnement - Sécurité / Sécurité et gestion des risques*, 02 septembre 2020.
- [15] M. MEDKOUR, Diagnostic des défauts par la conversion d'un arbre de défaillance en, 2015.
- [16] Application à la fiabilité des théorèmes de probabilité.
- [17] M. K. Bachir, Application de l'arbre de défaillance, 2017.
- [18] M. hamaidia, 16 Mai 2022. [En ligne]. Available: <https://hsecourses.com/exploitation-dun-arbre-de-defaillances/>.
- [19] B.debray, «Methodes d'anayles des risques generes par une installation industrielle,» 2006.

Références

- [20] P. Moussa, «Diagramme de fiabilité et arbre de défaillance».
- [21] G. Peyré, Claude Shannon et la compression, 2010.
- [22] B. Nouh, «Etude et analyse des risques industriels,» 2019.
- [23] M. Bourarech, «Apport des techniques floues et possibilistes à l'analyse semi- quantitative des risques industrielle,» 2009.
- [24] «Prévention des Risques,» [En ligne]. Available: <https://www.previnfo.net/sections.php?op=viewarticle&artid=41>.
- [25] P. é. d. Fère-Champenoise, «Étude de dangers,» 2010.
- [26] I.-U. B. 2. Support de cours de l'unité U.F. 2.1 (Master 1 – HSST, «Analyse des risques par la AdE,» 2022.
- [27] M. Smail, «Modélisation et analyse de sûreté des systèmes par arbre de défaillance,» 2011.
- [28] A. Laurent, «Éléments d'évaluation dynamique quantitative des risques des procédés,» 2023.
- [29] Craime, «Les barrières de sécurité et le noeud papillon».
- [30] J. F. Takvorian, «Méthodologie d'atténuation des risques « Bowtie » ou « Noeud papillon »,» 29 Avril 2014. [En ligne]. Available: <https://www.infoqualite.fr/methodologie-dattenuation-des-risques-bowtie-ou-noeud-papillon/>.
- [31] O. IDDIR, «Nœud papillon : une méthode de quantification,» *Environnement - Sécurité | Sécurité et gestion des risques*, 02 septembre 2019.
- [32] «Prévention des Risques,» [En ligne]. Available: <https://www.previnfo.net/sections.php?op=viewarticle&artid=41>.
- [33] F. PETIET, «Réseau bayésien dynamique hybride : application à la fiabilité de systèmes à espaces d'états discrets,» 2019.
- [34] C. Chirca, «Un modèle de réseau bayésien pour la gestion des risques dans la gouvernance d'un centre de services informatiques,» 2014.
- [35] Z. Hamza and S. Hacene, «Reliability and safety analysis using fault tree and Bayesian networks,» 2019.
- [36] F. K. R. S. P. A. a. B. V. R. Ferdous, «Analyzing system safety and risks under uncertainty using a bow-tie diagram: An innovative approach,» 2011.
- [37] I. 62502, "INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION".
- [38] «Prévention des Risques,» [En ligne].
- [39] C. Pagetti, Module de sûreté de fonctionnement, France, 10 décembre 2012.
- [40] N. OUAZRAOUI, «Application des Techniques de l'Intelligence Artificielle aux Problèmes de

Références

Gestion des Risques Industriels,» Batna, 2014.

[41] F. K. a. P. A. N. Khakzad, «Quantitative risk analysis of offshore drilling operations,» 2013.

Résumé

L'amélioration continue des procédures de sécurité, en particulier dans le domaine des hydrocarbures, reste une préoccupation majeure depuis que des accidents se sont produits car elle reste l'une des principales causes du nombre croissant de victimes telles que décès blessures et évacuations , donc dans les travaux en cours nous essayons de mettre en évidence les moyens de développer un moyen d'évaluer les risques d'inflammation et d'explosion d'incendie au niveau du four, dont les causes et les conséquences sont analysées à l'aide du méthode HAZOP et Nœud papillon , d'autre part une analyse quantitative basée sur le Réseau bayésien est utilisée pour estimer la probabilité d'un accident indésirable .

Abstract

The continuous improvement of safety procedures, especially in the field of hydrocarbons, remains a major concern since accidents have occurred because it remains one of the main causes of the increasing number of victims such as deaths injuries and evacuations , so in the ongoing work we are trying to highlight ways to develop a way to assess the risks of ignition and fire explosion at the furnace level, the causes and consequences of which are analyzed using the HAZOP method and Bow Tie , on the other hand, a quantitative analysis based on the Bayesian network is used to estimate the probability of an undesirable accident.

الملخص

التحسين المستمر لإجراءات السلامة و خاصة في مجال المحروقات لا يزال مصدر قلق كبير منذ وقوع الحوادث حيث انها تظل واحده من الاسباب الرئيسية لتزايد عدد الضحايا مثل الوفيات والاصابات وعمليات الاجلاء ، لذلك في العمل الحالي نحن نحاول تسليط الضوء على سبل تطوير وسيلة لتقييم مخاطر حدوث اشتعال النار وانفجار على مستوى الفرن ،الاسباب والنتائج المترتبة عليها يتم تحليلها باستخدام HAZOP و نموذج NOEUD PAPILLON من ناحية ، و من ناحية اخرى يتم استخدام التحليل الكمي اعتمادا على شبكة بايز لتقدير احتمال وقوع الحادث الغير مرغوب ف

