

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCEN
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme **MASTER**
En: **Génie Civil**

Spécialité : **Voies et Ouvrages d'Arts**

Intitulé

**MANAGEMENT DES RISQUES PAR UNE APPROCHE
COMPARATIVE NŒUD PAPILLON Versus AGR :
CAS DES VIADUCS DE LA PENETRANTE
AUTOROUTIERE GHAZAOUET-TLEMCEN**

Présenté par

- **SEKIOUA Tarek**

- **MILOUDI Hadj Mohammed Eddine**

Soutenu devant le jury composé de

M. BENYELLES Z.	Maître assistant A	Président
M. ALLAL M. A.	Professeur	Encadrant
Mme BENACHENHOU K. A.	Maître de Conférence B	Encadrant
M. BENAMAR A.	Maître Assistant A	Examineur

Année académique: 2018-2019

Remerciements

Louange à Allah le Miséricordieux, de nous avoir ouvert les yeux et orienté vers le savoir, infime qu'il soit par rapport à l'immensité de sa science, et de nous avoir armé de courage et de persévérance pour mener à terme ce travail.

Nous tenons à adresser tous nos remerciements aux personnes qui nous ont aidé à la réalisation de ce travail.

En premier lieu nos plus sincères remerciements s'adressent à nos encadreurs, Mr ALLAL et Mme BENACHENHOU pour les directives précieuses et pertinentes sans lesquelles on n'aurait pu réaliser ce travail en toute confiance et reconnaissance.

Nous remercions vivement Mr BENAMAR qui nous ont fait l'honneur de juger et d'examiner notre recherche. Nous sommes également reconnaissant à Mr BENYELLES d'avoir aimablement accepté de présider le jury et d'évaluer notre travail.

Nos sincères remerciements s'adressent également aux services d'archives et bibliothèques, qui nous ont toujours bien accueilli et favorablement renseigné.

Nous devons évidemment un grand merci à nos familles: nos parents, sans leur soutien et leur encouragement, ce travail n'aurait pas vu le jour, qui ont toujours cru en nous et nous ont donné confiance, et enfin nos frères et nos sœurs, qui nous ont soutenu dans les moments les plus difficiles.

L'avènement d'un travail de recherche est souvent tributaire de tant de personnes qu'il est difficile de ne pas en oublier quelque uns. Nous adressons donc l'expression de notre gratitude, à tous ceux qui ont rendu possible l'achèvement de ce travail.

SEKIOUA Tarek

MILLOUDI Hadj Mohammed Eddine

Dédicaces

A nos chers parents

A nos familles

A nos frères et sœurs

A nos collègues

A la mémoire de nos grands parents

SEKIOUA Tarek

MILLOUDI Hadj Mohammed Eddine

Résumé

Ce mémoire est un modeste travail de recherche concernant le management des risques appliqué à un cas d'étude réel. La première partie de ce travail est une tentative de cerner le jargon et les quelques outils de management utilisés dans ce domaine dans le but de prévoir les risques qui peuvent surgir. Dans une deuxième partie, notre choix s'est porté sur deux outils de management parmi ceux qui ont été présentés et qui ont rarement été utilisés dans le secteur de la construction à savoir l'Analyse globale des risques et le Nœud papillon. Notre préoccupation majeure est de vérifier leurs applications dans le secteur des travaux publics ce qui nous aidera à déterminer leur compatibilité et leur performance. Pour ce faire, une comparaison sera faite à l'effet de cerner leurs avantages et inconvénients à même de déterminer celle qui présente les meilleurs délais pour leurs mises en œuvre.

Mots clés:

Risques, Nœud papillon, Viaduc, Evaluation, Analyse globale des risques

ملخص

هذه الأطروحة هي عمل بحثي متواضع حول إدارة المخاطر من أجل دراسة حالة حقيقية. الجزء الأول من هذا العمل هو محاولة لتحديد المصطلحات وأدوات الإدارة القليلة المستخدمة في هذا المجال من أجل التنبؤ بالمخاطر التي قد تنشأ. في الجزء الثاني، اخترنا أداتين للإدارة من بين الأدوات التي تم تقديمها والتي نادراً ما تستخدم في قطاع البناء وهي تحليل العام للمخاطر وعقدة الفراشة. يتمثل شاعرنا الرئيسي في التحقق من تطبيقاتهم في قطاع الأشغال العامة، مما سيساعدنا على تحديد مدى توافقها وأدائها. للقيام بذلك، سيتم إجراء مقارنة لتحديد مزاياها وعيوبها لتحديد أفضل وقت ممكن لتنفيذها.

الكلمات المفتاحية:

المخاطر، عقدة الفراشة، جسر، تقدير، تحليل العام للمخاطر

Abstract

This thesis is a modest research work on risk management for a real case study. The first part of this work is an attempt to identify the jargon and the few management tools used in this area in order to predict the risks that may arise. In a second part, our choice fell on two management tools among those that were presented and that were rarely used in the construction sector namely the Global Risk Analysis and the Bow Tie. Our major concern is to verify their applications in the public works sector which will help us to determine their compatibility. To do this, a comparison will be made to identify their advantages and disadvantages to determine the one that has the best lead time for their implementation.

Key words:

Risks, Bow tie, Viaduct, Assessment, Global risk analysis

Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces	II
Résumé	III
ملخص.....	IV
Abstract	V
Table des matières	VI
Table des illustrations	XI
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XII
Acronymes.....	XIV

Introduction générale

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre I: Terminologie et concepts

1. Introduction.....	4
2. Risque.....	4
2.1 Définition du risque.....	4
2.2 Risque-projet	5
2.3 Risque résiduel	5
3. Système.....	6
4. Scénario d'accident.....	7
5. Danger et menace	7
6. Evénements indésirés et redoutés	7
7. Situation dangereuse ou menaçante	8
8. Accident	8
9. Conséquences accidentelles	9
10. Management des risques	9
11. Processus de management des risques selon la norme l'ISO 31000.....	9
11.1 Etablissement du contexte	10
11.1.1 Analyse des environnements de l'organisme.....	10
11.1.2 Référentiel de gestion des risques	11
11.2 L'appréciation des risques.....	11

11.2.1	Identification des risques:	11
11.2.2	Analyse des risques	11
11.2.3	Evaluation des risques	11
11.3	Traitement des risques	12
11.4	Communication et concertation	13
11.5	Surveillance et revue	13
12.	Classification des méthodes d'analyse de risque:	13
12.1	Approche probabiliste	14
12.2	Approche déterministe.....	14
12.3	Typologie des analyses de risque	14
12.3.1	Analyses qualitatives	15
12.3.2	Analyses quantitatives.....	15
13.	Méthodes d'analyse de risque	15
13.1	L'Analyse Préliminaire de Risques	15
13.2	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets - AMDE /et de leur Criticité – AMDEC	16
13.3	Hazard and Operability Study (HAZOP)	17
13.4	Nœud papillon	18
13.5	What-If Analysis.....	18
13.6	Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes (MADS).....	18
13.7	Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques (MOSAR)	19
13.8	Arbre de causes	20
14.	Comparaison des méthodes d'analyse de risques étudiées	22
15.	Conclusion	24

Chapitre II: Méthode d'approche Nœud papillon
--

1.	Introduction.....	26
2.	Présentation de la méthode	26
3.	But de la méthode.....	27
4.	L'arbre de défaillance.....	28
5.	Le point central	29
6.	L'arbre d'évènements.....	30
7.	Les barrières de sécurité.....	30
7.1	Les barrières techniques	30
7.2	Les barrières humaines	32
7.3	Systèmes à action manuelle de sécurité	32

8. Principe de la quantification	34
8.1 Evaluation de la fréquence d'occurrence de l'événement redouté.....	34
8.2 Estimation des probabilités de défaillance	34
8.3 Evaluation des probabilités des phénomènes dangereux.....	34
9. Différents types de banques de données.....	34
9.1 Les banques de données d'accidentologie (non quantifiées)	34
9.2 Les banques de données quantifiées	34
9.3 Les banques de données de fiabilité	34
10. Etapes de la méthode	35
10.1 L'identification et caractérisation des potentiels de danger.....	36
10.2 La réduction des potentiels de danger	37
10.3 L'estimation des conséquences potentielles	37
10.4 L'évaluation préliminaire des risques.....	37
10.5 La sélection des systèmes critiques.....	38
10.6 L'étude détaillée de réduction des risques	38
10.7 La quantification des effets redoutés et calcul des distances à risques.....	39
10.8 L'évaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité.....	39
10.9 Acceptabilité du risque.....	39
10.10 L'établissement des plans de prévention.....	39
11. Limites liées à la quantification d'un nœud papillon.....	40
11.1 Imprécisions liées aux données d'entrée	40
11.2 Imprécisions en amont de l'événement redouté.....	40
11.3 Imprécisions en aval de l'événement redouté.....	40
12. Limite de la quantification des évènements redoutés à partir de banques de données	41
13. Domaines d'application	41
14. Conclusion	42

Chapitre III: Méthode d'approche Analyse globale des risques

1. Introduction.....	44
2. Présentation de l'Analyse Globale des Risques.....	44
3. Nature, but et logique de l'Analyse Globale des Risques	44
4. Processus de l'AGR.....	45
4.1 AGR système.....	45
4.1.1 La modélisation du système	46
4.1.2 Identification des risques	46

4.1.3	Cartographie des situations dangereuses	49
4.2	AGR scénarios	50
4.2.1	L'échelle de gravité.....	51
4.2.2	L'échelle de vraisemblance	51
4.2.3	L'élaboration des cartographies	54
A.	Diagramme de Farmer.....	54
B.	Diagramme de Kiviat	55
4.2.4	L'échelle de perte	56
4.2.5	L'échelle d'efforts	56
4.2.6	Evaluation des rapports coût-risque	57
4.3	Gestion des actions	58
4.3.1	Plan d'action de réduction des risques	58
4.3.2	Catalogue de paramètres de sécurité	60
5.	Domaines d'application	61
6.	Conclusion	61

Chapitre IV: Application des méthodes d'approches nœud papillon et AGR

1.	Introduction.....	63
2.	Présentation du projet	63
3.	Description des viaducs	66
4.	Application de la méthode d'approche Nœud Papillon.....	68
4.1	L'identification et caractérisation des potentiels de danger.....	69
4.1.1	Construction du nœud papillon.....	70
4.2	La réduction des potentiels de danger	75
4.3	L'estimation des conséquences potentielles	77
4.4	L'évaluation préliminaire des risques.....	79
4.5	La sélection des systèmes critiques.....	80
4.6	L'étude détaillée de réduction des risques	81
4.7	La quantification des effets redoutés.....	83
4.8	Calcul des distances à risques	84
4.9	L'évaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité.....	85
5.	Application de la méthode d'approche Analyse globale des risques.....	85
5.1	AGR Système	85
5.1.1	Modélisation du système	85
5.1.2	Identification des risques	87
5.2	AGR scénario	90

5.2.1	Risques initiaux.....	96
A.	Nombres de scénarios et répartitions des criticités.....	96
B.	Evaluation des risques résiduels.....	100
C.	Evaluation des résultats financiers.....	100
5.3	Gestion des risques	100
6.	Comparaison entre les deux méthodes AGR et Nœud papillon	101
7.	Conclusion	102
	Conclusion générale	104
	BIBLIOGRAPHIE	105

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1: Représentation d'un système et ses 3 composants	6
Figure 2: Schéma représentatif d'un scénario d'accident (DESROCHES et Al, 2016)	7
Figure 3: Schéma représentatif d'une situation accidentelle (DESROCHES et Al, 2003)	8
Figure 4: Processus de management du risque (cas général) (ISO31000, 2009).....	10
Figure 5: Les tâches de l'établissement du contexte (ISO31000, 2009)	10
Figure 6: Diagramme représentatif d'une action de protection (ISO31000, 2009) (DESROCHES et al, 2016)	12
Figure 7: Diagramme représentatif d'une action de prévention (ISO31000, 2009) (DESROCHES et al, 2016)	12
Figure 8: Typologie des méthodes d'analyse de risque (TIXIER et al, 2002).....	14
Figure 9: Principe d'analyse de la méthode HAZOP	17
Figure 10: Le modèle MADS ou l'univers du danger	19
Figure 11: Schéma d'un nœud papillon (IDDIR, 2015)	26
Figure 12: Structure d'un arbre de défaillances (IDDIR, 2015)	28
Figure 13: Schéma générique d'un système instrumenté de sécurité (INERIS Oméga 10, 2008)	31
Figure 14: Typologie des barrières de sécurité (IDDIR, 2015), (INERIS Oméga 10, 2008)	32
Figure 15: Banque de données à utiliser en fonction des phases de l'analyse de risques (IDDIR, 2015).....	35
Figure 16: Schéma des étapes de la méthode nœud papillon.....	36
Figure 17: Matrice de criticité (DESROCHES, 2013).....	38
Figure 18: Exemple de cartographie des risques de 3 activités différentes (DESROCHES et Al, 2016).....	44
Figure 19: Processus de l'AGR (DESROCHES et Al, 2016)	45
Figure 20: Exemple de matrice de criticité (DESROCHES et Al, 2016)	52
Figure 21: Diagramme de Farmer	55
Figure 22: Diagramme de Kiviat.....	55
Figure 23: Diagramme des rapports couts-risques	57
Figure 24: Photo du site	64
Figure 25: Localisation des 4 viaducs	65
Figure 26: Coupe longitudinale du tablier	66
Figure 27: Coupe transversale du tablier.....	67
Figure 28: Schéma d'une pile	68
Figure 29: Schéma du Nœud papillon sur les conditions de travail (condition de sécurité) des ouvriers.....	71
Figure 30: Schéma du Nœud papillon sur les intempéries.....	72
Figure 31: Schéma du Nœud papillon sur l'exécution du travail (technique).	73
Figure 32: Organigramme des éléments du système étudié.	86
Figure 33: Scènes dangereuses et leurs nombres de scénarios	96
Figure 34: Cartographie des risques initiaux	97
Figure 35: Diagramme de Farmer (risques initiaux moyens / dangers).....	99
Figure 36: Diagramme de Kiviat (risques initiaux / dangers).....	100

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des méthodes d'analyse de risque (Synthèse des auteurs à partir de MAZOUNI,2008 ; BENHADJI, 2016 ; www.unit.eu)	23
Tableau 2: Définition des événements composant un nœud papillon (IDDIR, 2015).....	27
Tableau 3: Quelques exemples de portes logiques (IDDIR, 2015)	29
Tableau 4: Correspondance entre le niveau de confiance et réduction du risque fonctionnant à la sollicitation (INERIS Oméga 10, 2008).....	33
Tableau 5: Exemple de système défini par les éléments <phases/fonctions/sous-système>	46
Tableau 6: Liste des 26 rubriques de dangers génériques	47
Tableau 7: Format de la cartographie des dangers (DESROCHES et Al, 2016)	49
Tableau 8: Format de la cartographie des situations dangereuses	49
Tableau 9: Exemple d'échelle de gravité.....	51
Tableau 10: Exemple d'échelle de vraisemblance	52
Tableau 11: Exemple d'échelle de criticité (DESROCHES et Al, 2016)	53
Tableau 12: Tableau récapitulatif des risques initiaux et résiduels.....	54
Tableau 13: Tableau des index de perte (DESROCHES et Al, 2016).....	56
Tableau 14: Tableau des index d'efforts (DESROCHES et Al, 2016).....	56
Tableau 15: Exemple de fiche d'action de réduction des risques (DESROCHES, 2013)	59
Tableau 16: Exemple de fiche de paramètres de sécurité (DESROCHES, 2013).....	60
Tableau 17: Fiche technique du projet de la pénétrante autoroutière de GHAZAOUET	65
Tableau 18: Tableau récapitulatif des caractéristiques techniques	66
Tableau 19: Tableau récapitulatif des risques identifiés	69
Tableau 20: Tableau récapitulatif des risques identifiés	70
Tableau 21: Signification des portes logiques	73
Tableau 22: Tableau récapitulatif des risques qui peuvent survenir.	74
Tableau 23: Tableau récapitulatif des risques qui peuvent survenir.	75
Tableau 24: Tableau récapitulatif barrières de sécurité.....	76
Tableau 25: Tableau récapitulatif barrières de sécurité.....	77
Tableau 26: Evaluation de la gravité des risques.	78
Tableau 27: Matrice de criticité des risques initiaux	79
Tableau 28: Gravité, vraisemblance et criticité des risques initiaux	79
Tableau 29: Gravité, vraisemblance et criticité des risques qui peuvent survenir.....	80
Tableau 30: Systèmes critiques.	81
Tableau 31: Plan particulier de sécurité.	82
Tableau 32: Evénements redoutés	84
Tableau 33: Eléments du système étudié.....	87
Tableau 34: Cartographie des dangers.....	87
Tableau 35: Cartographie des situations dangereuses	89
Tableau 36: Tableau récapitulatif des risques initiaux et résiduels ainsi que leurs évaluations et traitements.	91
Tableau 37: Tableau récapitulatif des risques ainsi que leurs évaluations et traitements.....	93
Tableau 38: Scènes dangereuses et leurs nombres de scénarios analysés	96
Tableau 39: Matrice de criticité des risques initiaux	97
Tableau 40: Criticité des risques avant traitement	97
Tableau 41: Gravité des risques initiaux.....	98
Tableau 42: Vraisemblances des risques initiaux.....	98

Tableau 43: Criticité des risques initiaux.....	98
Tableau 44: Gravité, vraisemblance et risques moyens.....	99
Tableau 45: Coordonnées des risques initiaux pour le diagramme de Farmer	99
Tableau 46: Caractéristiques des méthodes d'analyse de risque.	102

Acronymes

AGR: Analyse globale des risques

AMDE: Analyse des modes de défaillances et de leurs effets

AMDEC: Analyse des modes de défaillances et de leurs effets et criticité

APR: Analyse préliminaire des risques

BTS : Bureau technique et de suivi

CEA: Commissariat à l'énergie atomique

CEI: Commission électrotechnique internationale

CRCC: China railway construction corporation limited

DRA: Direction des risques accidentels

EN: European norm

FHCC: First highway consultant company

HAZOP: Hazard and operability study

INERIS: Institut national de l'environnement industriel et des risques

ISO: International standard organisation

KDEC: Kyong dong engineering company

LTPO: Laboratoire des travaux publics de l'ouest

LTPS: Laboratoire des travaux publics du sud

MADS: Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes

MOSAR: Méthode organisée systémique d'analyse des risques

NF: Norme française

SEROR: Société d'études et de réalisation d'ouvrages d'art

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les professionnels du domaine des travaux publics sont conscients des problèmes qui entravent le développement de ce secteur. A ce titre, l'inclusion de la notion du management des risques est quasi-importante afin de prévoir d'éventuels catastrophes dans l'exécution des travaux sur chantier.

En Algérie, les projets de constructions subissent souvent des retards ou des dépassements de budget à cause d'une mauvaise planification et à l'absence de la prise en compte du risque. Ce qui se répercute sur les entreprises par de lourdes sanctions et des pertes préjudiciables. Citons les cas de :

- L'effondrement d'un pont à Tébessa le 19 Septembre 2017 quelques jours après la fin des travaux en raison d'une poutre mal placée pour cause d'un manque de coordination entre les grues.
- L'effondrement d'un pont à Médéa le 13 Septembre 2019 à la suite de fortes crues de l'Oued.
- L'effondrement du pont de Chiffa le 14 Avril 2018 à la suite du débordement des eaux de l'Oued.

Le risque pour un projet est la possibilité qu'il ne se déroule pas comme prévu dans les délais contractuels pour de multiples raisons à savoir naturelles, techniques, organisationnelles, humaines ou bien lié au management du projet.

Dans notre mémoire de recherches, il est question d'élucider les éventuels risques dans un projet réel qui est la pénétrante autoroutière de GHAZAOUET : ses viaducs, et comment les cerner grâce aux méthodes d'approches :

- **Analyse globale des risques**
- **Nœud papillon**

Nous évoquerons en premier lieu la terminologie du domaine du management des risques et quelques outils d'approches, ensuite le choix des deux méthodes précitées pour l'étude de cas. Une présentation complète de ces dernières sera faite afin de mieux comprendre leurs logiques et le processus de leurs mises en œuvre. Enfin, nous appliquerons ces deux méthodes au cas cité ci-dessus.

De l'application de ces deux méthodes, il sera possible de déterminer avec précision l'efficacité scientifique en matière de moyens, de délai de l'une d'elles

CHAPITRE I

TERMINOLOGIE ET

CONCEPTS

1. Introduction

Tout au début, une revue de la terminologie et des concepts de base relatifs aux risques dans les projets, constitue à notre sens la base du travail qui va suivre.

De même, Le management des risques est un processus intégrant plusieurs activités essentielles pour la sécurité des projets, alors une présentation de ce dernier sera faite dans ce chapitre ainsi que ses différentes étapes guidées par la norme ISO et les outils qu'il comporte afin de faire face aux risques qui empêchent le projet d'atteindre ses objectifs.

2. Risque

2.1 Définition du risque

La notion de risque, couramment utilisée dans la vie quotidienne se révèle complexe et a évolué au fil du temps en raison de sa complexité. Elle est approchée différemment selon les domaines et les spécialités. Ainsi, le mot risque revêt une signification différente pour l'épidémiologiste, le spécialiste de l'environnement, l'assureur, l'ingénieur de la sûreté du fonctionnement, le soignant ou le cadre de direction. Le gestionnaire l'associe au terme de vulnérabilité.

- La norme ISO 31000 (2009) définit le risque comme l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs
- Le risque peut également être défini comme la mesure du danger par deux paramètres: la probabilité ou la fréquence de l'enchaînement des événements qui le constituent, la gravité de l'impact de danger sur une cible
- Le risque au sens mathématique est la projection d'un aléa sur un espace de vulnérabilité.

L'aléa c'est la probabilité d'occurrence d'un événement ou d'une combinaison d'événements conduisant à une situation dangereuse.

La vulnérabilité est la susceptibilité d'un système d'enjeux à subir des dommages sous l'action d'un danger.

- Le risque est une probabilité ou une menace de dommage, de blessure, de responsabilité, de perte ou de tout autre événement négatif causé par des vulnérabilités externes ou internes, et pouvant être évité par une action préventive (www.businessdictionary.com).

Néanmoins, quelle que soit la définition, la question du risque est toujours associée aux dimensions de probabilités, de dommages et d'événements indésirables par la gravité qu'il comporte.

Dans notre cas, la définition qu'on a retenue est celle qui est en rapport avec la gravité et la probabilité car elle s'adapte avec notre cas d'étude

2.2 Risque-projet

Le risque-projet est défini par GOURC (2006) comme suit: La possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur le déroulement de l'activité du projet.

Dans l'étude de réalisation de chaque projet, il est quasiment obligatoire de réserver un chapitre relatif aux prévisions des différents risques qui peuvent survenir au cours des phases d'exécution des travaux ce qui permettra de consolider celle-ci et d'assurer sa fiabilité.

Le choix du thème risque projet et sa définition vont être les outils scientifiques qui amèneront les différents intervenants dans toute réalisation à faire une projection dans l'espace et dans le temps afin d'anticiper les risques majeurs.

A ce titre et d'après la définition, on remarque qu'un risque a deux aspects fondamentaux qui sont la probabilité d'occurrence et l'impact, l'impact en management de projet se traduit par le niveau de perturbations causées par l'occurrence.

GOURC (2006) a proposé trois types d'impacts majeurs directement liés aux objectifs et critères de succès du projet:

- Les impacts de type délai: dérive positive ou négative des délais du projet.
- Les impacts de type coût: économie ou surcoût par rapport au budget initial prévu dans l'autorisation du programme.
- Les impacts de type performance ou qualité: amélioration ou dégradation par rapport à la performance prévue.

2.3 Risque résiduel

C'est le risque qui subsiste après l'application des politiques de maîtrise des risques.

3. Système

Le système est un assemblage de plusieurs éléments liés entre eux et qui sont eux même dans un grand ensemble (DESROCHES et al, 2016).

Un système est décrit comme un ensemble d'éléments en interaction entre eux et avec l'environnement, intégré pour rendre à son environnement les services correspondants à sa finalité

Un système est déterminé par:

Sa frontière, c'est-à-dire le critère d'appartenance au système (déterminant si une entité appartient au système ou fait au contraire partie de son environnement), ses objectifs et sa raison d'exister, ses interactions avec son environnement, ses fonctions (qui définissent ce qu'on doit faire ou non les entités faisant partie du système, leur organisation et leurs interactions), ses ressources, qui peuvent être de natures différentes tel que: humaine, naturelle, matérielle, immatérielle, ect.

Un sous-système est un ensemble d'éléments faisant partie d'un système comportant un flux d'informations.

La figure suivante montre une représentation d'un système et ses composants:

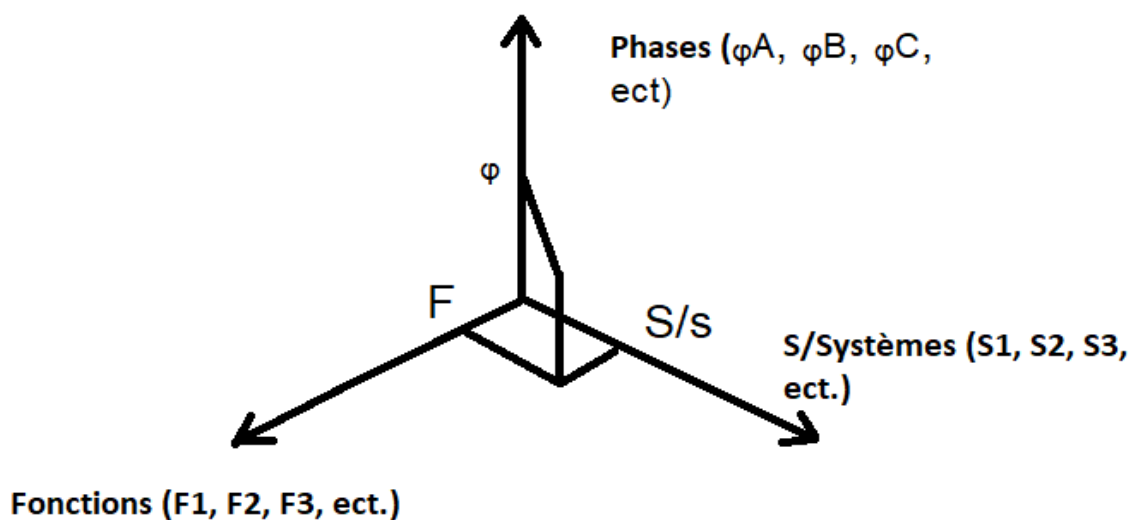


Figure 1: Représentation d'un système et ses 3 composants

4. Scénario d'accident

Un scénario d'accident est dû à une réunion de plusieurs évènements causant au final un évènement redouté (accident)

La figure suivante visualise l'évolution d'un scénario d'accident depuis ses causes jusqu'à ses conséquences (DESROCHES et Al, 2016).

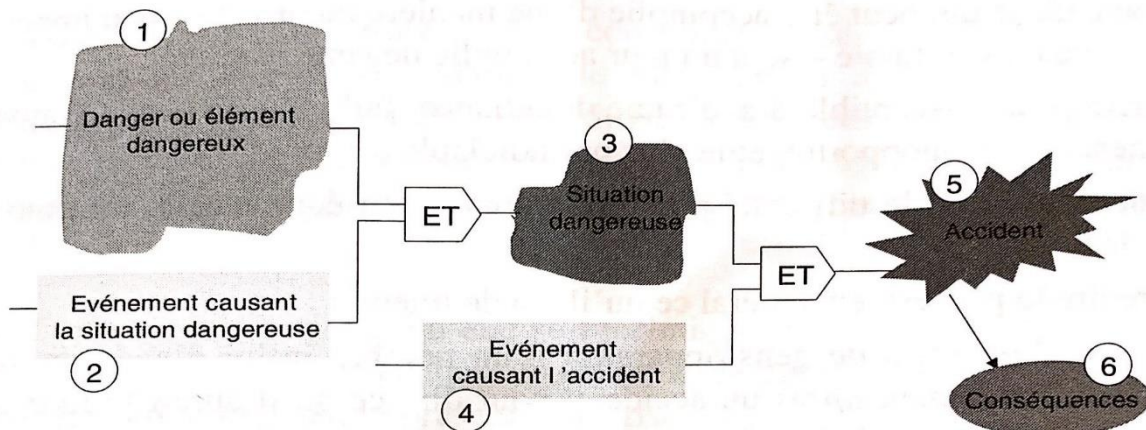


Figure 2: Schéma représentatif d'un scénario d'accident (DESROCHES et Al, 2016)

5. Danger et menace

La définition communément admise du danger est tout ce qui constitue une menace, un risque compromettant l'existence de quelqu'un ou quelque chose selon LAROUSSE (2008)

Le danger ou la menace sont également une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux personnes, aux biens et à l'environnement. L'origine de cette nuisance peut être aléatoire ou volontaire (déterministe) on parlera de danger ou de menace.

Le danger est le premier maillon d'un scénario d'accident. La recherche du ou des dangers potentiels pendant le déroulement du projet ou pendant la mission d'un système est donc fondamentale.

En l'absence de danger, il est difficile d'identifier des évènements conduisant à des situations dangereuses (DESROCHES et al, 2016).

6. Événements indésirés et redoutés

Un évènement indésiré est un évènement qui n'est pas souhaité car il crée des contraintes au système (situation dangereuse) par sa nature et son occurrence.

Un évènement redouté est un événement qui peut causer un dommage au système par le niveau de dangerosité qu'il entraîne, il correspond le plus souvent à un événement catastrophique en termes: humain, environnemental ou économique.

En l'absence de l'évènement indésirable on ne peut pas identifier d'évènements redoutés (DESROCHES et al, 2016)

7. Situation dangereuse ou menaçante

Une situation dangereuse ou menaçante est un état d'un système en présence de danger ou de menace. Le rapprochement relatif du système et du danger jusqu'à leur présence et à leur recouvrement est associé à la réalisation d'un évènement de nature aléatoire ou déterministe.

La situation dangereuse est le deuxième maillon d'un scénario d'accident. Il correspond à un état instable mais réversible du système.

En l'absence de situations dangereuses on ne peut pas identifier d'évènements conduisant à des conséquences accidentelles (DESROCHES et al, 2003).

La figure suivante montre la relation entre toutes ces définitions citées:

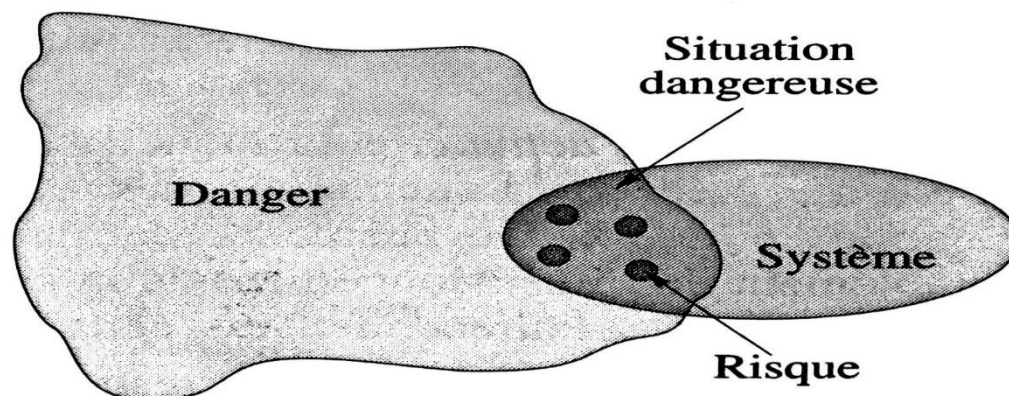


Figure 3: Schéma représentatif d'une situation accidentelle (DESROCHES et al, 2003)

8. Accident

Selon LAROUSSE (2008), un accident est un évènement imprévu malheureux ou dommageable.

L'accident correspond à la concrétisation ou la matérialisation du risque par l'occurrence de pertes humaines ou matérielles ou de dommages (matériels ou immatériels). Suivant la

gravité des pertes, on parlera d'accident mineur (pertes minimales) à accident catastrophique (pertes maximales) (DESROCHES et al, 2003).

9. Conséquences accidentelles

Les conséquences accidentelles sont les impacts directs et indirects de l'évènement redouté sur le système et son environnement. Ces conséquences peuvent être exprimé de façon qualitative ou quantitative et peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur l'atteinte des objectifs (DESROCHES et al, 2016).

10. Management des risques

Les entreprises grandes et petites doivent pouvoir identifier, cerner et gérer les incertitudes ou les risques déterminant pour leurs réussites.

Le management de risque est une activité qui a pour but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque. C'est une activité stratégique essentiel qui est cadré par une norme internationale ISO 31000 qui offre une approche solide, fiable et prouvé en matière de management de risques.

Les entreprises qui ont recours à cette norme, augmentent leurs chances d'atteindre leurs objectifs.

11. Processus de management des risques selon la norme l'ISO 31000

La norme ISO 31000 a été établi dans le domaine du management des risques afin d'aider de manière efficace les différents intervenants dans les projets à parer aux multiples risques et accidents qui peuvent surgir spontanément. Cette norme fournit des principes, un cadre et des lignes directrices pour gérer toute forme de risques. Elle doit être utilisé par tous types d'organisme sans distinction de taille, d'activité ou de secteur.

Ce processus comporte 7 activités comme nous montre la figure suivante:

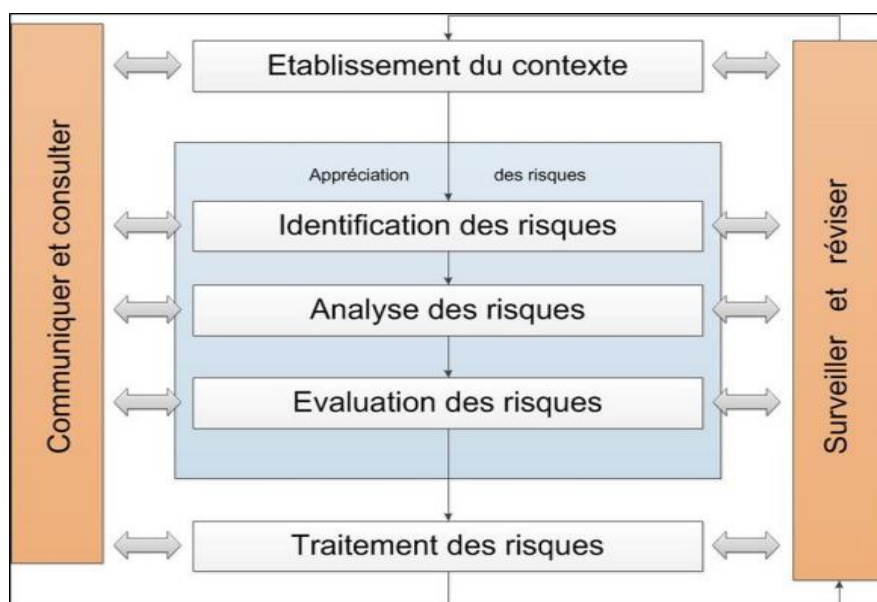


Figure 4: Processus de management du risque (cas général) (ISO31000 ,2009)

11.1 Etablissement du contexte

Cette étape permet de définir les paramètres, les objectifs du système qu’il faut prendre en considération, l’environnement dans lequel il évolue, ainsi que les méthodes qui seront utilisées pour l’identification et l’évaluation, cette étape comporte deux volets (figure 5):

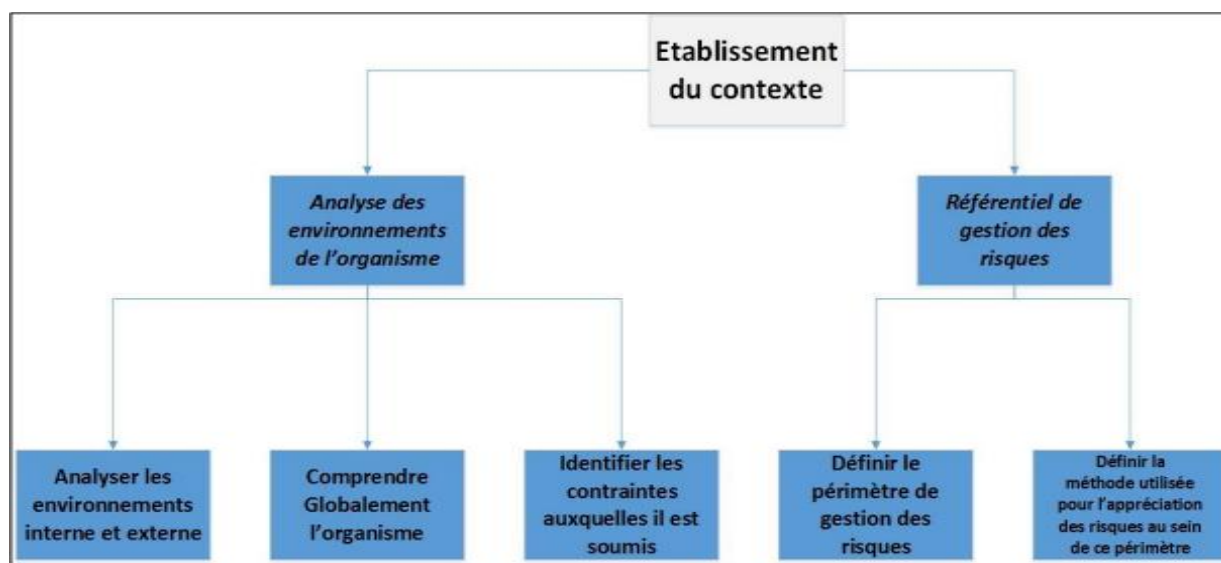


Figure 5: Les tâches de l'établissement du contexte (ISO31000, 2009)

11.1.1 Analyse des environnements de l'organisme

Durant cette phase, il est impératif de procéder à l’analyse de l’environnement dans ses parties internes et externes afin de cerner scientifiquement le système qu’il y a lieu d’étudier.

Une identification pointilleuse des évènements susceptibles de causer un dysfonctionnement de ce système s’impose.

La nature de ces évènements peut avoir plusieurs aspects à savoir: politique, économique, socio-culturelle, environnementale et juridique.

11.1.2 Référentiel de gestion des risques

Le prélude à toute gestion des risques est la définition du périmètre de celui-ci afin de mettre en place la méthode propice à son appréciation dans ce même espace.

11.2 L'appréciation des risques

L'appréciation des risques comprend:

11.2.1 Identification des risques:

A ce titre, le maximum des facteurs et évènements susceptibles de déséquilibrer le projet et de faire face à ses objectifs doivent être inventorié à partir des actions suivantes (ISO31000, 2009):

- Identifier les sources des risques et leurs domaines d'impact.
- Identifier les évènements avec leurs causes et conséquences potentielles qui pourraient affecter la réussite du projet.
- Etudier toutes les sources et/ou conséquences significatives des risques

11.2.2 Analyse des risques

Cette étape consiste à identifier les causes et les conséquences des risques, et de déterminer s'ils peuvent causer des dommages réparables ou irréversibles, pour ce faire, il est nécessaire de:

- Déterminer la vraisemblance (probabilité) des risques
- Déterminer la gravité des risques et l'ampleur des conséquences possibles (ISO31000 ,2009).

11.2.3 Evaluation des risques

Durant cette phase, il faut comparer le niveau des risques identifiés avec les critères de leur acceptation tels que définis sur l'étape de l'établissement du contexte, ce qui aidera sans conteste à prendre une décision. Il y a lieu de faire appel à l'utilisation d'une matrice de criticité: vraisemblance X gravité pour signaler le niveau de chaque risque identifié.

11.3 Traitement des risques

C'est la phase où il faut procéder au traitement des risques identifiés, cinq types d'actions sont possibles pour les traiter: l'acceptation du risque, partage du risque, transfert du risque, réduire le risque et éviter le risque.

Les solutions de réduction du risque sont:

- Eviter le risque et abandonner l'activité qui le crée.
- Ecarter la source du risque.
- Mettre le risque sous surveillance.
- Réduire la gravité par la protection ou la vraisemblance par la prévention comme nous montre les deux figures suivantes:

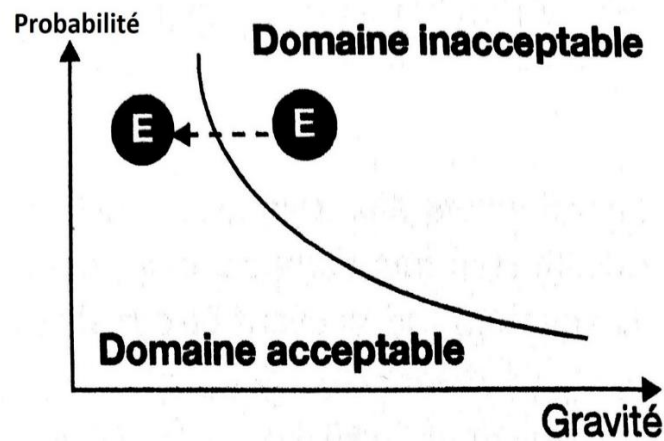


Figure 6: Diagramme représentatif d'une action de protection (ISO31000, 2009) (DESROCHES et al, 2016)

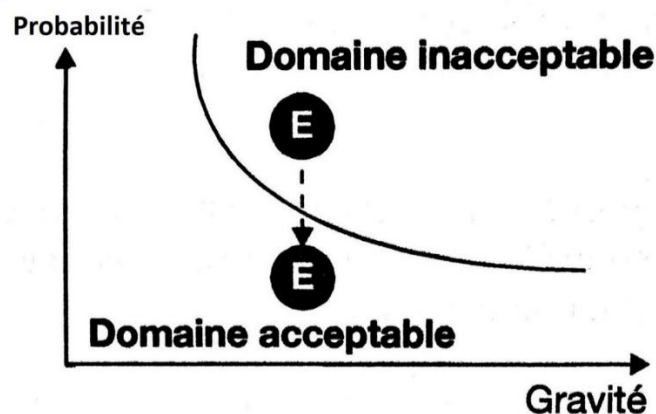


Figure 7: Diagramme représentatif d'une action de prévention (ISO31000, 2009) (DESROCHES et al, 2016)

Les solutions de financement du risque sont:

- Partager le risque avec une autre partie sous forme contractuelle.
- Transférer la gestion du risque à une partie spécialisée à savoir les compagnies assurances.

Le traitement des risques interagit avec le management du projet proprement dit et alimente, entre autres, les processus de maîtrise des coûts du projet:

- Les risques acceptés, pour lesquels la nécessité d'un traitement n'est pas justifiée, ou pour lesquels le coût de traitement n'est pas en rapport avec la gravité des impacts peuvent être provisionnés.
- La surveillance de certains risques peut nécessiter des coûts spécifiques.
- Des plans de réponse à certains risques acceptés peuvent être établis et valorisés (Norme ISO31000:2009).

11.4 Communication et concertation

Il est nécessaire que les parties prenantes se concertent sur toutes les étapes du processus du management que ça soit en internes ou en externes à l'organisme. Il faut mettre en place un plan de communication et de concertation approprié pour favoriser une perception commune du risque et permettre aux parties prenantes de bien comprendre les principes de prises de décisions ainsi que les raisons de la nécessité de certaines actions (ISO31000, 2009).

11.5 Surveillance et revue

Le contexte du projet peut évoluer et de nouvelles sources de risques peuvent apparaître et dans ce cas pour s'assurer de l'efficacité des traitements déjà mis en œuvre, il convient de mettre en place une surveillance et d'effectuer de manière régulière des revues de risques. Cette surveillance permet aussi d'identifier les nouveaux risques et de les traiter. De même, il faut vérifier l'efficacité du cadre organisationnel de management du risque (ISO31000, 2009).

12. Classification des méthodes d'analyse de risque:

TIXIER et al (2002) proposent une classification des méthodes selon qu'elles manipulent des informations de type déterministe et / ou probabiliste, mais aussi qualitative ou quantitative (figure 8)

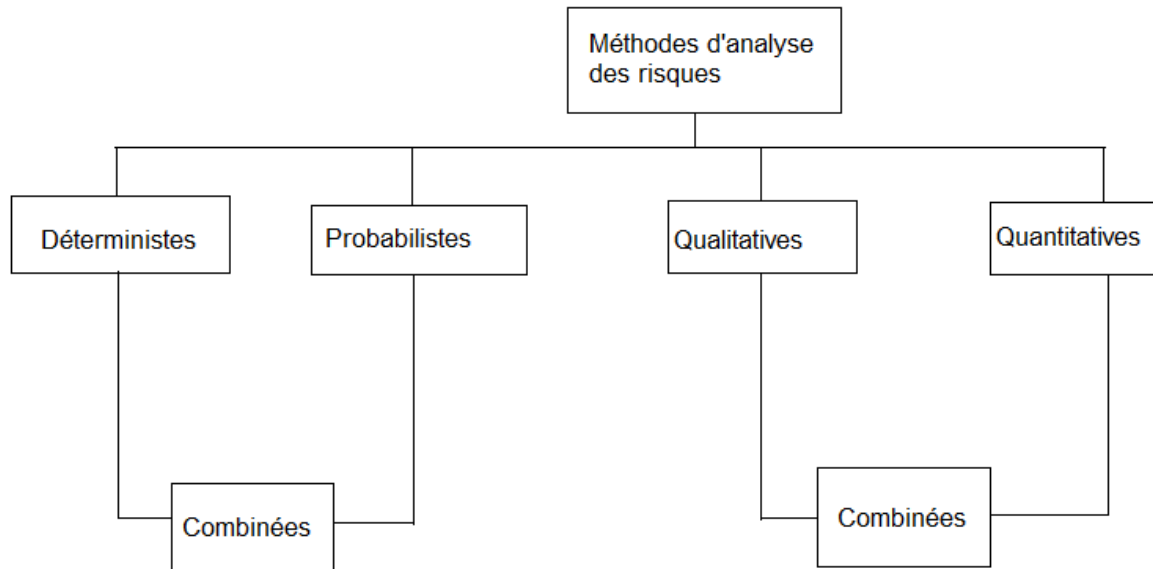


Figure 8: Typologie des méthodes d'analyse de risque (TIXIER et al, 2002)

12.1 Approche probabiliste

L'approche probabiliste fait intervenir le calcul de probabilités relatives à l'occurrence d'événements faisant partie du processus de matérialisation d'un scénario d'accident donné.

Il s'agit d'une approche complémentaire qui permet d'analyser le dispositif de défense en profondeur décidé à l'issue d'une approche purement déterministe. Ceci a été le cas dans le domaine nucléaire où les techniques probabilistes viennent appuyer l'approche déterministe.

12.2 Approche déterministe

L'approche déterministe a généralement été adoptée dans les domaines à haut risque tels que nucléaire, militaire, transports guidés, où le moindre risque significatif est traqué et réduit à la source. Elle consiste à recenser les événements pouvant conduire à un scénario d'accident en recherchant le pire cas possible (The Worst Case) et en affectant une gravité extrême à ses conséquences potentielles. Par conséquent, les sous-systèmes critiques (systèmes de sauvegarde, de protection et de prévention) sont dimensionnés pour éviter toute défaillance dangereuse et organisés rigoureusement selon une stratégie de défense en profondeur.

12.3 Typologie des analyses de risque

Les analyses de risque appartiennent à deux classes: la classe des analyses qualitatives, la classe des analyses quantitatives.

12.3.1 Analyses qualitatives

Les analyses qualitatives traitent essentiellement la nature de la gravité des risques. Leur but est d'identifier:

- Les évènements à risques apparaissant suite à la défaillance des éléments du système.
- Leurs causes.
- Leurs conséquences sur le système à travers des scénarios.
- Les actions en diminution de risque qui sont prises après leur consolidation par des analyses et/ou des essais.

12.3.2 Analyses quantitatives

Les analyses quantitatives traitent de la probabilité d'occurrence et de la mesure de la gravité des risques caractérisant un événement redouté. Leur but est de:

- Hiérarchiser les risques.
- Evaluer le niveau de sécurité du système ou d'un sous-système dans la phase considérée.

Leur mise en œuvre permet d'autre part de:

- Réaliser une réparation meilleure et réaliste des responsabilités entre équipes.
- Mettre en évidence des points respectifs des scénarios d'accident.
- Faire apparaître les faiblesses relatives des éléments du système.

13. Méthodes d'analyse de risque

13.1 L'Analyse Préliminaire de Risques

Selon la norme CEI-300-3-9 (1995): L'APR est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception, pour identifier les dangers et évaluer leur criticité.

Le but consiste à identifier les entités dangereuses d'un système, puis à regarder pour chacune d'elles comment elles pourraient générer un incident ou un accident plus ou moins grave suite à une séquence d'événements causant une situation dangereuse.

Pour identifier les entités et les situations dangereuses susceptibles d'en découler, l'analyste est aidé par des listes de contrôles (check-lists) d'entités dangereuses, de situations dangereuses et d'événements redoutés. Ces check-lists sont spécifiques au domaine d'étude concerné.

Comme son nom l'indique, cette méthode n'est pas destinée à traiter en détail la matérialisation des scénarios d'accident, mais plutôt à mettre rapidement en évidence les gros problèmes susceptibles d'être rencontrés pendant l'exploitation du système étudié.

Cependant, l'APR peut aussi et même doit être complétée par la plupart des analyses de risques fonctionnelles telles que l'AMDEC ou l'Arbre de Défaillances.

13.2 Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets - AMDE /et de leur Criticité – AMDEC

L'AMDE a été employée pour la première fois dans le domaine de l'industrie aéronautique durant les années 1960. Son utilisation s'est depuis largement répandue à d'autres secteurs industriels.

Selon la norme CEI-300-3-9 (1995), l'AMDE est une technique fondamentale d'identification et d'analyse de la fréquence des dangers qui analyse tous les modes de défaillances d'un équipement donné et leurs effets tant sur les autres composants que sur le système lui-même.

Cette analyse vise d'abord à identifier l'impact de chaque mode de défaillance des composants d'un système sur ses diverses fonctions et ensuite hiérarchiser ces modes de défaillances en fonction de leur facilité de détection et de traitement.

L'AMDE(C) traite des aspects détaillés pour démontrer la fiabilité et la sécurité d'un système.

Elle contient 3 parties primaires:

- Identification des modes de défaillance.
- Identification des causes potentielles de chaque mode.
- Estimation des effets engendrés.
- S'il s'agit d'une AMDEC: Evaluation de la criticité de ces effets.

L'analyse commence toujours par l'identification des défaillances potentielles des modes opérationnels. Elle se poursuit, par des inductions afin d'identifier les effets potentiels de ces défaillances (situation dangereuse, événement dangereux et dommages). Une fois les effets potentiels établis, on estime le risque on spécifie les actions de contrôle

13.3 Hazard and Operability Study (HAZOP)

L'HAZOP est fondamentalement différente de l'AMDEC puisqu'elle se focalise sur les flux échangés entre les composants du système. En effet, la méthode (figure 9) étudie l'ensemble des déviations d'un flux en se basant sur des déviations types et analyse les causes et les effets de ces déviations sur le système (LAWLEY 1974). Comme l'AMDEC, cette méthode est accompagnée d'une analyse structurelle pour recenser l'ensemble des flux du système.

L'analyse HAZOP se fait en s'intéressant à ce que l'on n'appelle points d'étude, et qui sont de deux types:

- Les éléments ou sections du procédé
- Les étapes du mode opératoire

Ces points d'étude sont analysés un par un et aussi l'ensemble des variables qui caractérisent ce point. Puis est appliquée à chaque variable une liste de mots clefs pour construire toutes les déviations possibles et examiner celles entraînant des risques.

Remarque: l'AMDEC permet une représentation sous une forme fonctionnelle, alors que l'HAZOP est une approche basée sur la déviation des variables et la propagation des flux.

L'analyse HAZOP (Hazard and Operability study) a pour objectif l'identification des risques et l'étude de leur prévention / protection en s'appuyant sur le principe qu'un groupe d'experts peut interagir d'une façon créative et systématique et identifier plus de problèmes en travaillant ensemble qu'en travaillant chacun de son côté. Une revue HAZOP permet d'analyser en détail et de façon systématique une installation, un mode opératoire ou des procédures.

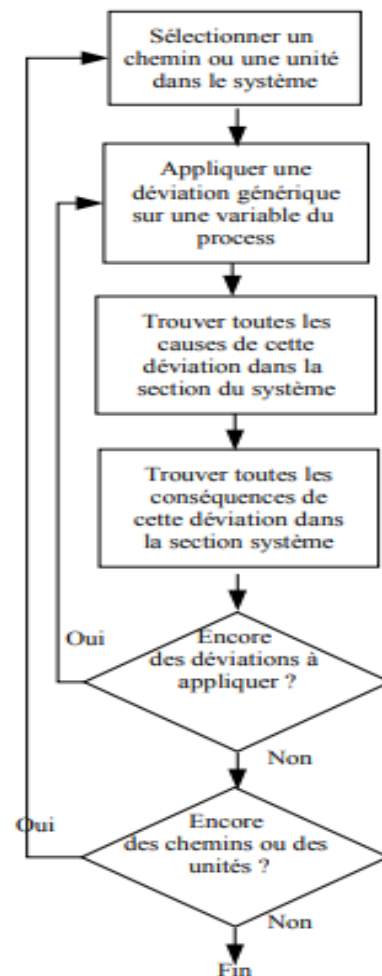


Figure 9: Principe d'analyse de la méthode HAZOP

13.4 Nœud papillon

Le Nœud Papillon est une approche arborescente développée par SHELL. Il permet de considérer une approche probabiliste dans le management du risque.

Le nœud papillon est une connexion d'un arbre de défaillances et d'un Arbre d'Événements, généralement établie lorsqu'il s'agit d'étudier des événements hautement critiques.

Le point central du Nœud Papillon est l'évènement redouté central. Généralement, ce dernier désigne une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition). La partie gauche sert à identifier les causes de cette perte de confinement, tandis que la partie droite du nœud s'attache à déterminer les conséquences de cet événement redouté central.

Chaque scénario d'accident est relatif à un évènement redouté central et est représenté à travers un chemin possible allant des événements indésirables ou courants jusqu'à l'apparition des effets majeurs. Un Nœud Papillon est généralement précédé par une analyse de risque plus générique de type APR ou What-If.

13.5 What-If Analysis

What-if est une forme dérivée de HAZOP, dont l'objectif est d'identifier les phénomènes dangereux régissant le fonctionnement d'un système.

La méthode consiste à réaliser un brainstorming partant généralement de situations dangereuses ou d'événements dangereux imaginés, en essayant de répondre à la question: « Qu'arrive-t-il si tel paramètre ou tel comportement n'est pas nominal ? ». Ceci va permettre d'identifier les effets provoquant des dommages.

13.6 Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes (MADS)

Le modèle MADS (GODARD, 1994) (Figure 10) est une première approche pour modéliser la notion de danger. Ce modèle a été conçu dans le contexte du paradigme systémique. Pour décrire un processus, il est amené à décrire:

- D'une part la dualité des objets processés (subissant le changement) / objets processeurs (produisant le changement)
- D'autre part, la liste des changements que subissent les objets processés.

Les relations des objets entre eux dans le cadre d'un processus, que ces objets soient acteurs ou sujets, et les relations avec l'environnement sont représentées:

- D'une part par des transactions sous forme de Matière, Energie ou d'Information, qui sont appelées Flux.
- D'autre part par une capacité d'influence de l'environnement sur le système, appelée Champ

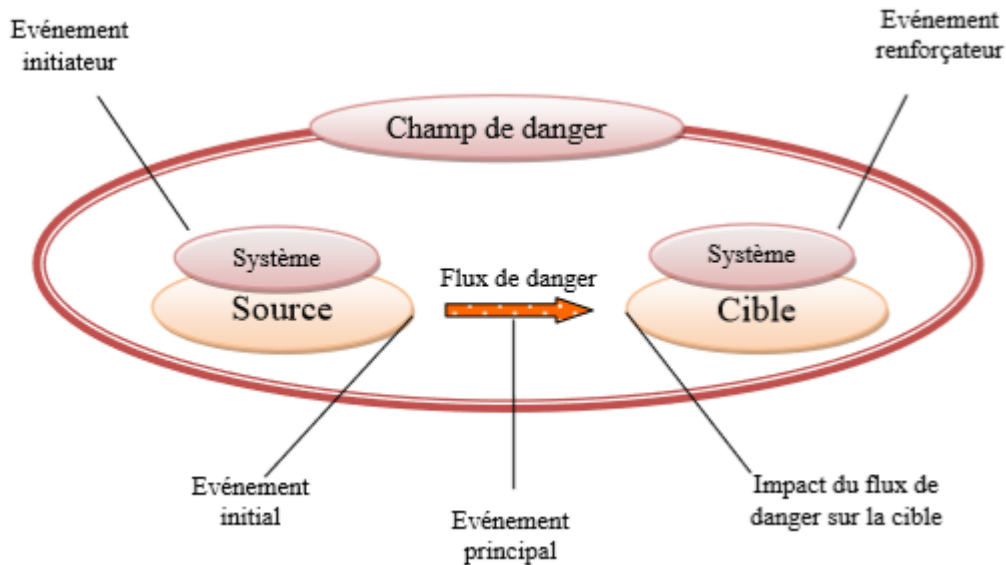


Figure 10: Le modèle MADS ou l'univers du danger

Dans ce contexte, le modèle MADS permettant de conceptualiser la notion de danger est exprimé sous la forme d'un processus de danger générique

Le flux de danger décrit les transactions non désirées entre le système et son environnement. Le système à l'origine du flux de danger est appelé système source de danger tandis que la partie du système subissant les effets du flux de danger sera appelée système cible.

Le champ de danger est l'environnement actif susceptible d'influer les systèmes sources et cibles du flux de danger. Ce modèle conceptuel permet de formaliser une étude de danger et d'effectuer celle-ci à partir de l'inventaire des différents processus de danger existants pour le système considéré dans son environnement.

13.7 Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques (MOSAR)

La méthode MOSAR (Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques) a été mise au point par Pierre PERILLHON au CEA. Elle est utilisée dans divers domaines, en particulier dans l'étude des risques d'installations à hauts risques (nucléaire, chimique, etc.).

MOSAR comprend deux modules hiérarchiques, un module macro « module A » et un module micro « module B ». Le module 'A' a pour but d'identifier les dysfonctionnements techniques et opératoires provoquant un événement indésirable. Les scénarios d'accident sont examinés d'une manière macroscopique, autrement dit, sans traiter en détail des aspects fonctionnels du système et de ses interfaces. Principalement, le module 'A' se décompose en 6 étapes:

- Modélisation de l'installation.
- Identification des sources de danger.
- Identification des scénarios d'accident.
- Evaluation des scénarios de risque.
- Négociation des objectifs.
- Définition des moyens de maîtrise des risques.

Le module 'A' s'appuie essentiellement sur le modèle MADS dans la phase d'identification des sources, flux et cibles de dangers ainsi que les différents événements du processus de danger.

Le module B de la méthode MOSAR qui se présente d'ailleurs comme une suite logique du module A. Il permet d'effectuer une analyse plus détaillée des dysfonctionnements techniques et opératoires et aussi de l'impact qu'ils pourraient engendrer sur le système global. Ce module se décompose en 5 étapes:

- Identification des risques de dysfonctionnement.
- Evaluation des risques en constituant des Arbres de Défaillances.
- Négociation des objectifs précis de maîtrise des risques.
- Affinement des moyens complémentaires de maîtrise des risques.
- Gestion des risques.

13.8 Arbre de causes

Un arbre des causes (arbre de défaillance) est un schéma utilisé dans le domaine des risques professionnels, pour étudier à posteriori tout événement indésirable (accident du travail, mais aussi défaillance d'un processus, etc.).

La méthode de l'arbre des causes est notamment utilisée dans les entreprises pour déterminer de la manière la plus exhaustive possible les causes d'un accident ou d'un incident, pour en établir les liens de causalité en vue de remédier aux conditions nécessaires à l'accident.

Un arbre des causes vise à comprendre un accident, que celui-ci soit un accident du travail ou non, la démarche ne consiste pas à juger, ni à trouver un coupable mais à identifier les causes de l'évènement. Une fois identifiées les causes, il faut identifier les facteurs ayant généré l'évènement, qu'ils soient d'ordre technique, organisationnel ou humain.

Le recueil des faits: La première étape consiste à recueillir les faits. Les faits sont les différents éléments connus qui ont trait de près ou de loin à l'accident. Les faits examinés doivent être, concrets, factuels et le plus précis possible. Le recueil des faits doit se faire le plus rapidement possible après l'évènement accident. Sur le lieu même de l'accident afin que les éléments techniques ou matériels ayant contribué à l'accident ne soient pas corrigés, enlevés ou déplacés l'articulation des faits, la naissance de l'arbre de manière conventionnelle, on construit l'arbre de droite à gauche afin que le sens de lecture corresponde à la chronologie des faits.

On détermine la ou les causes critiques (primaires) en se posant la question:

- Qu'a-t-il fallu pour qu'advienne l'accident ?

Pour chaque cause trouvée on détermine les causes relatives (secondaires) en se posant les deux questions suivantes:

- Est-ce nécessaire que ce fait se produise pour que le fait suivant survienne?

Cette étape permet de supprimer toutes les informations inutiles.

- Est-ce suffisant que ce fait se produise pour expliquer la survenue du fait suivant? Cette étape permet d'assurer l'exhaustivité des informations utiles.

Une fois les causes racines identifiées, on peut donc mettre en place les actions correctives pour éviter la réitération de l'accident.

13-9) Arbre d'évènements

L'analyse par Arbre d'Evénements a été développée au début des années 1970 pour l'évaluation du risque lié aux centrales nucléaires.

C'est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence des dangers moyennant un raisonnement inductif pour convertir différents événements initiateurs en conséquences éventuelles relatives au fonctionnement ou à la défaillance des dispositifs techniques/humains/organisationnels de sécurité. À l'inverse de l'analyse par Arbre de

Défaillances, l'analyse par Arbre d'Événements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les événements qui en découlent.

L'analyse par Arbre d'Événements se déroule en plusieurs étapes préliminaires:

- Considération d'un événement initiateur.
- Identification des fonctions de sécurité prévues pour contrôler son évolution.
- Construction de l'arbre.
- Description et exploitation des séquences d'événements identifiées.

Il serait plus pertinent d'élaborer un Arbre d'Événements à l'issue d'une première analyse identifiant les accidents potentiels à l'image de l'APR.

Les fonctions de sécurité doivent être assurées par des barrières ayant pour objectif d'empêcher le processus de matérialisation d'un accident provoqué par un événement initiateur.

La construction de l'arbre consiste à envisager soit le bon fonctionnement soit le dysfonctionnement de la première fonction de sécurité en partant de l'événement initiateur.

La suite de la méthode consiste à examiner le développement de chaque branche en considérant systématiquement le fonctionnement ou la défaillance de la fonction de sécurité jusqu'à l'atteinte d'un accident potentiel. La propagation des probabilités d'occurrence des événements initiateurs permet de calculer la probabilité de l'événement redouté.

14. Comparaison des méthodes d'analyse de risques étudiées

La comparaison (Tableau 1) est faite par rapport au cycle de vie du système et par rapport à quelques critères: Voir si c'est une approche systématique ou pas, qu'elle soit déterministe ou probabiliste, inductive ou déductive, l'identification des scénarios, estimation de la fréquence d'occurrence:

Tableau 1: Caractéristiques des méthodes d'analyse de risque (Synthèse des auteurs à partir de MAZOUNI,2008 ; BENHADJI, 2016 ; www.unit.eu)

Méthode	Approche Systématique	Approche déterministe ou probabiliste	Démarche inductive ou déductive	Qualitative ou quantitative	Identification des scénarios	Estimation de la fréquence d'occurrence	Phases du cycle de vie du système						Domaine d'application	
							Recherche et développement (Faisabilité)	Conception	Test & validation	Réalisation	Exploitation	Modification		Démantèlement
APR	x	DP	Id	Q	x	x	x	x	x			x	x	Tout type d'industrie
AMDE		D	I	q				x	x		x	x		Tout type d'industrie
AMDEC		DP	I	q		x		x	x		x	x		Tout type d'industrie
HAZOP		D	I	Q					x		x	x		Industrie des procédés
Nœud papillon		P	Id	q		x			x		x	x		Tout type d'industrie
What-If		D	I	Q			x	x	x	x	x	x	x	Tout type d'industrie
MADS	x	D	I	q	x	x			x		x	x		Tout type d'industrie
MOSAR	x	D	I	Q	x	x			x	x	x	x		Tout type d'industrie
Arbre de causes		P	d	q		x		x	x		x	x		Tout type d'industrie
Arbre d'évènements		P	I	q		x			x		x	x		Tout type d'industrie

Légende

D	Déterministe
P	Probabiliste
d	Déductive
I	Inductive
Q	Qualitative
q	Quantitative

Suivant le tableau, la méthode la plus efficace et simple en mise en œuvre est l'APR. En effet, cette méthode repose sur une approche systématique, simple en terme d'identification des risques et vérifie presque tous les critères du cycle de vie d'un système.

Concernant les autres méthodes, chacune d'elles a ses critères mais ces derniers peuvent se compléter afin d'augmenter l'efficacité pour l'identification et le traitement des risques, par exemple l'APR avec l'AMDEC, l'arbre de causes avec l'arbre d'évènements ou le nœud papillon avec l'APR.

Les méthodes qualitatives consistent à donner une appréciation aux défaillances par exemple déterminer si cette dernière a une moyenne ou forte probabilité d'occurrence, contrairement aux méthodes quantitatives qui consistent à déterminer numériquement la probabilité d'occurrence ou le taux de défaillance.

Le raisonnement qualitatif permet actuellement de combler plusieurs insuffisances des méthodes quantitatives surtout lorsqu'on n'a pas accès à des valeurs numériques fiables (taux de défaillance etc.)

Les méthodes inductives permettent d'identifier toutes les combinaisons possibles qui amènent à la défaillance tandis que sur les méthodes déductives, on part sur l'événement indésirable et on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles.

15. Conclusion

Le risque est la possibilité que le projet ne se déroule pas comme prévu et n'atteigne pas ses objectifs. Celui-ci est de nature très diverse car il peut être technique, organisationnel ou bien lié au management de projet. Pour y remédier, il est nécessaire de mettre en place un processus de management des risques. Ce processus comporte plusieurs méthodes qui peuvent constituer une parade à ces dangers. C'est ce qui a été présenté dans le chapitre et dans les chapitres qui vont suivre, on va se focaliser sur les méthodes qu'on utilisera sur notre cas d'étude.

Chapitre II

METHODE D'APPROCHE « NŒUD PAPILLON »

1. Introduction

Dans la gestion de risques, il existe plusieurs méthodes, développées par des ingénieurs qui aident à identifier, apprécier et diminuer les risques, parmi ces méthodes c'est le nœud papillon.

Dans ce deuxième chapitre on va présenter cette méthode, voir de quoi elle se compose et définir chaque partie pour bien comprendre de quoi il s'agit comme méthode et déterminer les étapes et parler de leur domaine d'utilisation.

2. Présentation de la méthode

Le Nœud Papillon (figure 11) est une approche de type arborescente largement utilisée dans les pays européens qui utilisent l'approche probabiliste. Cette méthode est beaucoup plus utilisée dans le domaine de l'industrie et même elle a été développée par l'entreprise SHELL au début des années 1990 après l'accident survenu sur la plateforme pétrolière Piper Alfa en Ecosse.

Le nœud papillon est une connexion d'un arbre de défaillances et d'un arbre d'évènements. Le point central du Nœud Papillon est l'évènement redouté central.

La partie gauche sert à identifier les causes de cette perte de confinement, tandis que la partie droite du nœud s'attache à déterminer les conséquences de cet évènement redouté central (INERIS-DRA, 2003) (JOLY & VALLEE, 2004).

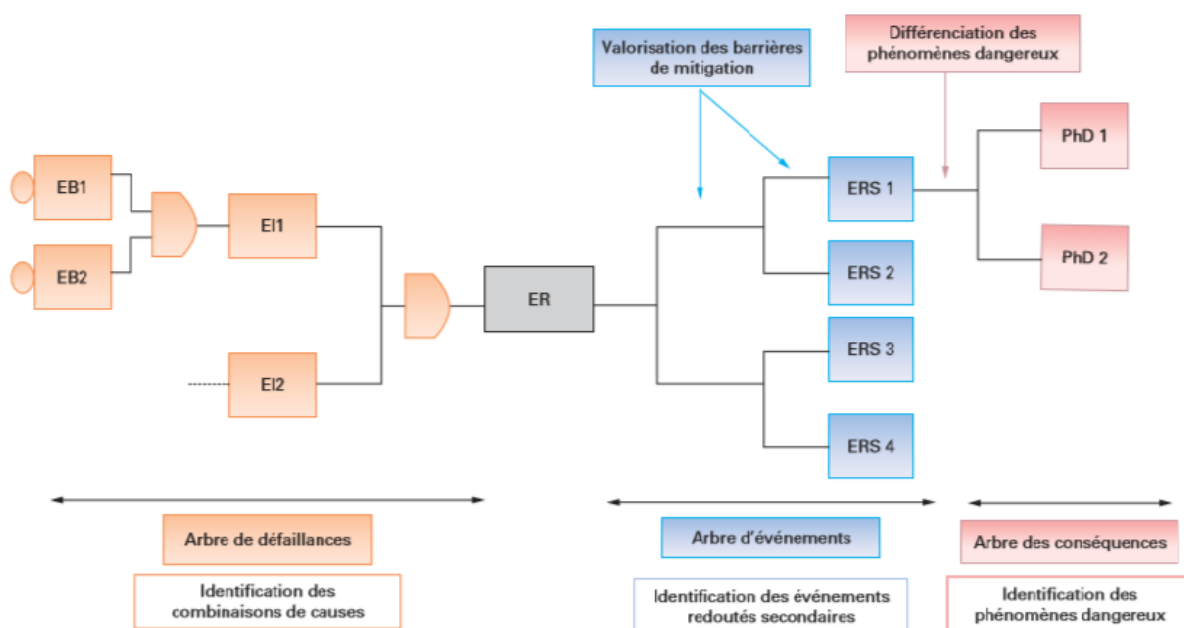


Figure 11: Schéma d'un nœud papillon (IDDIR, 2015)

Le tableau 2 définit tous les composants d'un nœud papillon suivant la figure 2.1

Tableau 2: Définition des évènements composant un nœud papillon (IDDIR, 2015)

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

3. But de la méthode

La méthode du nœud papillon est généralement établie lorsqu'il s'agit d'étudier des évènements hautement critiques car elle permet de visualiser les scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales jusqu'aux conséquences de l'évènement

redouté. Autrement dit, elle réunit autour d'un même évènement redouté un arbre de défaillance et un arbre d'évènement.

4. L'arbre de défaillance

L'arbre de défaillance (figure 12) réunit toutes les causes et les évènements qui amènent à une survenance d'un évènement redouté. Ces évènements sont reliés entre eux par des portes logiques qui permettent de traduire les liens entre eux.

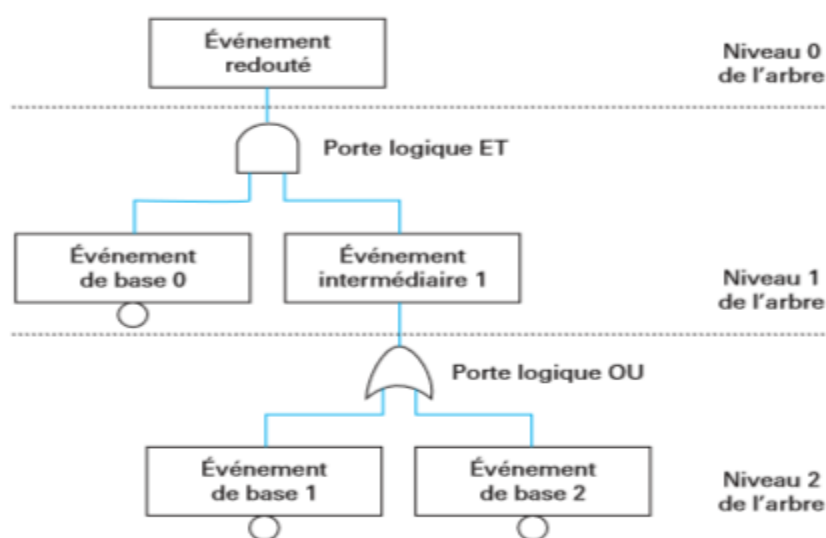





Figure 12: Structure d'un arbre de défaillances (IDDIR, 2015)

Porte (ET): l'évènement en sortie de la porte se réalisera si les évènements en entrée sont vérifiés en même temps.

Porte (OU): l'évènement en sortie de la porte se réalisera si au moins un des évènements en entrée est vérifié.

Il existe d'autres types de portes logiques issus de la norme (NF EN 61025, 2008) qui sont présentés dans le tableau 3 ci-dessus:

Tableau 3: Quelques exemples de portes logiques (IDDIR, 2015)

Symbolique	Nom	Signification
	Vote majoritaire	L'évènement en sortie se produit si m ou plus des évènements en entrée sur un total de n se produisent
	XOR	L'évènement en sortie se produit si l'un des évènements se produit mais pas les autres
	NOR	L'évènement en sortie se produit si aucun des évènements en entrée de la porte ne se produit

L'analyse par arbre de défaillance se déroule généralement en 3 étapes (IDDIR,2015), (MAZOUNI, 2008):

- Spécification du système et de ses frontières.
- Spécification des événements redoutés préalablement identifiés par exemple par l'analyse préliminaire des risques.
- Construction des arbres de défaillance, sur cette étape on cible les événements redoutés et on identifie les combinaisons d'évènements de base permettant de les atteindre

5. Le point central

Le point central du Nœud Papillon est l'évènement redouté central. Généralement, ce dernier désigne une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition).

Chaque scénario d'accident est relatif à un évènement redouté central et est représenté à travers un chemin possible allant des évènements indésirables ou courants jusqu'à l'apparition des effets majeurs.

Un Nœud Papillon est généralement précédé par une analyse de risque plus générique de type APR (analyse préliminaire des risques) (INERIS-DRA, 2003) (JOLY & VALLEE, 2004).

6. L'arbre d'évènements

À l'inverse de l'analyse par arbre de défaillance, l'analyse par arbre d'évènements a pour objectif de décrire le scénario d'accidents produit par un enchaînement de défaillances suite à l'occurrence d'un évènement initiateur. L'analyse par arbre d'évènements se déroule en plusieurs étapes préliminaires (MAZOUNI, 2008):

- Considération d'un évènement initiateur.
- Identification des barrières de sécurité prévues pour contrôler son évolution.
- Construction de l'arbre.
- Description et exploitation des séquences accidentelles identifiées susceptibles de se réaliser.

7. Les barrières de sécurité

Les barrières de sécurité sont définies comme étant: une procédure ou un élément matériel destiné à interrompre ou à modifier le scénario d'un accident de manière à en réduire soit la probabilité, soit ses conséquences.

Sur un nœud papillon on peut trouver deux types de barrières de sécurité qui sont (IDDIR, 2015):

- Les barrières qui sont utilisés du côté de l'arbre de défaillance appelés barrières de prévention, leur rôle est de réduire la probabilité d'occurrence des séquences accidentelles.
- Les barrières qui sont utilisés du côté de l'arbre d'évènements appelés barrières de mitigation, leur rôle est de réduire les effets des scénarios d'accidents.

Il existe trois autres types de barrières de sécurité d'après l'INERIS dans son rapport (Oméga10, 2008):

7.1 Les barrières techniques

Dans cette catégorie, il peut s'agir de **dispositifs de sécurité** ou de **systèmes instrumentés de sécurité**.

- **Dispositifs de sécurité:** un dispositif peut être classé en deux catégories:
 - *Dispositifs actifs* c'est-à-dire de mettre en jeu des dispositifs mécaniques pour remplir leurs fonctions.
 - *Dispositifs passifs* qui ne mettent en jeu aucun système mécanique et qui ne nécessitent ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique ni source d'énergie externe pour remplir leur fonction.
- **Les systèmes instrumentés de sécurité** sont des combinaisons de capteurs, d'unité de traitement et d'actionneurs (équipements de sécurité) ayant pour objectif de remplir une fonction ou sous-fonction de sécurité. Un S.I.S. nécessite une énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité.

La figure 13 représente un schéma générique d'un système instrumenté de sécurité:

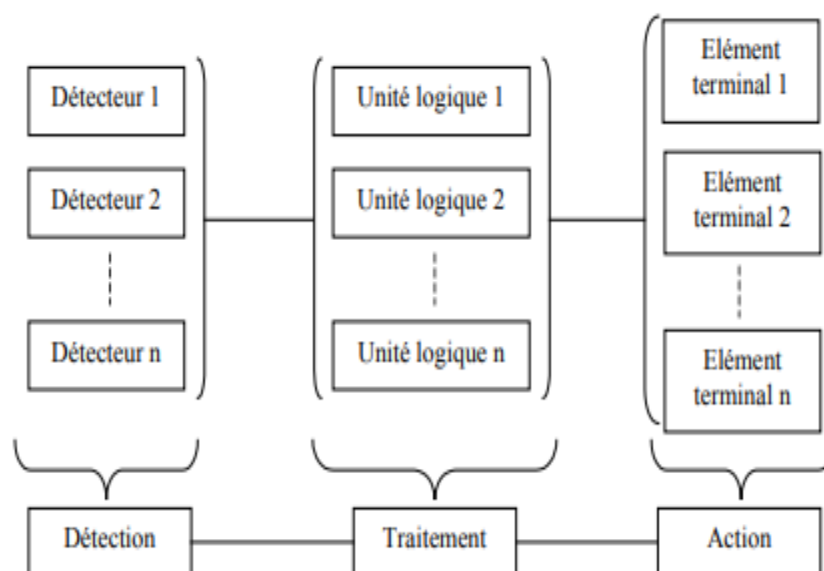


Figure 13: Schéma générique d'un système instrumenté de sécurité (INERIS Oméga 10, 2008)

Le système instrumenté de sécurité peut être composé de trois blocs possibles:

- Le premier c'est un bloc de détection, chargé d'identifier la dérive d'un paramètre (pression, température, etc.) vers un état dangereux, cet état dangereux étant souvent associé à une valeur seuil.
- Le deuxième c'est un bloc de traitement logique, chargé de recevoir le signal envoyé par les dispositifs de détection de danger et de le traiter afin de commander un actionneur par l'intermédiaire d'un signal de sortie.

- Le troisième c'est un bloc d'action, chargé d'écarter le système des dangers et de le mettre dans une position de sécurité.

7.2 Les barrières humaines

Ces barrières ne mettent aucune action relayée par des éléments techniques de sécurité, elle est faite par des actions menées par des opérateurs.

7.3 Systèmes à action manuelle de sécurité

Ces barrières font intervenir les barrières techniques et humaines.

La figure 14 représente la typologie des barrières de sécurité:

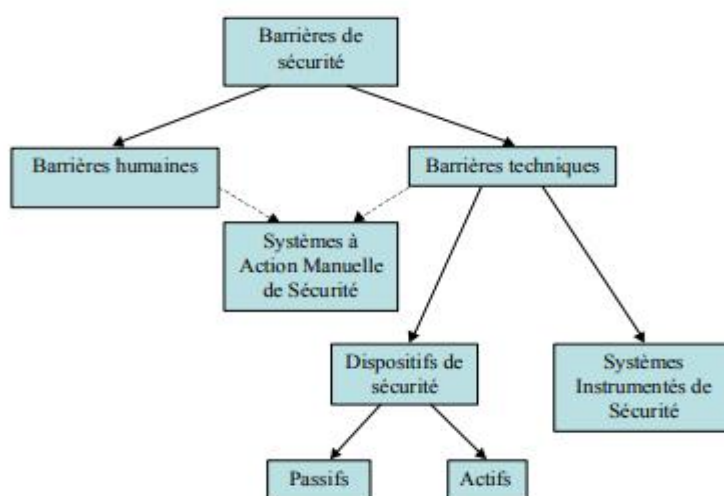


Figure 14: Typologie des barrières de sécurité (IDDIR, 2015), (INERIS Oméga 10, 2008)

Pour que ces barrières remplissent leurs fonctionnements et qu'elles soient performantes, il faut qu'elles répondent à des critères bien précis qui sont **l'efficacité, temps de réponse et le niveau de confiance NC**.

- L'efficacité

La mesure d'efficacité s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction de sécurité définie, en considérant un fonctionnement normal de la barrière, le pourcentage d'efficacité peut varier pendant la période de sollicitation de la barrière. Dans beaucoup de situations, l'efficacité est de 100% mais elle peut ne pas l'être, elle sera toujours retenue comme barrière de sécurité mais l'intensité du phénomène dangereux associé à cette barrière est alors évaluée en tenant compte de l'efficacité réelle de la barrière (INERIS Oméga 10, 2008).

- Temps de réponse

Le temps de réponse est le temps que prend les barrières de sécurité à répondre du moment où elles sont sollicitées au moment où elles commencent remplir leurs fonctions, en réalité il n'existe pas de temps de réponse idéal mais cela doit être le plus rapide possible car plus il y a de retard plus la gravité du scénario sera importante (INERIS Oméga 10, 2008).

- Niveau de confiance

L'évaluation des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux fait intervenir les facteurs de réduction de risques induits par les barrières de sécurité. L'INERIS a retenu pour qualifier le facteur de réduction de risques le niveau de confiance de la barrière. Le niveau de confiance correspond à une réduction de risques telle que : $10^{NC} < RR < 10^{NC+1}$

On retient souvent que le niveau de confiance est associé à une réduction de risques de 10^{NC} (INERIS Oméga 10, 2008).

Le tableau suivant issu de la norme (NF EN 61511-1, 2008) représente la correspondance entre le niveau de confiance et la réduction du risque :

Tableau 4: Correspondance entre le niveau de confiance et réduction du risque fonctionnant à la sollicitation (INERIS Oméga 10, 2008)

Niveau de confiance (NC)	Probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation (PFD_{avg})	Réduction du risque (RR)
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$	$10\ 000 < RR \leq 100\ 000$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$	$1\ 000 < RR \leq 10\ 000$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$	$100 < RR \leq 1\ 000$
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$	$10 < RR \leq 100$
0	$10^{-1} \leq PFD_{avg} < 1$	$1 < RR \leq 10$

La probabilité de défaillance c'est la probabilité que la barrière ne remplisse pas sa fonction de sécurité, il existe deux approches pour estimer cette probabilité (IDDIR, 2015), (INERIS Oméga 10, 2008):

- L'approche semi-quantitative**, elle permet d'associer un facteur de réduction de risque à une barrière. La probabilité de défaillance de la barrière n'est pas évaluée précisément.
- L'approche quantitative** permet de calculer la probabilité de défaillance à partir des paramètres de fiabilité (taux de défaillance, temps de réparation, etc.) des équipements qui composent la barrière

8. Principe de la quantification

La quantification sur le nœud papillon, a pour objectif d'estimer les probabilités d'occurrence des situations dangereuses et pour le faire, en premier, il faut évaluer la probabilité de l'événement redouté puis, affecter les probabilités de défaillance aux barrières de mitigation et de protection qui sont dans l'arbre d'événements, pour déduire les probabilités des phénomènes dangereux.

Cette quantification comporte trois étapes principales (IDDIR, 2015):

8.1 Evaluation de la fréquence d'occurrence de l'événement redouté

Elle peut se faire soit de manière directe en utilisant les banques de données quantifiées, soit par le calcul, c'est-à-dire à partir des probabilités des événements de l'arbre de défaillances et des règles de calculs associées aux portes logiques.

8.2 Estimation des probabilités de défaillance

Estimer les probabilités de défaillances des barrières de mitigation et de protection prévues pour limiter les conséquences en cas de survenance de l'événement redouté.

8.3 Evaluation des probabilités des phénomènes dangereux

Elle se fait à partir des deux étapes précédentes (8-1 et 8-2).

9. Différents types de banques de données

Quatre types sont à distinguer (IDDIR, 2015):

9.1 Les banques de données d'accidentologie (non quantifiées)

Ils rapportent pour les accidents leurs natures (incendie, explosion, etc.), leurs causes lorsqu'elles sont identifiées, et leurs conséquences

9.2 Les banques de données quantifiées

Ils rapportent des fréquences des événements redoutés de type perte de confinement sur canalisation, perte de confinement sur un réservoir de stockage, etc

9.3 Les banques de données de fiabilité

Ils rapportent des taux de défaillance d'équipements nécessaires au contrôle et au fonctionnement de procédé mais aussi des données de fiabilité relatives à des équipements de sécurité

Les banques de données relatives à la fiabilité humain.

La figure 15 montre la banque de données à utiliser en fonction des différentes étapes d'analyse des risques:

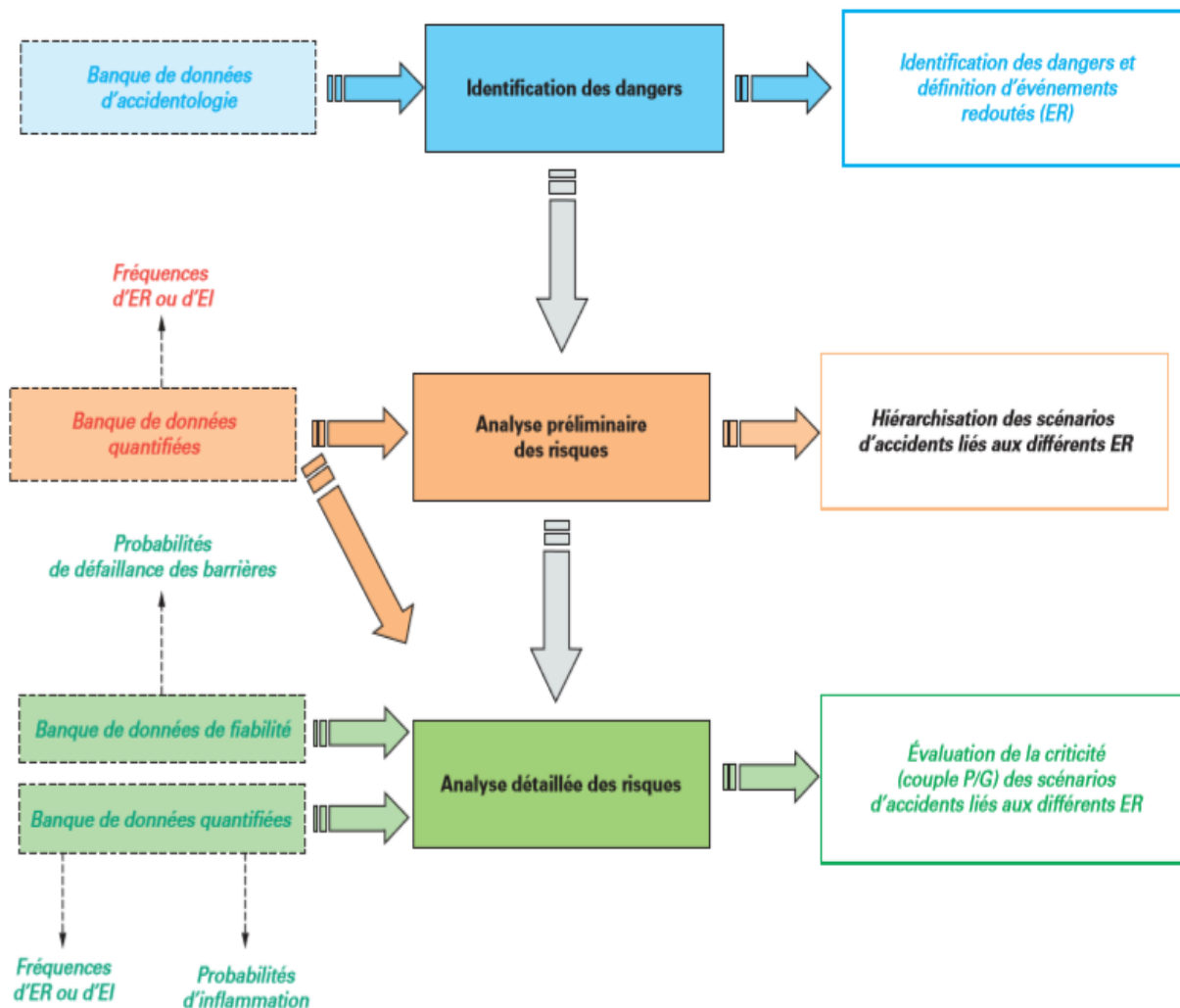


Figure 15: Banque de données à utiliser en fonction des phases de l'analyse de risques (IDDIR, 2015)

Après avoir déterminé tous les composants de la méthode nœud papillon et défini ce que chaque partie veut dire, on procède à la détermination de ses étapes avec détails.

10. Etapes de la méthode

La méthode du Nœud papillon comprend 11 étapes (figure 16) (www.unit.eu):

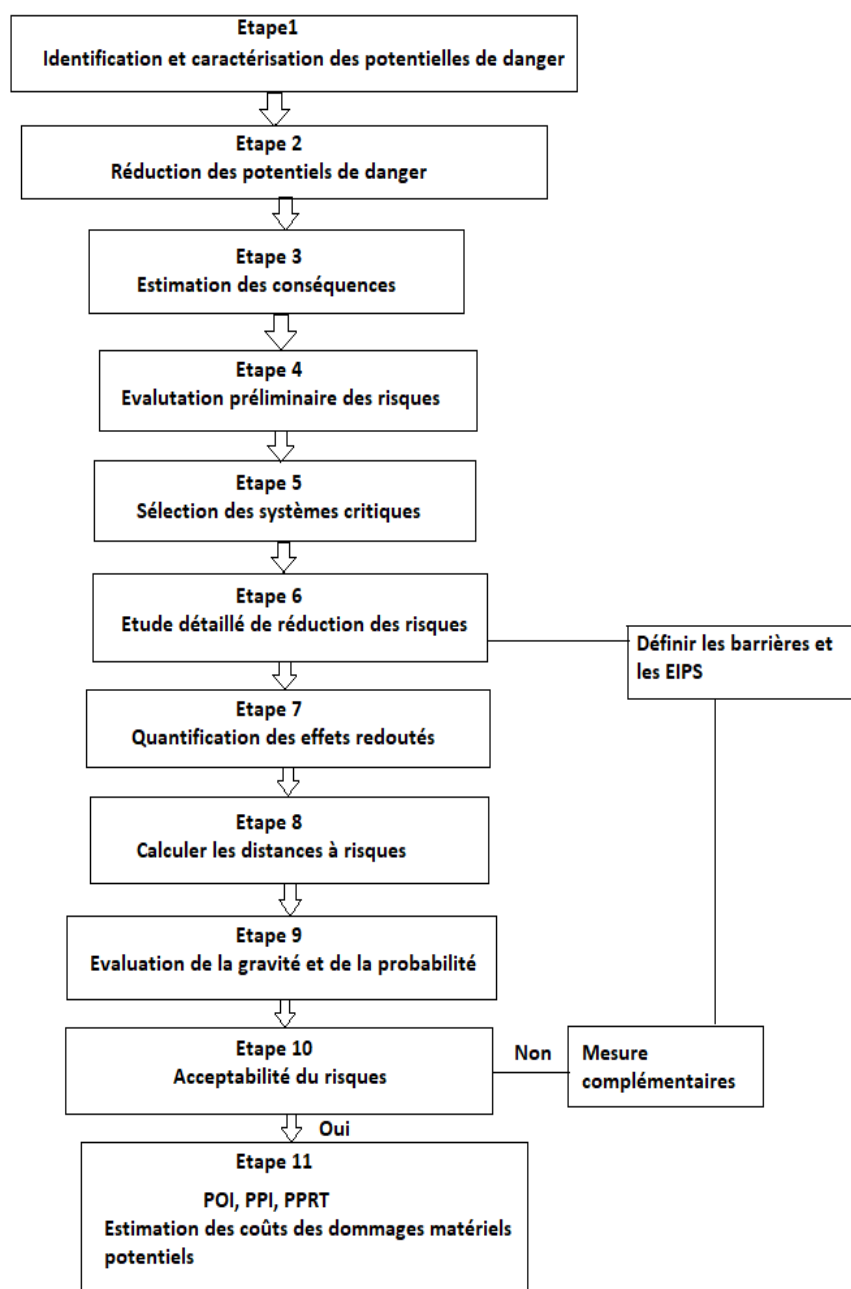


Figure 16: Schéma des étapes de la méthode nœud papillon

10.1 L'identification et caractérisation des potentiels de danger

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

Cette étape permet:

- D'identifier la nature des dangers,
- D'identifier les différentes circonstances ou menaces qui peuvent déclencher le danger
- D'identifier les évènements redoutés (catastrophe)
- D'identifier les conséquences possibles suite à la survenance de ces évènements redoutés.

10.2 La réduction des potentiels de danger

Pour les risques qui ont été identifiés et qui ont un fort potentiel de danger, sur cette étape on tente:

- De supprimer ou substituer aux procédés et aux produits dangereux à l'origine de ces dangers potentiels
- De réduire autant que possible la quantité de matières dangereuse.

10.3 L'estimation des conséquences potentielles

Sur cette étape, on fait une évaluation des conséquences potentielles du danger présent dans le système étudié.

Seuls les scénarios vraisemblables sont retenus.

Ces conséquences seront évaluées sur leurs gravité et classées selon leurs effets, cette évaluation se fera sur l'environnement, les personnes et les biens.

10.4 L'évaluation préliminaire des risques

Sur cette étape, on compare le risque potentiel aux critères des risques

Pour chaque conséquence d'un danger, le niveau de risque potentiel est évalué et pour cela on utilise une matrice appelée matrice de criticité (figure 17) qui est adaptée pour cette étude, elle comporte trois zones qui sont:

- La première zone en vert qui correspond à un risque jugé acceptable, faible
- La deuxième zone en jaune pour un risque moyen mais qui nécessite une intervention pour le rendre acceptable

- La troisième zone en rouge pour un risque inacceptable qui nécessite une étude bien détaillée pour chacun de ses scénarios pour rendre ce risque acceptable.

		Classes de gravité				
		G1	G2	G3	G4	G5
Classes de vraisemblance	V5					
	V4					
	V3					
	V2					
	V1					

Figure 17: Matrice de criticité (DESROCHES, 2013)

	Correspond à la criticité C3
	Correspond à la criticité C2
	Correspond à la criticité C1

Légende

10.5 La sélection des systèmes critiques

Jusqu'à cette étape, on a les événements critiques qui sont positionnées dans notre matrice de criticité et tous les scénarios situés dans la zone rouge sont considérés comme inacceptables.

On peut inclure aussi les scénarios qui sont dans la zone jaune mais qui à cause de la dégradation de la gravité ou de la probabilité d'occurrence les mettraient dans la zone critique.

Les scénarios qui seront identifiés doivent être tous répertoriés dans un registre des incidents majeurs qui sera un document fondamental pour le retour d'expérience.

10.6 L'étude détaillée de réduction des risques

Dans cette étape, on procède à l'identification de toutes les barrières capables d'opposer l'apparition des événements redoutés et/ou de ces conséquences.

A ce stade, on définit la liste des éléments importants pour la sécurité (EIPS) à partir de l'inventaire des barrières.

10.7 La quantification des effets redoutés et calcul des distances à risques

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

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

10.8 L'évaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité

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

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

10.9 Acceptabilité du risque

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

10.10 L'établissement des plans de prévention

A titre d'exemple en France, il y a 3 types de plans de prévention qui peuvent être réalisés:

- Plan d'Opération Interne réalisé par l'industriel (POI)
- Plan Particulier d'Intervention réalisé par le Préfet (PPI)
- Plan de Prévention des Risques Technologiques fait par le préfet en concertation avec les collectivités territoriales et l'exploitant (PPRT)

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

En Algérie, la loi des risques majeurs peut faire appel à un plan de prévention qui est l'ORSEC (Organisation de la réponse de sécurité civile), ce plan est prévu pour les catastrophes à moyens dépassés et on a 3 plans possibles:

- Le dispositif ORSEC zonal
- Le dispositif ORSEC départemental
- Le dispositif ORSEC maritime

11. Limites liées à la quantification d'un nœud papillon

11.1 Imprécisions liées aux données d'entrée

Il est nécessaire de comprendre que les probabilités des phénomènes dangereux estimées par le calcul ne doivent être considérées comme des valeurs exactes lors de la quantification dans cette méthode, les valeurs obtenues seront arrondies afin de prendre en compte les incertitudes sur les données d'entrée (IDDIR, 2015).

11.2 Imprécisions en amont de l'événement redouté

Les événements de base n'ont pas le même poids sur la probabilité d'occurrence de l'événement redouté en fonction de leurs positions dans l'arbre de défaillances et par le jeu des combinaisons de portes logiques, une variation importante des probabilités de certains événements de base peut dans certains cas ne causer qu'une faible variation de la probabilité d'occurrence de l'événement redouté (IDDIR, 2015).

11.3 Imprécisions en aval de l'événement redouté

La quantification du nœud papillon ne commence réellement que sur la partie arbre d'évènements pour de nombreux événements redoutés. Donc, le meilleur cas c'est d'estimer l'occurrence de l'événement redouté à partir de fréquences qu'on trouve sur les banques de données.

L'estimation des probabilités des événements redoutés secondaires et, celles des phénomènes dangereux, résultent de la combinaison de la fréquence d'occurrence de l'événement redouté et des probabilités de défaillance des mesures de mitigation/protection figurant dans l'arbre d'évènements. Alors, il apparaît que les erreurs lors de l'estimation des probabilités de défaillance des barrières se répercuteront directement sur les probabilités des événements redoutés secondaires (IDDIR, 2015).

12. Limite de la quantification des évènements redoutés à partir de banques de données

L'utilisation de fréquences d'occurrence des évènements redoutés issues de banque de données ne peut se faire qu'en conservant à l'esprit que ces valeurs sont nécessairement entachées d'incertitude pour les quatre raisons suivantes:

- Les banques de données ne rapportent généralement pas d'information concernant le niveau de sécurité (nature et performances des barrières de sécurité) des installations sur lesquelles se sont produits les accidents. Par conséquent, il est difficile de savoir si l'installation étudiée est plus sûre, ou moins sûre, que celles qui constituent l'échantillon statistique.
- Dans le cas d'installations existantes en faible nombre, ou en service depuis peu de temps, la taille de l'échantillon (nombre d'installations × durée d'observation) ne permet généralement pas d'obtenir des fréquences d'accidents représentatives (ou du moins avec un intervalle resserré autour d'une moyenne).
- Le calcul de fréquence d'occurrence basé sur le retour d'expérience ne prend en compte que les scénarios déjà survenus. Or, il est possible que d'autres combinaisons d'événements soient susceptibles d'aboutir à la réalisation de ce même accident. Par conséquent, les fréquences d'occurrence déduites de l'accidentologie peuvent s'avérer optimistes.
- Les fréquences d'accident évaluées à partir des banques de données incluent parfois des accidents anciens dont les industriels ont su tirer des enseignements (modification du procédé, mise en place de nouvelles barrières de sécurité, etc.)

13. Domaines d'application

La méthode d'approche nœud papillon a été développée par une entreprise du domaine industriel qui est SHELL et son domaine d'application majoritaire est sur l'extraction de pétrole et de gaz, c'est une méthode qui est très connue et qui a son poids sur ce domaine.

Sa mise en œuvre est complexe, mais c'est une méthode d'approche qui peut être appliquée dans tout type d'industrie.

C'est cette piste, encore vierge, que nous allons prendre en vue de l'appliquer dans un projet de construction.

Cette méthode peut être choisie pour maîtriser les risques dans le domaine de construction car son processus est efficace en terme d'identification, évaluation des risques ainsi que d'y faire face grâce aux barrières de sécurité, elle permettra de visualiser grâce à son schéma le scénario d'accident de ses causes jusqu'à ses conséquences. Pour identifier les risques, elle pourrait faire appel à d'autres outils de management qui la complètent, ce qui assure qu'aucun risque ne sera négligé.

14. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu une méthode de management des risques qui est celle du nœud papillon de type approche probabiliste. Elle permet une identification des risques et les différentes situations dangereuses, événements redoutés, causes, conséquences; tous ces éléments sont identifiés d'une manière méthodologique et présentés sous forme de schémas.

En vue de son efficacité, et que le domaine de construction nécessite un traitement à l'échelle macroscopique des obstacles, cette méthode pourrait bien y être compatible.

Il existe bien d'autres méthodes différentes qui permettent de maîtriser les risques, et dans le chapitre suivant nous allons présenter une deuxième méthode qui est l'Analyse globale des risques.

Chapitre III

METHODE D'APPROCHE « ANALYSE GLOBALE DES RISQUES »

1. Introduction

Le management des risques est un processus intégrant plusieurs activités et employant différentes méthodes et outils.

Dans ce chapitre nous allons définir la méthode analyse globale des risques, voir ses étapes, son objectif, son domaine d'application et déterminer si cette méthode pourrait être appliqué dans le secteur de construction.

2. Présentation de l'Analyse Globale des Risques

L'analyse globale des risques (AGR) a été développée vers la fin des années 1990. Après lui avoir donné initialement le nom d'APR dans la première édition qui se révélait trop restreinte, cette méthode a été renommée AGR en 2013 car elle en est éloignée tant par son champ d'application plus vaste que par son processus. De fait l'AGR est une méthode structurée qui a pour objectif l'identification, la hiérarchisation et la maîtrise des risques structurels, fonctionnels et conjoncturels consécutifs à l'exposition d'un système à un ensemble de dangers tout au long de sa mission ou de son cycle de vie.

3. Nature, but et logique de l'Analyse Globale des Risques

L'AGR peut être mise en œuvre à tout instant et toute phase du système étudié.

L'AGR a pour but d'identifier, d'analyser et d'évaluer les risques auxquels est exposé le système et de les maîtriser que ça soit en les supprimant (le cas idéal) ou en réduisant l'intensité des effets des événements indésirables.

L'AGR peut être mise en œuvre dans tous les domaines d'activités, la figure suivante nous donne un exemple:



Figure 18: Exemple de cartographie des risques de 3 activités différentes (DESROCHES et Al, 2016)

4. Processus de l'AGR

Le processus de cette méthode consiste à (DESROCHES et Al, 2016):

- Identifier les risques et leurs facteurs (cause contact, cause amorce), les évènements redoutés et leurs conséquences.
- Décrire les scénarios d'accidents en détail à partir des facteurs des risques.
- Evaluer les risques et identifier les actions de réduction de ces derniers, et de même pour les risques résiduels.
- Elaboration de plan d'actions en réduction ainsi que le catalogue des paramètres de sécurité.

La figure 19 représente un schéma du processus de l'AGR composé de 3 étapes clés qui eux-mêmes en regroupent plusieurs sous-étapes:

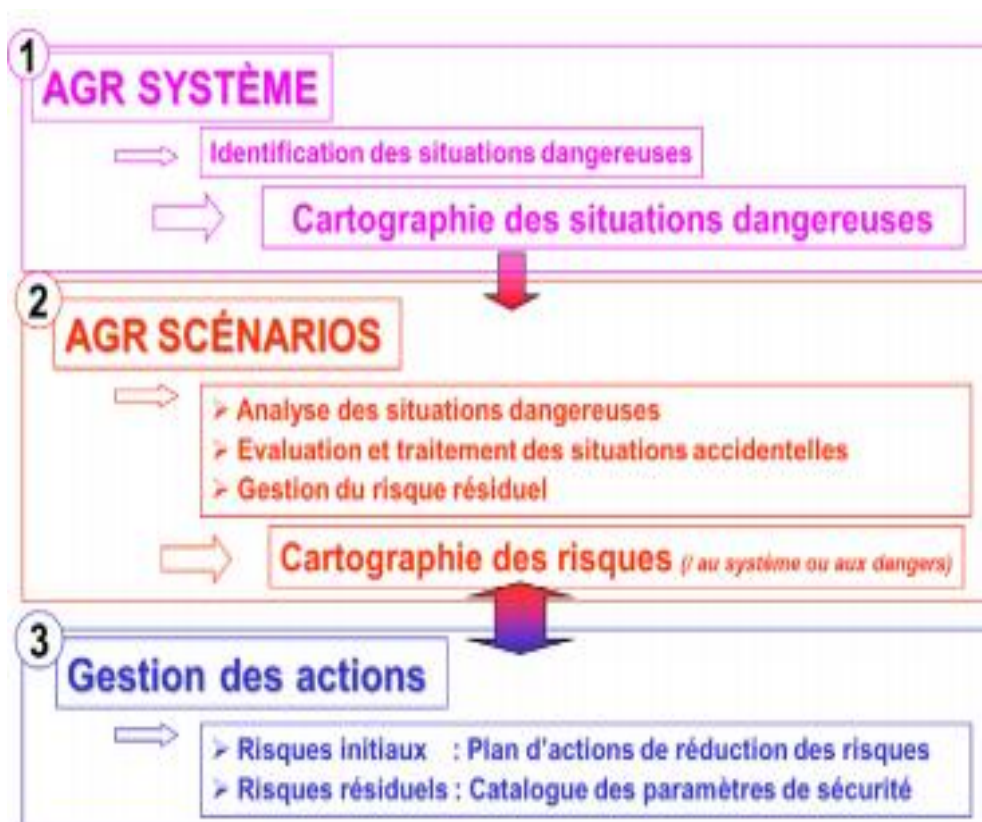


Figure 19: Processus de l'AGR (DESROCHES et Al, 2016)

4.1 AGR système

Dans cette étape, on fait une modélisation systématique du cas qu'on étudie, ensuite on procède à l'identification des risques qui exposent ce système aux dangers et enfin on élabore

une cartographie appelée cartographie des situations dangereuses qui regroupe l'ensemble des résultats du travail effectué dans cette étape.

4.1.1 La modélisation du système

Pour la bonne maîtrise des risques, on doit modéliser le cas d'étude en un système bien défini et on décortique tous ses composants afin de mieux comprendre comment marche notre système et d'identifier la vraie source du danger.

Le système sera donc défini par les trois éléments suivants: phase, fonction, sous-système.

Le tableau 5 montre un exemple de la modélisation d'un système:

Tableau 5: Exemple de système défini par les éléments <phases/fonctions/sous-système>

Ph/Fct/SS1				Ph/Fct/SS2						Ph/Fct/SS3								
Ph/Fct/SS11	Ph/Fct/SS12	Ph/Fct/SS13	Ph/Fct/SS14	Ph/Fct/SS21	Ph/Fct/SS22	Ph/Fct/SS23	Ph/Fct/SS24	Ph/Fct/SS25	Ph/Fct/SS26	Ph/Fct/SS31	Ph/Fct/SS32	Ph/Fct/SS33	Ph/Fct/SS34					
Ph/Fct/SS111	Ph/Fct/SS121	Ph/Fct/SS131	Ph/Fct/SS132	Ph/Fct/SS141	Ph/Fct/SS142	Ph/Fct/SS211	Ph/Fct/SS221	Ph/Fct/SS231	Ph/Fct/SS241	Ph/Fct/SS251	Ph/Fct/SS261	Ph/Fct/SS311	Ph/Fct/SS312	Ph/Fct/SS321	Ph/Fct/SS322	Ph/Fct/SS331	Ph/Fct/SS341	Ph/Fct/SS342

4.1.2 Identification des risques

Dans cette étape, on fait la recherche systématique des dangers susceptibles de contrarier les objectifs du projet ainsi que leurs causes initiales.

Les dangers génériques sont regroupés en 4 catégories qui sont:

- Dangers externes à l'entreprise.
- Dangers liés à la gouvernance de l'entreprise.
- Dangers liés aux moyens techniques de l'entreprise.
- Dangers liés à l'étude et production de l'entreprise.

Méthode d'approche: Analyse Globale Des Risques

Le tableau 6 nous donne une liste de 26 rubriques de dangers qu'on peut rencontrer durant tout le cycle de vie d'un projet en général (DESROCHES et Al, 2016) ; (DESROCHES, 2013).

Tableau 6: Liste des 26 rubriques de dangers génériques

	Dangers génériques	Abréviations	Description
Externes à l'entreprise	Politique	POL	Evènement lié à la prise ou à l'exercice du pouvoir (pouvant s'opposer à la réussite de l'entreprise)
	Environnement	ENV	Evènement dangereux (aléatoire) pour l'entreprise ayant pour origine ses environnements (naturel, sanitaire et technologique)
	Insécurité	INS	Evènement menaçant (déterministe) entraînant de nuisances pour l'entreprise (physique et logique)
	Image	IMA	Evènement pouvant porter atteinte à l'image de l'entreprise
	Clients	CLI	Evènement généré par le client (décision, propos, ect.) entraînant des nuisances pour l'entreprise
Gouvernance à l'entreprise	Entreprise	ENTRP	Evènement dangereux générique intrinsèque (structure, ect.) à l'entreprise s'opposant à sa pérennité
	Management	MAN	Evènement dangereux associé à une défaillance du facteur humain comme ressource de décision ou de compétence professionnelle
	Stratégie	STR	Evènement et/ou contrainte aléatoire externe non aux enjeux et au développement durable de l'entreprise
	Programmatique	PROG	Evènement non conformes aux besoins et aux intérêts programmables de l'entreprise
	Technologique	TECH	Potentiel d'acquisition ou niveau de savoir-faire technique de l'entreprise non-conforme ou insuffisant pour atteindre ses objectifs
	Communication et crises	COM	Déclaration interne ou externe contraire aux objectifs de l'entreprise

Méthode d'approche: Analyse Globale Des Risques

	Social	SOC	Evènement volontaire du personnel non-conforme au contrat de travail portant atteinte aux objectifs de l'entreprise
	Ethique et déontologie	ETH	Action contraire à une échelle de valeurs humaines de nature éthique, déontologie, de savoir-vivre et de moralité professionnelle
	Juridique	JUR	Evènement externe ou décision interne pouvant mettre l'entreprise en situation non-conforme aux lois ou aux réglementations
	Financier	FIN	Evènement externe ou décision interne entraînant un effort financier, programmé ou non pour l'entreprise dans son plan de développement
	Economique	ECO	Contrainte ou décisions interne pouvant porter atteinte au aux moyens de production de soins de l'entreprise
	Commercial	COMR	Tout évènement ou décision interne pouvant porter pour atteinte au potentiel d'achat et de vente de l'entreprise
Moyens techniques de l'entreprise	Infrastructures et locaux	INFRA	Evènement dangereux relatif aux bâtiments et locaux de l'entreprise
	Matériels et équipements	MAT	Evènement dangereux venant entamer le potentiel de fonctionnement nominal des matériels et équipements de l'entreprise
	Système d'information	SI	Evènement dangereux (aléatoire) associé au traitement au système d'information, aux données ou leur archivage
Etude et production de l'entreprise	Projet et études	PROJ	Evènement dangereux pouvant s'opposer au déroulement nominal et à la réussite du projet
	Opérationnel	OPE	Evènement pouvant réduire le niveau de sécurité et/ou le potentiel opérationnel de l'entreprise pendant l'exploitation d'une installation
	Facteur humain	FH	Evènement dangereux associé à l'intervention de l'homme comme élément système
	Professionnel	PROF	Evènement dangereux pour l'homme associé à son exercice de son activité professionnelle dans l'entreprise

Méthode d'approche: Analyse Globale Des Risques

	Physico-chimique	PHYS	Evènement ou élément de nature générique physique ou chimique
	Produits	PROD	Evènement dangereux relatif aux produits utilisés ou générés

4.1.3 Cartographie des situations dangereuses

Cette cartographie est faite par la juxtaposition de la cartographie des dangers (Tableau 3.3) et le tableau 3.1 qui définit le système.

La cartographie des dangers consiste à recenser les risques et à les synthétiser sur un tableau dans lequel ils seront placés.

Tableau 7: Format de la cartographie des dangers (DESROCHES et Al, 2016)

Danger génériques	Dangers spécifiques	Evènements et éléments dangereux

Par la juxtaposition du tableau 5 et le tableau 7, on obtient le tableau suivant:

Tableau 8: Format de la cartographie des situations dangereuses

			Ph/Fct/SS1				Ph/Fct/SS2						Ph/Fct/SS3								
			Ph/Fct/SS11	Ph/Fct/SS12	Ph/Fct/SS13	Ph/Fct/SS14	Ph/Fct/SS21	Ph/Fct/SS22	Ph/Fct/SS23	Ph/Fct/SS24	Ph/Fct/SS25	Ph/Fct/SS26	Ph/Fct/SS31	Ph/Fct/SS32	Ph/Fct/SS33	Ph/Fct/SS34					
DG	DS	ED	Ph/Fct/SS111	Ph/Fct/SS121	Ph/Fct/SS131	Ph/Fct/SS132	Ph/Fct/SS141	Ph/Fct/SS142	Ph/Fct/SS211	Ph/Fct/SS221	Ph/Fct/SS231	Ph/Fct/SS241	Ph/Fct/SS251	Ph/Fct/SS261	Ph/Fct/SS311	Ph/Fct/SS312	Ph/Fct/SS321	Ph/Fct/SS322	Ph/Fct/SS331	Ph/Fct/SS341	Ph/Fct/SS342
DG 1	DS 1	ED 111																			
	DS 2	ED 121																			
	DS 3	ED 131																			
	DS 4	ED 141																			
DG 2	DS 1	ED 211																			

		ED 212																		
		ED 213																		
		ED 214																		
	DS 2	ED 221																		
		ED 222																		
	DS 3	ED 231																		
		ED 232																		
DG 3	DS 1	ED 311																		
		ED 312																		
	DS 2	ED 321																		
		ED 322																		
DG 4	DS 1	ED 411																		
	DS 2	ED 421																		
		ED 422																		

DG: Danger générique

DS: Danger spécifique

ED: Élément dangereux

4.2 AGR scénarios

La seconde étape du processus de l'analyse globale des risques est l'AGR scénario.

Cette étape regroupe les activités suivantes: Analyse des risques, évaluation et la réduction des risques initiaux et résiduels, l'élaboration des cartographies des risques.

Pour analyser les risques, on procède à l'utilisation des éléments de décision qui comportent plusieurs critères, car les risques seront classés par ces derniers afin de déterminer comment gérer les dangers rencontrés (DESROCHES et Al, 2016).

Parmi ces critères de décision, on a:

4.2.1 L'échelle de gravité

Elle est définie de façon qualitative par une échelle à 5 niveau et chaque niveau a son index de gravité et sa nature de conséquence qui définit la dégradation de performance. Le tableau suivant montre un exemple (DESROCHES, 2013).

Tableau 9: Exemple d'échelle de gravité

Echelle de gravité			
Classe	Intitulé	Nature des conséquences	Index de gravité
G1	Mineure	Aucun impact sur le déroulement nominal du projet	1
G2	Significative	-Impact très faible ou faible sur la conduite ou le déroulement du projet -Très faible ou faible dégradation des performances ou léger surcoût ou faible glissement des délais	2
G3	Grave	-Difficulté légère sur la conduite ou le déroulement du projet -Dérive légèrement inférieure ou égale aux aléas pris en compte sur les performances et/ou les délais et/ou les coûts	3
G4	Critique	Difficulté grave sur la conduite ou le déroulement du projet -Dérive supérieure ou très supérieure aux aléas sur les performances et/ou les coûts et/ou les délais	4
G5	Catastrophique	-Difficulté extrêmement grave pouvant conduire à l'impossibilité d'organiser ou de conduire le projet à son terme -Dérive extrêmement importante des performances atteintes et/ou des coûts et/ou des délais entraînant l'arrêt du projet	5

4.2.2 L'échelle de vraisemblance

La vraisemblance est la probabilité d'occurrence d'un risque durant le cycle de vie d'un projet, elle est définie de façon qualitative par une échelle à 5 niveau et chaque niveau a son index de vraisemblance. Le tableau suivant montre un exemple. (DESROCHES, 2013)

Tableau 10: Exemple d'échelle de vraisemblance

Echelle de vraisemblance		
Classe de vraisemblance	Intitulé	Index de vraisemblance
V1	Extrêmement improbable	1
V2	Très improbable	2
V3	Improbable	3
V4	Possible	4
V5	Probable à certain	5

La suite, par juxtaposition des deux tableau 9 et 10, on obtient une matrice de criticité, c'est avec cette dernière qu'on définit la tolérance du risque identifié (Figure 20)

		Classes de gravité				
		G1	G2	G3	G4	G5
Classes de vraisemblance	V5					
	V4				C3	
	V3			C2		
	V2		C1			
	V1					

Figure 20: Exemple de matrice de criticité (DESROCHES et Al, 2016)

On observe qu'il y a trois couleurs qui représentent trois classes différentes et chaque classe détermine le niveau du risque ainsi que la nature de décision à prendre (Tableau 11)

Tableau 11: Exemple d'échelle de criticité (DESROCHES et Al, 2016)

	Echelle de criticité	
Classes de criticité	Niveau du risque	Nature des décisions
C1	Acceptable en l'état	Le projet peut se dérouler nominalement sans démarrer d'action complémentaire
C2	Tolérable sous contrôle	Le projet utilise les marges pour aléas et contrôle leur évolution
C3	Inacceptable	Le projet engage en urgence des actions spécifiques telles que: -Changement de stratégie de développement -Modification de l'organisation -Modification du processus de gestion du projet -renégociation des objectifs telle que dérogation pour la dégradation des performances, coût ou délais -Arrêt de projet

Pour les risques identifiés, et évalués grâce à la matrice de criticité, on détermine la nature de décision à prendre pour réduire leurs intensités ou de les supprimer et de même pour les risques résiduels. Le travail effectué sera récapitulé sur le tableau suivant:

Tableau 12: Tableau récapitulatif des risques initiaux et résiduels

N°	Phase	Situation dangereuse	Cause contact	Evènement redouté	Cause amorce	Traitement déjà existant	P	C	D	S	Conséquences sur le projet	Gi	Vi	Ci	Action de réduction du risque				E	Gr	Vr	Cr	Gestion du risque résiduel		

4.2.3 L'élaboration des cartographies

On a deux types de cartographies qui sont le diagramme de Farmer et le diagramme de Kiviat, que ça soit par élément système ou par nature de danger pour chacun des deux.

A. Diagramme de Farmer

Les objectifs en termes de risques acceptables et inacceptables peuvent être visualisés sous forme de diagramme appelé diagramme de Farmer où sur un quart de plan sont tracées:

- L'échelle de gravité des conséquence G des évènements redoutés en abscisse.
- La probabilité d'occurrence de chacune des gravités g en ordonnée.

Les courbes visualisés sur la figure 21 sont appelés courbes d'acceptabilité du risque, elles séparent les domaines à risque acceptable et à risque inacceptable (DESROCHES et Al, 2003).

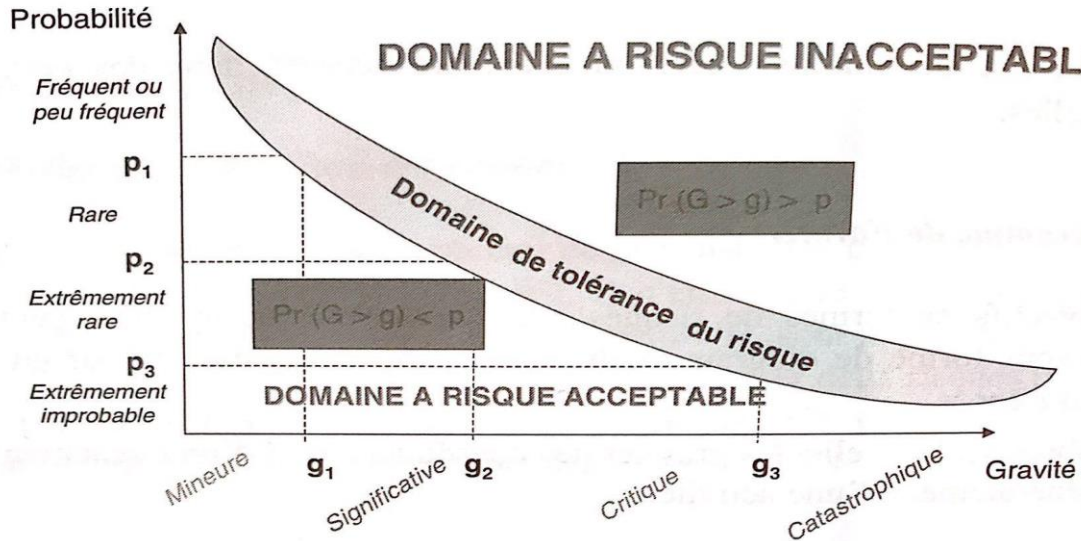


Figure 21: Diagramme de Farmer

B. Diagramme de Kiviat

Le diagramme de Kiviat, diagramme radar ou diagramme étoile sert à représenter les données qu'on a sur un plan a deux dimensions au moins, chaque axe part du même point de départ représente une caractéristique quantifiée. Ce diagramme regroupe les valeurs maximum, moyenne et minimum des risques par nature de danger ou élément système (Figure 22) (Wikipédia)

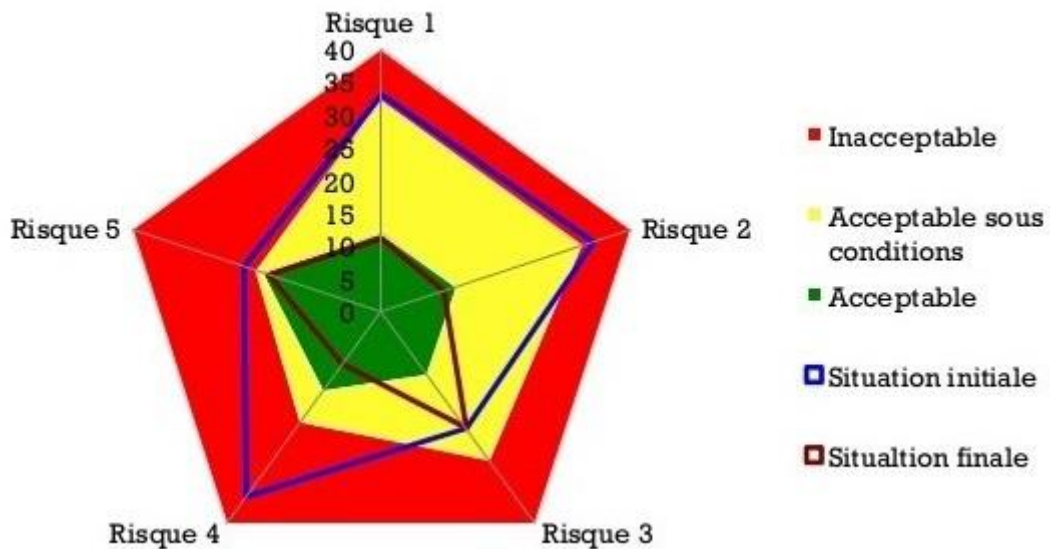


Figure 22: Diagramme de Kiviat

4.2.4 L'échelle de perte

Pour chaque élément système étudié, il lui est assigné son index de perte qui indique le niveau des dégâts causés par les risques et chaque index a sa valeur de perte financière décrite par des experts selon le système, le tableau 13 classifie ces index par conséquence:

Tableau 13: Tableau des index de perte (DESROCHES et Al, 2016)

Classe de perte	Niveau	Index	Intitulés des pertes par conséquence
P0	Nul	0	Aucune perte
P1	Faible	1	Perte très faible à faible
P2	Moyen	2	Perte moyenne
P3	Important	3	Perte importante à très importante

Par exemple un système qui est complètement détruit par les risques, les experts peuvent lui assigner une valeur de perte de **3** et de cet index par un autre tableau des valeurs financières on pourrait déterminer la perte financière qu'a causé les risques pour ce système.

4.2.5 L'échelle d'efforts

Cette échelle définit l'effort fait par l'entreprise pour couvrir les pertes causées par les risques ainsi que la maîtrise de ces derniers, chaque classe d'effort a son index qui sera déterminé par des experts et chaque index a sa valeur financière, le tableau 14 montre les quatre index qu'on peut avoir.

Tableau 14: Tableau des index d'efforts (DESROCHES et Al, 2016)

Classe d'effort	Niveaux	Index	Intitulés des efforts par action
E0	Nul	0	Aucun effort
E1	Faible	1	Effort très faible à faible
			Contrôle ou action ponctuel
E2	Moyen	2	Effort moyen

			Contrôle ou action périodique
E3	Important	3	Effort important à très important
			Contrôle ou action continu
			Effort au plus haut niveau

Par exemple un système qui est dans un état critique, nécessite beaucoup d'efforts pour sa remise en état, les experts lui définissent un index qui définira l'effort établi par l'entreprise pour couvrir les pertes et de cet index on définira la valeur financière réelle qu'a fourni l'entreprise.

4.2.6 Evaluation des rapports coût-risque

Le coût des efforts couvre à la fois les coûts des actions de réduction des risques initiaux et les coûts des actions de contrôle des risques résiduels:

- Les coûts des actions de réduction définies dans le plan de réduction des risques sont directement associés aux conséquences et à leur criticité initiale.
- Les coûts des actions de contrôle définies dans le catalogue des paramètres de sécurité sont directement associés aux actions de réduction et à leur criticité résiduelle. (Figure 23) (DESROCHES, 2013).

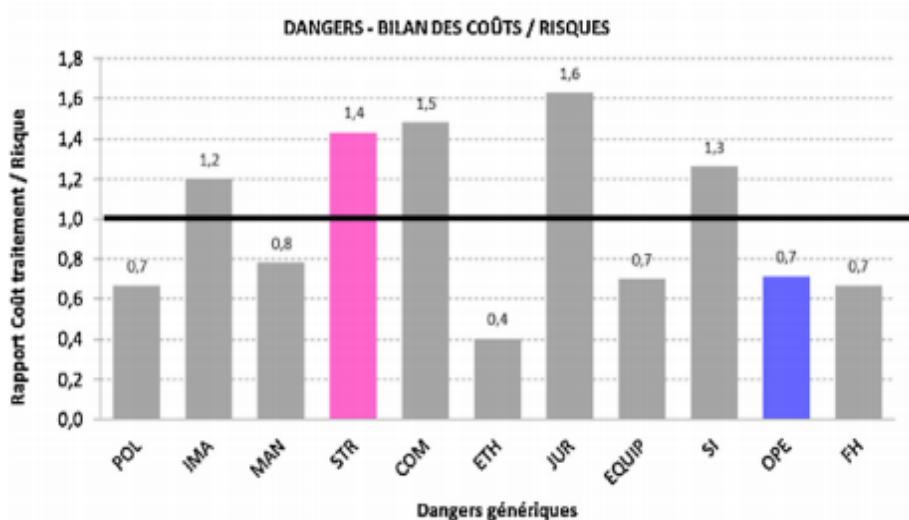


Figure 23: Diagramme des rapports couts-risques

Toutes ces étapes décrites dans l'AGR système et scénario peuvent être très utiles dans le domaine de construction en vue des problèmes qu'il rencontre car elles prennent soin de tous les détails et composants du système concerné.

4.3 Gestion des actions

Cette étape se fait par la rédaction d'un plan d'action de réduction des risques et d'un catalogue de paramètres de sécurité

4.3.1 Plan d'action de réduction des risques

Ce plan (Tableau 15) regroupe tous types d'actions visant à réduire les risques initiaux de criticité C2 et C3 et il existe deux types d'actions de réduction qui sont:

- Celles qui réduisent structurellement le risque initial et donc ne nécessitent pas d'actions complémentaires.
- Celles qui réduisent conjoncturellement ou fonctionnellement le risque et nécessitent pour leur pérennisation des actions complémentaires, généralement récurrentes et/ou de contrôle, appelées paramètres de sécurité traités en termes de gestion des risques résiduels.

Les actions qui contribuent à la réduction des risques initiaux d'un scénario doivent:

- Avoir pour objectif de permettre la diminution de la gravité et/ou de la vraisemblance du risque initial
- Être applicables, explicites et non interprétables
- Être directives et non intentionnelles
- Être mesurables en termes de:
 - ✓ Taux de couverture en prévention et protection du risque initial évalué
 - ✓ Robustesse vis-à-vis du risque qu'elles sont censées réduire
 - ✓ Être planifiables et planifiées
 - ✓ Être évaluées financièrement en termes d'efficience par rapport coût de l'effort/coût de la perte
 - ✓ Être exemptes d'effets secondaires dont les risques induits sont inacceptables, sinon pouvoir les maîtriser.

Tableau 15: Exemple de fiche d'action de réduction des risques (DESROCHES, 2013)

1.PROGRAMME	PLAN D' ACTIONS DE REDUCTION DES RISQUES				2.Date: FICHE N°: REF ETUDE: RESPONSABLE:
3.SOUS-SYSTEME:					
4.DESRIPTION DES ACTIONS DE REDUCTION DES RISQUES					
5.Si action de prévention → 1	Si actions de protection → 2			Si actions mixtes → 3	
6.Taux de définition des actions de réduction des risques	0%	25%	50%	75%	100%
7.EFFETS SECONDAIRES DES ACTIONS DE REDUCTION DES RISQUES					
7.1 Description des effets secondaires identifiés (à court, moyen et long terme)					
7.2 Actions de maîtrise des effets secondaires					
8.Taux de maîtrise des risques des effets secondaires	0%	25%	50%	75%	100%
9. DISPOSITIONS DE REALISATION, DE CONTROLE ET DE VALIDATION DES ACTIONS DE REDUCTION DES RISQUES					
10.Taux estimé des actions consolidées déjà réalisées par rapport aux actions décrites	0%	25%	50%	75%	100%
11.OBSERVATIONS					
11.1. Causes de non application des actions de réduction des risques:					
11.2. Décisions prises et actions proposées:					

4.3.2 Catalogue de paramètres de sécurité

Les paramètres de sécurité correspondent aux actions définies en sorties des études de risques qui doivent être suivies dans le cadre de l'activité de gestion des risques résiduels.

Le regroupement des fiches de paramètres d'un projet s'appelle catalogue de paramètres de sécurité (tableau 16), ce catalogue est réactualisé en fonction de l'évolution de l'activité et des études de risques associées.

Tableau 16: Exemple de fiche de paramètres de sécurité (DESROCHES, 2013)

PROGRAMME	PLAN D' ACTIONS DE REDUCTION DES RISQUES					Date:
						FICHE N°:
						REF ETUDE:
Activité:						RESPONSABLE:
Elément:						
Taux d'avancement de la réalisation des actions de réduction des risques qui précèdent et engendrent l'initialisation des actions du paramètre de sécurité	0%	25%	50%	75%	100%	
DESCRIPTION DE L' ACTIONS DE MAITRISE DES RISQUES						
Si action de contrôle, mettre 1	1	Si prise d'assurance, mettre 2	2	Si action mixtes, mettre 3	3	
DISPOSITIONS DE REALISATION, DE VALIDATION ET DE CONTROLE						
Taux d'avancement de la réalisation des actions du paramètre de sécurité	0%	25%	50%	75%	100%	
OBSERVATIONS						

Ce tableau regroupe toutes les informations concernant l'avancement des fiches synthèses des paramètres suivant:

- L'intitulé des paramètres de sécurité
- Le nombre total de scénarios où le paramètre considéré a été appelé
- Les taux de définition des paramètres (25%, 50%, 75%, 100%)
- Les dates programmées et réalisées de définition des paramètres
- Les taux de maîtrise des effets secondaires des paramètres (25%, 50%, 75%, 100%)

5. Domaines d'application

D'après l'historique de la méthode analyse globale des risques, le domaine sur lequel elle a été mise en œuvre majoritairement c'est le domaine médical même si elle peut être utilisée dans différents types d'industries et que son application est simple.

Vu son processus et ses étapes, on peut l'utiliser dans le secteur de construction car elle rentre dans les détails du système étudié et elle permettra de définir tous les risques qui l'exposent au danger qu'ils soient mineurs ou majeurs, les évaluer et les réduire (action de protection ou de prévention) et de même pour les risques résiduels. Et au final, elle regroupe les actions faites dans un plan d'action qui permet entre autres de faire un suivi et de déterminer l'efficacité des actions de réductions proposés.

C'est une méthode assez connue par son efficacité et grâce à son processus, généralement ses résultats satisfont les besoins.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu la méthode analyse globale des risques qui est de type approche probabiliste. Cette méthode nous permettra de faire une analyse détaillée et profonde des risques initiaux afin de les réduire ou de les supprimer grâce à son processus qui comporte des étapes qui visent le risque dans sa vraie source. Sa mise en œuvre nécessite une bonne connaissance du système dont on fait l'étude.

En construction, les projets sont des opérations complexes et durant leurs cycles de vie, il est fort possible que les choses ne se déroulent pas comme prévu dans le planning et que les entreprises rencontrent des risques majeurs ou mineurs, alors on peut dire que la méthode présentée dans ce chapitre pourrait être très utile et compatible pour le traitement de ces derniers.

Dans le chapitre suivant, nous allons voir une application des outils de management présenté sur un cas pratique dans le secteur de construction.

Chapitre IV

MISE EN OEUVRE DE LA METHODE AGR ET NŒUD PAPILLON SUR UN CAS D'ETUDE

1. Introduction

Tout projet dans tout secteur nécessite un management des risques pour le bon déroulement de ses activités selon le délai et les coûts impartis. Chaque entreprise doit réfléchir à sa stratégie de gestion des risques, définir les sources des dangers et se donner tous les moyens nécessaires pour y faire face afin de préserver sa réputation et assurer sa pérennité.

La pénétrante autoroutière de GHAZAOUET comporte 4 viaducs dans son tracé, leurs réalisations représente une difficulté pour les entreprises en terme de risques.

Dans ce chapitre, on va faire l'application des 2 méthodes d'approches de management des risques sur un cas d'étude pour la maîtrise des risques identifiés en vue du bon déroulement du projet de réalisation de ces viaducs.

Ce chapitre va être divisé en deux parties. Sur la première partie, on va faire la présentation de notre site, sa localisation et ses caractéristiques, la deuxième c'est l'application des deux méthodes d'approches définies dans les chapitres précédents qui sont le nœud papillon et l'analyse globale des risques ainsi une comparaison sera faite afin de déterminer quelle est la méthode la plus performante.

2. Présentation du projet

Notre étude de cas concerne la pénétrante qui relie le port de GHAZAOUET à l'autoroute Est-Ouest de 41km et plus précisément ses viaducs.

Cette pénétrante a comme avantage de:

- Faciliter aux gros camions de cargaison la circulation.
- Réduire le trafic des camions sur l'ancienne route nationale qui devenait de plus en plus dangereuse vu son taux élevé d'accidents.
- Le gain de temps et de distance de l'autoroute jusqu'au port de la commune de GHAZAOUET



Figure 24: Photo du site

Le projet a débuté en 2015 et actuellement en Octobre 2019, il est à un taux d'avancement de 27%, seulement 11,3 km qui a été réalisé par les différentes entreprises.

Le tracé est formé de 04 viaducs (Figure 25) dont 03 qui ont été réalisés par l'entreprise CRCC, et 01 par l'entreprise SEROR. Ils représentent 17% des travaux réalisés:

- Viaduc au PK2,3: 1112m
- Viaduc au PK4,0: 286m
- Viaduc au PK5,9: 386m
- Viaduc au PK8,7: 394m

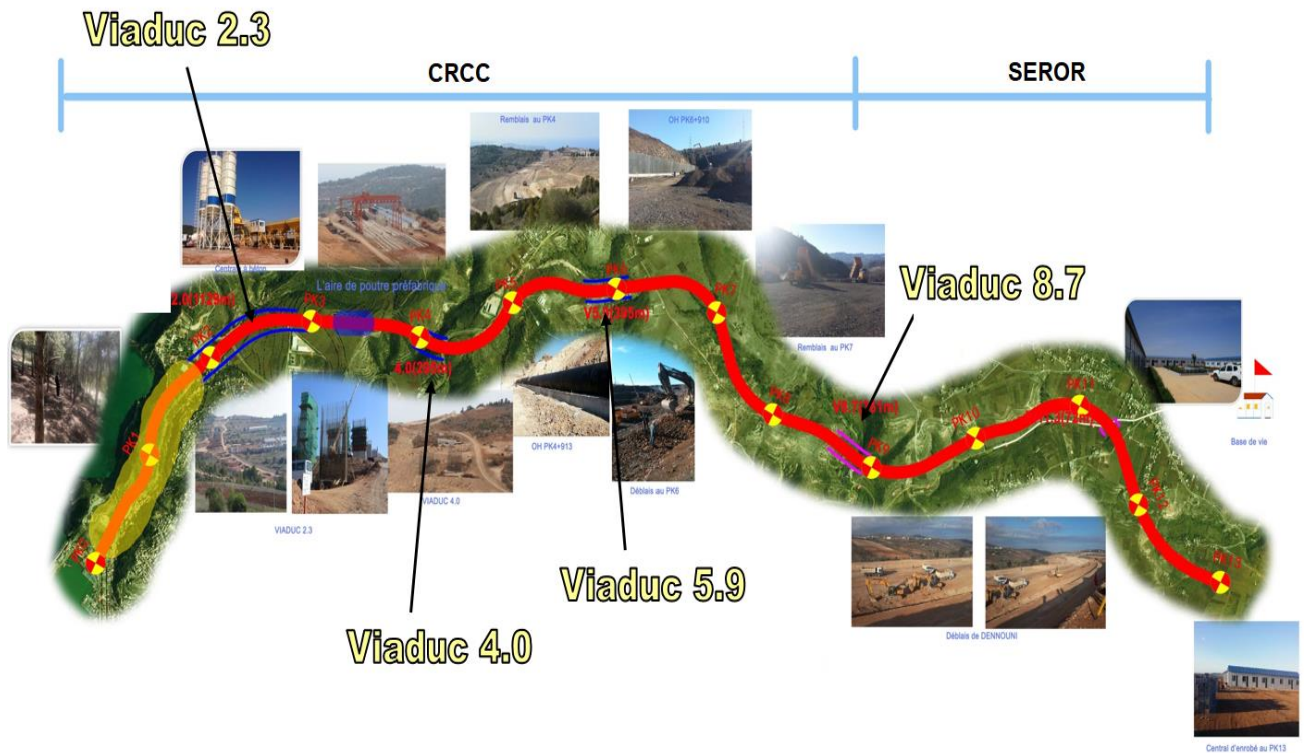


Figure 25: Localisation des 4 viaducs

Le tableau 17 représente la fiche technique de ce projet:

Tableau 17: Fiche technique du projet de la pénétrante autoroutière de GHAZAOUET

<i>Fiche technique</i>	
Maitre d'ouvrage	Ministère des travaux publics et des transports
Maitre d'ouvrage délégué	Algérienne des autoroutes
Entreprise de réalisation	Groupement <C.S.D.G> Algéro-Chinois <CRCC-SEROR-SARL ETP DENNOUNI>
Bureau de contrôle et suivi	Groupement Algéro-Français <Egis-International/LTPO>
Bureau d'étude/Etude d'exécution	FHCC-Chine et BET-SEROR
Bureau de contrôle externe	Etudes:KDEC-KOREE du sud/Travaux:LTPS-Algérie
Montant de l'A.P	25 Milliard de Dinars
Délai d'exécution	48 Mois
Montant du marché	20,987 Milliards DA
Linéaire	11,3 Km
Terrassements	5,3 Millions m^3

Viaduc	04 U (2189 ml)
Echangeur(Provisoire pour la fonctionnalité du projet)	01 U
Passage inférieur	01 U + 01 PICF
Passage supérieur	02 U
Ouvrages hydrauliques	14

3. Description des viaducs

Les viaducs (figure 26) ont des tabliers à poutres préfabriquées en T de 36m dont 8 par travée (figure 27). Ils comportent des piles pleines ou creuses dont les hauteurs varient de 8 à 48m selon le terrain et la crue (figure 28), des fondations sur pieux de diamètre Ø120. Le tableau suivant regroupe les caractéristiques techniques des 4 viaducs:

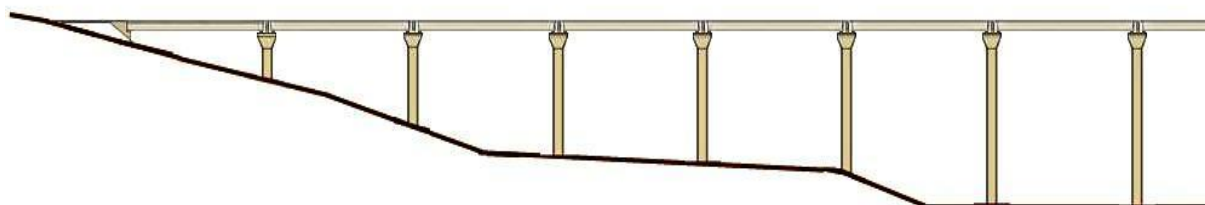


Figure 26: Coupe longitudinale du tablier

Tableau 18: Tableau récapitulatif des caractéristiques techniques

Pénétrante de Ghazaouet

Viaducs		1ère tranche			Quantités prévues				
OA	PK	Éléments	Nombre	Longueur ou Surface	Travées		Béton (m³)	Armatures HA	
					Gauche	Droite		Kg/m³	Kg
Viaduc 2.3		Pieux	644 U.	8 714 m	31	32	80 302	154 Kg/m³	12 377 228
		Appuis	65 U.		L = 1 112 m		Péconstrainte		724 237 Kg
		Poutres	1 008 U.		S = 32 248 m²				
Viaduc 4.0		Pieux	64 U.	778 m	8	8	18 770	154 Kg/m³	2 917 689
		Appuis	18 U.		L = 286 m		Péconstrainte		188 940 Kg
		Poutres	256 U.		S = 8 294 m²				
Viaduc 5.9		Pieux	210 U.	3 043 m	11	11	28 042	154 Kg/m³	4 322 206
		Appuis	24 U.		L = 386 m		Péconstrainte		259 792 Kg
		Poutres	352 U.		S = 11 194 m²				
Viaduc 8.7		Pieux	210 U.	3 043 m	11	11	28 042	154 Kg/m³	4 322 206
		Appuis	24 U.		L = 386 m		Péconstrainte		259 792 Kg
		Poutres	352 U.		S = 11 194 m²				
TOTAL		Pieux	1 128 U.	15 578 m	61	62	155 156	154 Kg/m³	23 939 330
		Appuis	131 U.		L = 2 178 m		Péconstrainte		1 432 760 Kg
		Poutres	1 968 U.		S = 63 162 m²				

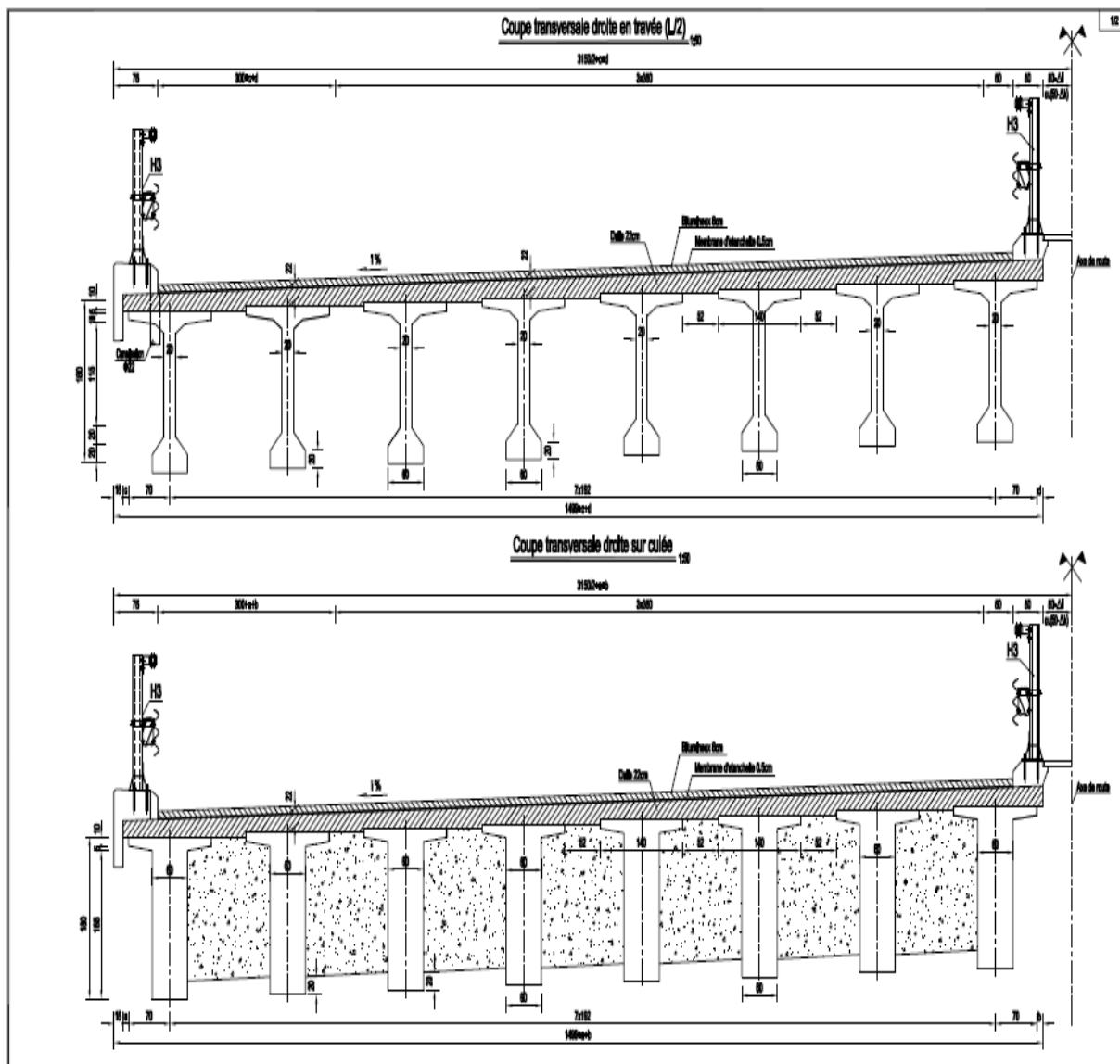


Figure 27: Coupe transversale du tablier

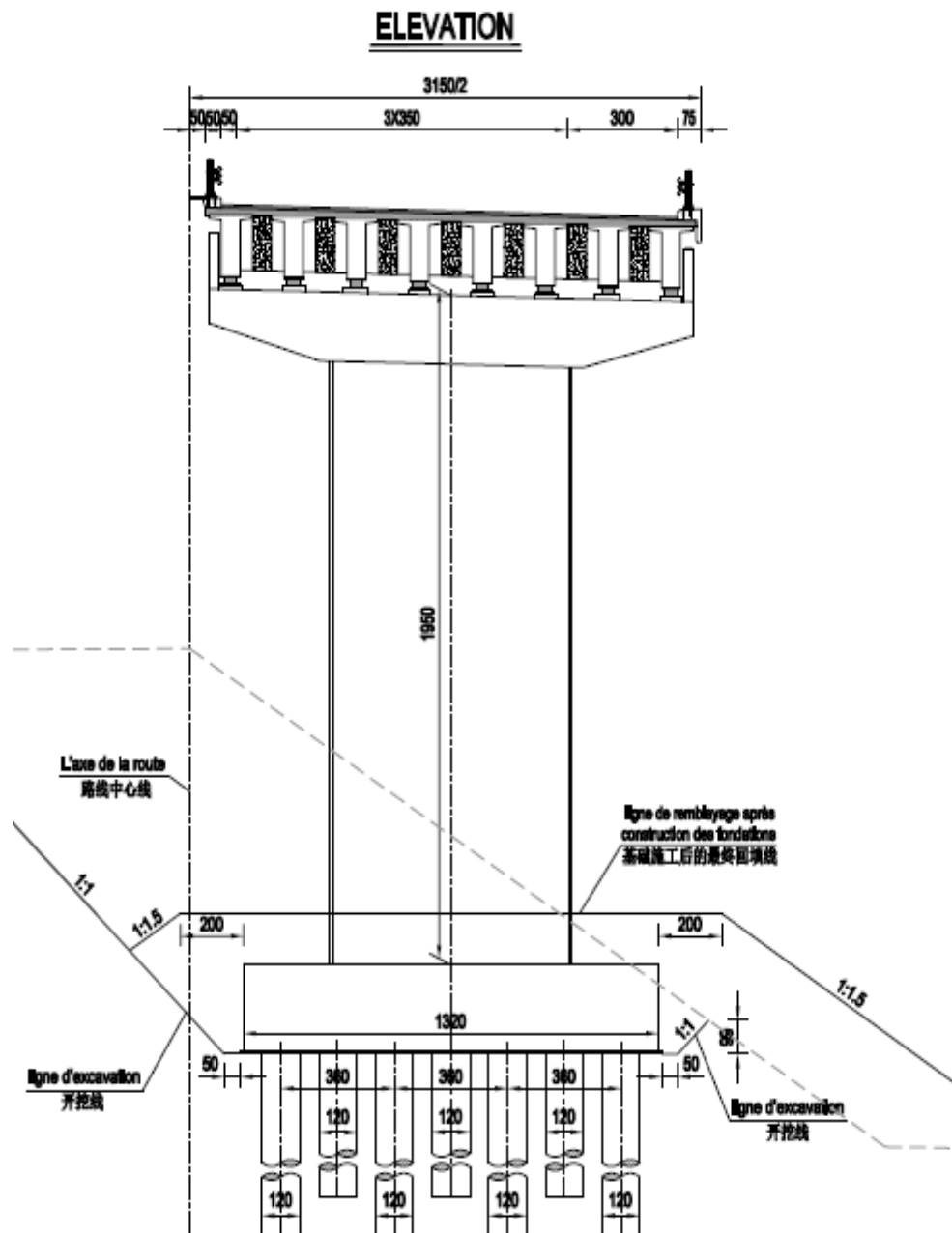


Figure 28: Schéma d'une pile

Après avoir présenté notre cas d'étude, on va faire la mise en œuvre des deux méthodes d'analyse des risques.

4. Application de la méthode d'approche Nœud Papillon

On procède à l'application de la méthode d'approche nœud papillon, en suivant le processus cité dans le deuxième chapitre dans le paragraphe 10 qui comporte 11 étapes successives.

Application des deux méthodes d'approches

Pour l'identification des risques, on peut utiliser une méthode au choix (AGR, Hazop, etc.) car chacune de ces méthodes peut compléter le nœud papillon, on choisit la méthode analyse globale des risques (AGR).

4.1 L'identification et caractérisation des potentiels de danger

Dans un premier temps, l'identification des dangers a été faite après c'est l'évaluation de ces derniers par les experts qui travaillent dans les entreprises qui ont participé à la réalisation de ces viaducs et par le témoignage des ouvriers. Les risques rencontrés lors de la phase réalisation du projet, leurs causes et conséquences vont être cités dans le tableau qui suit:

Tableau 19: Tableau récapitulatif des risques identifiés

			Conséquences sur le projet			
Nature des dangers	Événements redoutés	Cause amorce	Technique	Coût	Délai	Sécurité
1) Condition de sécurité	Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	Absence de garde-corps et de filet de protection	Non-conformité des travaux	/	/	/
2) Vent violent	Armatures d'attentes pliés, chute d'échafaudages et du portique qui porte la poutre, poutre endommagée	La mise en place des armatures ne respecte pas les règles et le matériel n'est pas correctement fixé	Dégâts sur le matériel	Surcoût	Retard	/
3) Condition de sécurité	Chute et mort de deux ouvriers	Pas de protection vers le vide des piles creuses ni entre les poutres dans le tablier lors de sa réalisation	démotivation des travailleurs	Surcoût pour les indemnités	Retard	/
4) Forte pluviométrie	Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	Travaux de remblaiement de fouilles non effectué après avoir fini les travaux	/	Surcoût	Retard	/

Tableau 20: Tableau récapitulatif des risques identifiés

			Conséquences sur le projet			
Nature des dangers	Evénements redoutés	Cause amorce	Technique	Coût	Délai	Sécurité
5) Fortes pluies	Ravinement et glissements des talus	Le talus n'était pas réalisé selon les règles et normes	/	Surcoût	Retard	/
6) Etat critique des pistes de chantier	Perte de béton qui était dans le camion a bétonnière	Accès difficile au chantier après les fortes pluies	Impossibilité de coulage	Surcoût	Retard	/
7) Condition de sécurité	Chute d'une pierre sur un passant	Pas de rubans pour la limitation du site, pas de plaques de signalisation routière	/	/	/	/
8) Technique	Ségrégation d'une poutre	Non-conformité du coffrage	Perte de béton, acier, câble de précontrainte	Surcoût	Retard	/
9) Technique	Chute du béton sur les voitures des particuliers (qui passent en bas)	Vide entre les plaques du coffrage perdu sur le tablier	Perte de béton	Surcoût	/	/
10) Etude des culées V8.7	Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	Mauvais dimensionnement des culées sur la partie supérieure (mur garde grève)	Destruction du mur garde grève	Surcoût	Retard	/

4.1.1 Construction du nœud papillon

Le schéma du nœud papillon comporte trois parties essentielles qui sont: l'arbre de défaillances (causes), l'évènement redouté et l'arbre d'évènements (conséquences).

Application des deux méthodes d'approches

A partir des tableaux précédents, on a élaboré les schémas du nœud papillon pour visualiser les scénarios d'accidents relatifs aux conditions de travail, intempéries et à l'exécution du travail.

Les figures suivantes représentent les risques identifiés sous forme de schéma Nœud papillon:

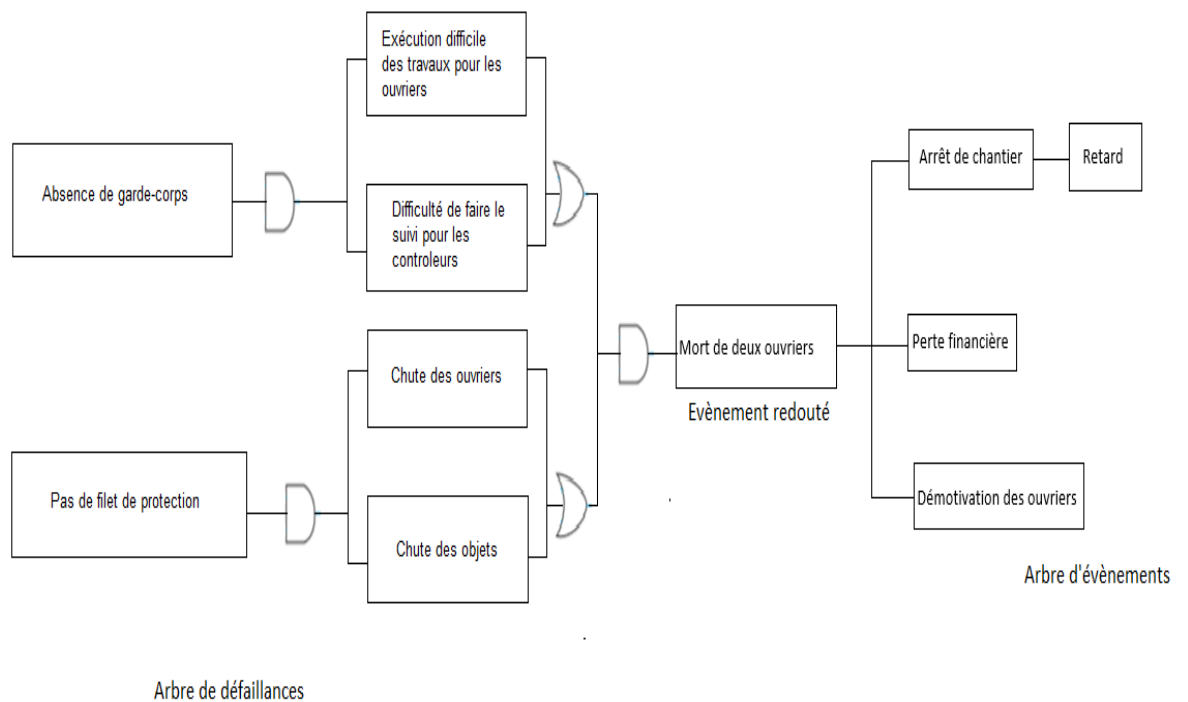


Figure 29: Schéma du Nœud papillon sur les conditions de travail (condition de sécurité) des ouvriers.

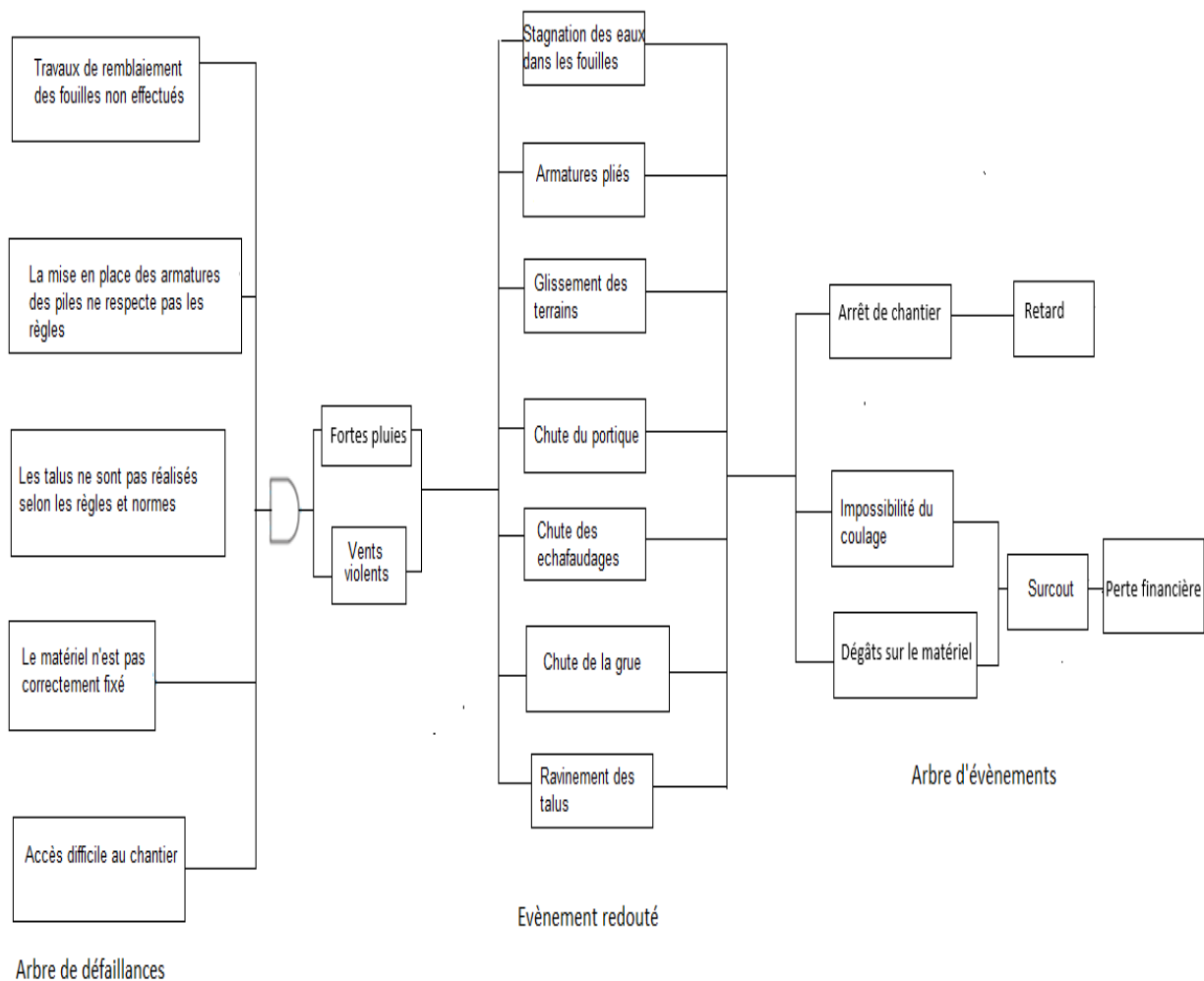


Figure 30: Schéma du Nœud papillon sur les intempéries.

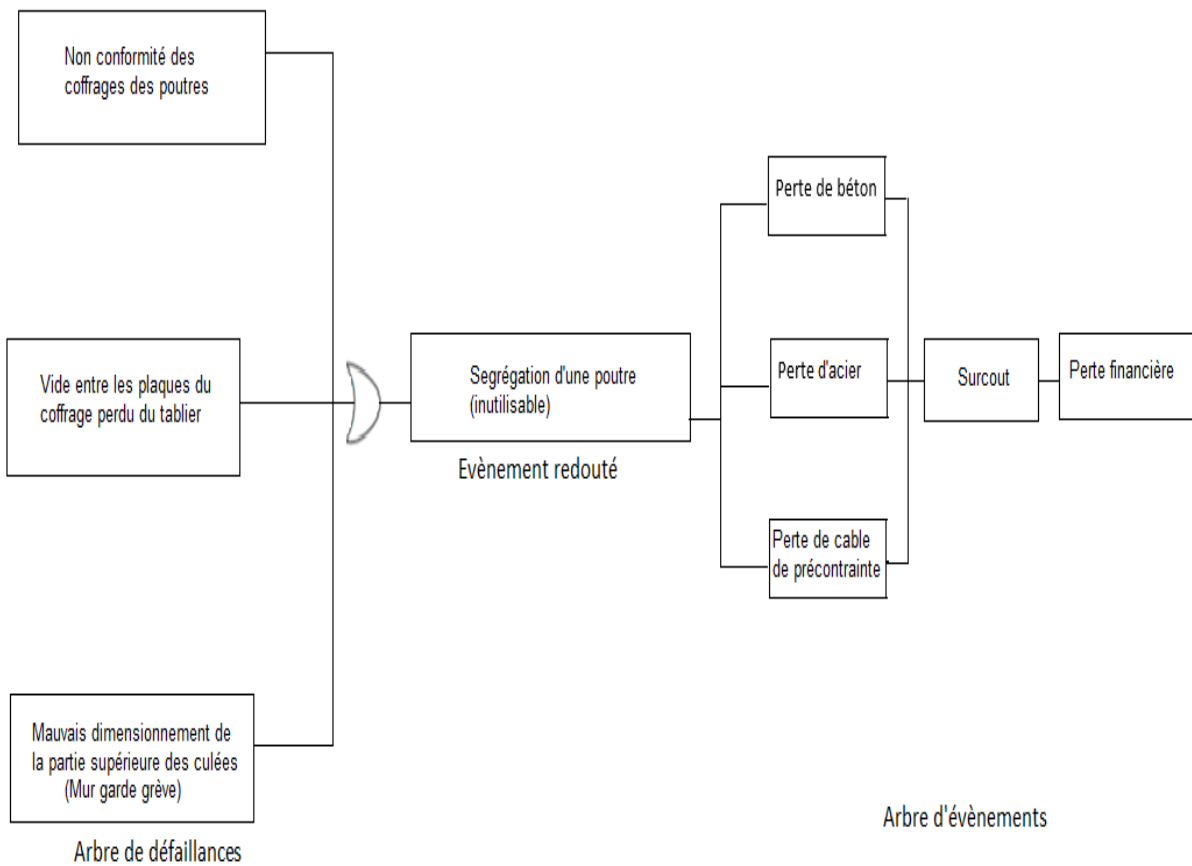




Figure 31: Schéma du Nœud papillon sur l'exécution du travail (technique).

Tableau 21: Signification des portes logiques

Symbolique	Nom	Signification
	Porte (ET)	L'événement en sortie de la porte se réalisera si les événements en entrée sont vérifiés en même temps.
	Porte (OU)	L'événement en sortie de la porte se réalisera si au moins un des événements en entrée est vérifié.

Les risques dans le tableau 19 et 20 sont les risques avérés sur le chantier pendant la phase réalisation du chantier. D'autres risques peuvent surgir qui peuvent causer des dégâts et

Application des deux méthodes d'approches

donc la prévention contre ces derniers est nécessaire pour éviter d'autres pertes que ça soit humaine, financière ou du temps. Ces risques sont recensés dans le tableau qui suit:

Tableau 22: Tableau récapitulatif des risques qui peuvent survenir.

			Conséquences sur le projet			
Nature des dangers	Événements redoutés	Cause amorce	Technique	Coût	Délai	Sécurité
1) Equipement d'éclairage	Accidents Utilisation de matériel non fiable	Manque de luminosité Absence de luminosité Matériel non conforme Absence ou manque de contrôle	Conflits socioprofessionnels Non-respect du contenu du projet	Surcoût	Retard	/
2) Engins Conducteur d'engin	Engin hors service Accident Blessures	Engin ne démarre pas Imprudence Malveillance Matériel défectueux	Grève Conflits socio-professionnels	Surcoût	Retard	/
3) Conducteur d'engin	Accident Blessures Destruction de l'engin Explosion Mort	Conducteur non qualifié Renversement de l'engin Collisions engins-engins et engins obstacles	Conflits socio-professionnels	Surcoût	Retard	/
4) Main d'œuvre Activité	Retard d'activité Non-conformité des tâches Accidents Malfaçons	Diminution de la productivité Manque d'efficacité Organisation déficiente	Conflits socio-professionnels /Grève Non-respect du contenu du projet	Surcoût	Retard	/
5) Main d'œuvre Activité	Epidémie Retard dans l'activité	Contamination du personnel	Conflits socio-professionnels Grève	Surcoût	Retard	/

Tableau 23: Tableau récapitulatif des risques qui peuvent survenir.

			Conséquences sur le projet			
Nature des dangers	Événements redoutés	Cause amorce	Technique	Coût	Délai	Sécurité
6) Matériel, matériaux Projet	Livraison de matériel non conforme Economie du contrat bouleversé Retard sur la réalisation des activités Livraison de matériaux non conforme	Non-respect des contrats Retard de livraison	Conflits socioprofessionnels	Surcoût	Retard	/
7) Projet	Retard sur la réalisation des activités	Travaux non conforme aux cahier des charges et règles de l'art Pas de cohésion dans les équipes	Non-respect du contenu du projet Grève	Surcoût	Retard	/
8) Ressource humaine Projet	Retard dans l'activité Grève	Taches non effectuées Conflits sociaux professionnels	Non-respect du contenu du projet	Surcoût	Retard	/

4.2 La réduction des potentiels de danger

Pour réduire le potentiel des risques rencontrés ou de ceux qui peuvent survenir, on regroupe les actions qu'on peut faire pour chaque risque identifié (barrière de sécurité) dans le tableau suivant:

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 24: Tableau récapitulatif barrières de sécurité

Risques rencontrés	Barrières de sécurité
Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	- Mettre en place un plan HSE(Hygiène , sécurité, environnement)
Armatures d'attentes pliés , chute d'échafaudages et du portique qui porte la poutre, poutre endommagée	- Assurer la fixation de tous les échafaudages du chantier, la grue et le portique - Assurer un bon suivi pour la bonne exécution lors de la fabrication des armatures
Chute et mort de deux ouvriers	- Mettre en place un plan HSE (Hygiène, sécurité, environnement)
Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	- Remblayer les fouilles toujours le plutôt possible après avoir fini le travail
Ravinement et glissements des talus	- Réaliser les talus selon les règles et normes
Perte de béton qui était dans le camion à bétonnière	- L'arrosage au fur et à mesure de toutes les pistes - Mettre une couche d'imprégnation + gravier 3/8, - Assurer l'éclairage pendant la nuit
Chute d'une pierre sur un passant	- Fermer la route pendant les travaux et mettre des déviations, mettre toutes les plaques nécessaire de signalisation routière
Ségrégation d'une poutre	- Utilisation des socles et coffrages en acier
Chute du béton sur les voitures des particuliers qui passent en bas	- Vérification des coffrages avant chaque coulage
Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	- Assurer un bon dimensionnement des culées en respectant des règles de l'art

Tableau 25: Tableau récapitulatif barrières de sécurité

Risques qui peuvent surgir	Barrières de sécurité
Accidents Utilisation de matériel non fiable	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement)
Engin hors service Accident Blessures	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement)
Accident Blessures Destruction de l'engin Explosion Mort	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement) Elaboration d'un planning pour assurer un bon déroulement des travaux et l'organisation des horaires de travail pour les ouvriers
Retard d'activité Non-conformité des tâches Accidents Malfaçons	Recrutement des ouvriers qualifiés Assurer la présence permanente d'un chef de chantier installé par l'entreprise par de réalisation Motiver les ouvriers par des récompenses Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement)
Epidémie Retard dans l'activité	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement)
Livraison de matériel non conforme Economie du contrat bouleversé Retard sur la réalisation des activités Livraison de matériaux non conforme	Contrôler a priori de la conformité du matériel livrés par les fournisseurs
Retard sur la réalisation des activités	Mise en place d'un cahier de chantier pour consignation des réserves relatives aux travaux non conformes au cahier de charges et obligation aux intervenants (maitre de l'ouvrage et maitre de l'œuvre) de lever ses réserves
Retard dans l'activité Grève	Assurer la présence permanente d'un chef de chantier installé par l'entreprise par de réalisation Assurer un suivi permanent par le maitre de l'ouvrage et le maitre de l'œuvre

4.3 L'estimation des conséquences potentielles

Suivant le tableau 9 (paragraphe 4.2.1) du chapitre 3 relatif à l'échelle de gravité de la méthode analyse globale des risques, la gravité pour chaque risque rencontré ou qui peut surgir

Application des deux méthodes d'approches

a été déterminée par les experts du BTS (Mr k. Krim et Mr M. Chekroun) dans le tableau qui suit :

Tableau 26: Evaluation de la gravité des risques.

Risques rencontrés	Gravité des conséquences	Risques qui peuvent surgir	Gravité des conséquences
Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	3	Accidents Utilisation de matériel non fiable	3
Armatures d'attentes pliés , chute d'échafaudages et du portique qui porte la poutre, poutre endommagée	2	Engin hors service Accident Blessures	3
Chute et mort de deux ouvrier	3	Accident Blessures Destruction de l'engin Explosion Mort	2
Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	3	Retard d'activité Non-conformité des taches Accidents Malfaçons	4
Ravinement et glissements des talus	3	Epidémie Retard dans l'activité	3
Perte de béton qui était dans le camion a bétonnière (Arrêt de chantier)	2	Livraison de matériel non conforme Economie du contrat bouleversé Retard sur la réalisation des activités Livraison de matériaux non conforme	2
Chute d'une pierre sur un passant	3	Retard sur la réalisation des activités	3
Ségrégation d'une poutre, ce qui la rendu inutilisable	4	Retard dans l'activité Grève	2
Chute du béton sur les voitures particuliers qui passent en bas	3		
Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	4		

4.4 L'évaluation préliminaire des risques

L'évaluation des risques rencontrés a été faite par les experts du BTS par l'utilisation des tableaux 9, 10 et 11 (chapitre 3) de la méthode Analyse globale des risques, pour chaque risque on a le nombre de scénarios analysés et c'est par cette dernière qu'on le positionne dans la matrice de criticité dans sa gravité correspondante, et les résultats sont dans les tableaux suivants:

Tableau 27: Matrice de criticité des risques initiaux

G/V	G1	G2	G3	G4	G5
V5			2		
V4		2	9	5	
V3		1	1	1	
V2			3		
V1					

Tableau 28: Gravité, vraisemblance et criticité des risques initiaux

Risques rencontrés	Nombre de scénarios analysés	Gravité des conséquences	Vraisemblance	Criticité (Gravité x Vraisemblance)
Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	4	3	4	12
Armatures d'attentes pliés , chute d'échafaudages et du portique qui porte la poutre, poutre endommagée	4	2	3	6
Chute et mort de deux ouvriers	2	3	4	12
Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	1	3	4	12
Ravinement et glissements des talus	3	3	3	9
Perte de béton qui était dans le camion à bétonnière	2	2	4	8
Chute d'une pierre sur un passant	2	3	5	15
Ségrégation d'une poutre	5	4	4	16
Chute du béton sur les voitures des particuliers (qui passent en bas)	3	3	2	6
Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	4	4	3	12

Application des deux méthodes d'approches

D'après la matrice de criticité, les risques identifiés ont une criticité élevée, ce qui nécessite sur le coup de trouver des solutions.

L'évaluation des risques qui peuvent surgir est dans le tableau qui suit:

Tableau 29: Gravité, vraisemblance et criticité des risques qui peuvent survenir.

Risques rencontrés	Gravité des conséquences	Vraisemblance	Criticité (Gravité x Vraisemblance)
Accidents Utilisation de matériel non fiable	3	1	3
Engin hors service Accident Blessures	3	1	3
Accident Blessures Destruction de l'engin Explosion Mort	2	2	4
Retard d'activité Non-conformité des taches Accidents Malfaçons	4	2	8
Epidémie Retard dans l'activité	3	2	6
Livraison de matériel non conforme Economie du contrat bouleversé Retard sur la réalisation des activités Livraison de matériaux non conforme	2	1	2
Retard sur la réalisation des activités	3	4	12
Retard dans l'activité Grève	2	2	4

4.5 La sélection des systèmes critiques

La sélection des systèmes critiques ne concernera que les risques rencontrés ayant le degré de criticité élevé ou bien leurs probabilités d'occurrence, qui pourraient détruire le

Application des deux méthodes d'approches

système étudié, et qui feront l'objet de la suite de notre étude. Ces derniers sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau 30: Systèmes critiques.

Risques rencontrés	Gravité des conséquences	Vraisemblance	Criticité (Gravité x Vraisemblance)
Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	3	4	12
Chute et mort de deux ouvriers	3	4	12
Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	3	4	12
Perte de béton qui était dans le camion à bétonnière	2	4	8
Chute d'une pierre sur un passant	3	5	15
Ségrégation d'une poutre	4	4	16
Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	4	3	12

4.6 L'étude détaillée de réduction des risques

Pour la réduction détaillée des potentiels des risques, un plan particulier de sécurité et de protection doit être réalisé par l'entreprise.

Ce plan permet d'évaluer les risques professionnels, précise les mesures prises par l'entreprise pour assurer la sécurité, l'hygiène et les mesures de secours et d'évacuation sur le chantier.

Ce plan est nécessaire dans deux cas:

- Dans le cas où interviennent plusieurs entreprises en même temps dans un chantier ce qui est notre cas d'étude, et le chantier nécessite des travaux avec des risques particuliers.

Application des deux méthodes d'approches

- Chantiers réalisés par une seule entreprise dont la durée est supérieure à 1 an avec un effectif supérieur à 50 hommes pendant plus de 10 jours consécutifs.

Pour les principaux risques rencontrés, le tableau suivant montre comment les traiter dans chaque phase de notre projet:

Tableau 31: Plan particulier de sécurité.

Objectifs	Eléments à traiter
Préparation et organisation des travaux	
Assurer la sécurité des personnes et des biens aux abords du chantier	<ul style="list-style-type: none"> - Contact pris auprès des différents concessionnaires et services publics. Clôtures, éclairages, balisage.
Prévoir et organiser les secours d'urgence	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositions pour assurer une intervention efficace des secours en cas d'accident ou d'incendie
Protéger le personnel en délimitant les zones à risques	<ul style="list-style-type: none"> - Zones de stockage matériaux (murs, etc.). - Reprise des matériaux (tapis, vis, scraperettes, skip, etc.). - Mélangeur ou malaxeur (accès, contrôle, capots de sécurité, etc.). - Asservissement/entretien. - Dispositif de reprise du béton, béton prêt à l'emploi (accès, reprise, etc.).
Mettre en place les communications	<ul style="list-style-type: none"> - Téléphone extérieur. - Liaisons sur chantier (téléphone intérieur, n° d'appel, etc.).
Assurer le montage correct des installations de toutes sortes	<ul style="list-style-type: none"> - Définition des modes opératoires, des engins et des appareils de levage nécessaires - Mesures à prendre pour assurer la stabilité des installations dans toutes les phases du montage
Prévenir les chutes de hauteur	<ul style="list-style-type: none"> - Définition des protections collectives en bordure des ouvrages de fondation, des têtes de pile des tabliers, etc. - Pour tout poste de travail en hauteur: définition des accès et des protections permanentes à ces postes. - Dispositions prises pour tout travail exceptionnel en hauteur (protections collectives, équipements individuels et consignes).
Levage, manutentions et circulation du personnel	
Permettre au personnel, engins et véhicules d'accéder au poste de travail dans des conditions satisfaisantes	Définition: <ul style="list-style-type: none"> - Des accès au chantier - De la signalisation interne - De la constitution des pistes et de leur maintenance - Des emplacements de travail
Assurer le remblaiement des fouilles dès que possible	Planning sommaire montrant les délais principaux, les cadences, l'ordre et l'imbrication des phases

Application des deux méthodes d'approches

Assurer un approvisionnement normal sans manœuvre dangereuse, écrasement, enlèvement... à portée des engins de levage	<ul style="list-style-type: none"> - Implantation des zones de stockage et de circulation. - Choix des accessoires de levage nécessaires aux différentes manutentions - Dispositions prises pour la circulation des camions d'approvisionnement, les accès aux zones de stockage, le guidage éventuel, etc. - Instructions pour les périodes de grands vents (limites d'emploi, stabilisations supplémentaires, etc.) ; mise en girouette.
Sécuriser les déplacements du personnel sur le chantier.	<ul style="list-style-type: none"> - Protéger les zones exposées aux chutes d'objets. - Protéger certains passages contre les risques de chute de personnes (bords de fouille, franchissement des fouilles périphériques, remblaiement des fouilles périphériques, etc.).
Protéger les zones exposées aux risques de chute d'objet	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositions prises et consignes particulières, notamment au regard du balisage des zones dangereuses.
Travaux de construction	
Prévenir les accidents aux pieds et aux mains Assurer la protection du personnel contre les piqûres, coupures, brûlures, projections diverses, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Liste des équipements de protection individuelle (gants, articles chaussants, vêtements de travail, casques, équipements des soudeurs, etc.)
Éliminer les risques dus à la rupture des supports en phase provisoire	<ul style="list-style-type: none"> - Planification du matériel à utiliser en phase provisoire (échafaudage, étaie, passerelles, tirants, contreventements) - Respect des temps de séchage et de prise du béton ou du mortier
Protéger les opérateurs contre le renversement de coffrages	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilisation des coffrages selon les prescriptions du constructeur.
Protéger contre les risques d'empalement.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de la mise en place des armatures dans les coffrages. - Définition du mode de montage des grands ferraillements (radiers, piles, tablier).

4.7 La quantification des effets redoutés

Les effets redoutés sont listés dans le tableau qui suit, suivant l'ordre des risques retenus dans l'étape 5

Tableau 32: Evénements redoutés

Evénements redoutés des risques rencontrés	Evénements redoutés des risques qui peuvent surgir
1) Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	1) Accidents Utilisation de matériel non fiable
2) Armatures d'attentes pliées, chute d'échafaudages et du portique qui porte la poutre, poutre endommagée	2) Engin hors service Accident Blessures
1) Chute et mort de deux ouvriers	3) Accident Blessures Destruction de l'engin Explosion Mort
3) Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	4) Retard d'activité Non-conformité des taches Accidents Malfaçons
2) Ravinement et glissements des talus	5) Epidémie Retard dans l'activité
3) Perte de béton qui était dans le camion à bétonnière	6) Livraison de matériel non conforme Economie du contrat bouleversé Retard sur la réalisation des activités Livraison de matériaux non conforme
4) Chute d'une pierre sur un passant	7) Retard sur la réalisation des activités
5) Ségrégation d'une poutre	8) Retard dans l'activité Grève
9) Chute du béton sur les voitures des particuliers (qui passent en bas)	
10) Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	

4.8 Calcul des distances à risques

Les seuils permettant de réduire les risques:

Avant d'entamer les travaux de chantier, le plan de sécurité doit être réalisé par l'entreprise de travaux et doit être adressé sous **un délais de 30 jours après la signature du contrat** par le maître d'ouvrage au coordonnateur de travaux et au maître d'œuvre.

Le plan de sécurité doit prévenir tous les risques possibles dans un chantier. Il est fait à partir d'informations concernant le chantier et celles données par le maître d'ouvrage. Et on peut également s'inspirer des plans d'autres chantiers pour avoir plus d'informations

Les consignes données dans le plan de sécurité doivent être obligatoirement respectés et dans le bon moment, pour éviter la survenance de tout risques.

4.9 L'évaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité

Cette étape et la suite ne peuvent pas être faites car les entreprises concernées n'ont pas mis en place les barrières de sécurité pour faire face aux risques rencontrés lors de la réalisation des viaducs. Donc l'évaluation du risque résiduel ne peut pas être faite ni la détermination de l'acceptabilité de ces derniers.

5. Application de la méthode d'approche Analyse globale des risques

5.1 AGR Système

5.1.1 Modélisation du système

Notre cas d'étude est sur le viaduc de la pénétrante autoroutière de GHAZAOUET, donc le viaduc représente le système de notre étude qu'on va décomposer en sous-systèmes et chaque sous-système en éléments qui le composent, la figure suivante est un organigramme qui décortique notre système en détails:

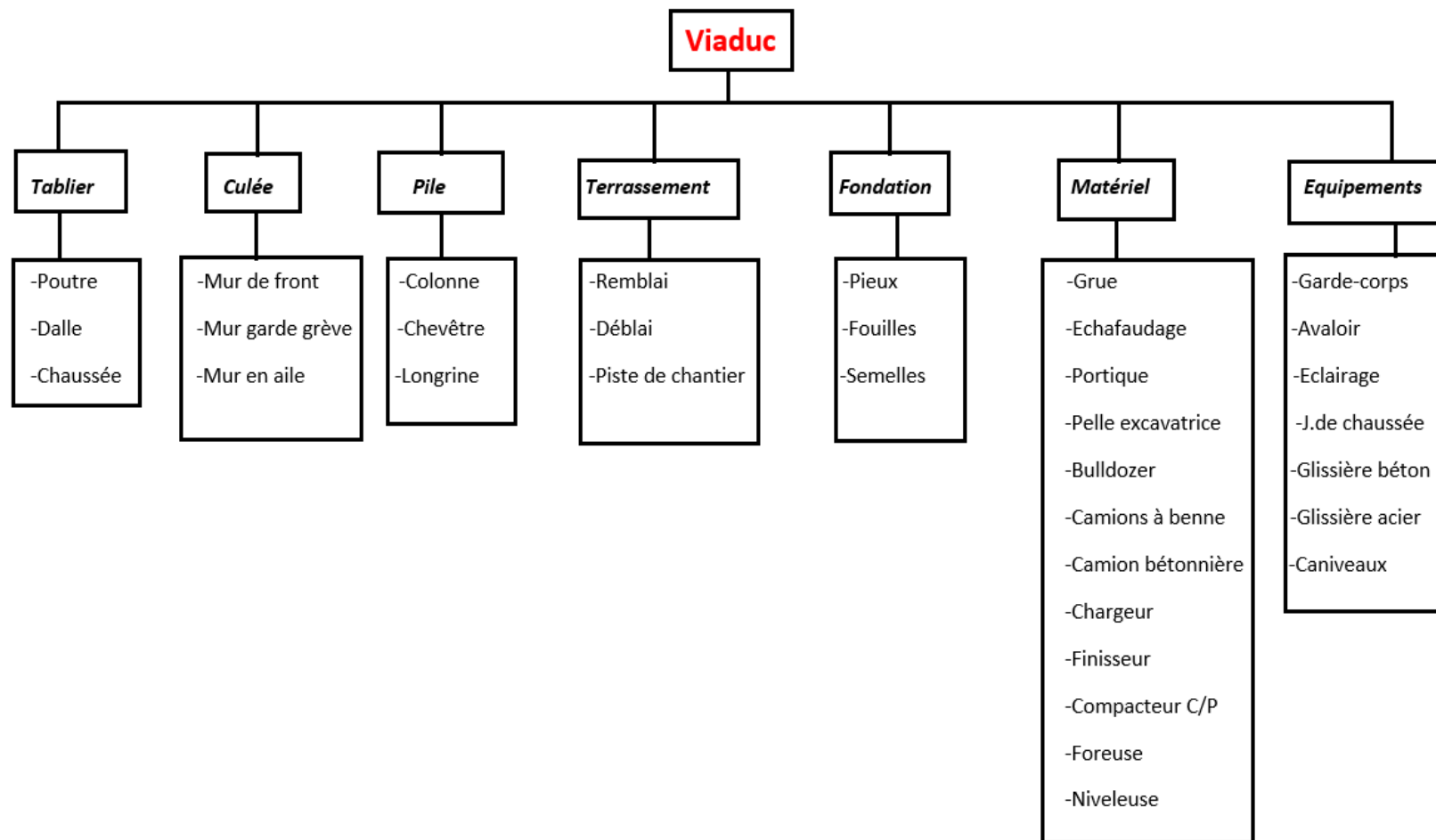


Figure 32: Organigramme des éléments du système étudié.

Application des deux méthodes d'approches

L'organigramme précédent est donné sous forme de tableau:

Tableau 33: Eléments du système étudié.

Viaduc																																	
Tablier			Culée			Pile			Terrassement			Fondation			Matériels						Equipements												
Poutre	Dalle	Chaussée	Mur de front	Mur garde grève	Mur en ail	Colonne	Chevêtre	Longrine	Remblai	Déblai	Piste de chantier	Pieux	Fouilles	Semelles	Grue	Echafaudages	Portique	Pelle excavatrice	Bulldozer	Camions à benne	Camions bétonnière	Chargeur	Finisseur	Compacteur C/P	Foreuse	Niveleuse	Garde-corps	Avaloir	Eclairage	Joint de chaussée	Glissière en béton	Glissière en acier	Camiveaux

5.1.2 Identification des risques

Après avoir effectué la recherche des dangers susceptibles de contrarier le système, on élabore la cartographie des dangers qui sera représentée dans le tableau suivant:

Tableau 34: Cartographie des dangers

Danger génériques	Dangers spécifiques	Evénements et éléments dangereux
Professionnel	Condition de sécurité	Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers
	Condition de sécurité	Mort de deux ouvriers
Opérationnel	Forte pluviométrie	Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7
	Forte pluviométrie	Ravinement
		Glissement
	Etat critique des pistes de chantier	Perte de béton qui était dans le camion à bétonnière (Arrêt de chantier)
		Ségrégation d'une poutre

Application des deux méthodes d'approches

Produits	Technique	
	Technique	Chute du béton sur les voitures particuliers
Projet et études	Etude des culées V8.7	Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres
Insécurité	Condition de sécurité	Chute d'une pierre sur un passant
Matériels et équipements	Vent violent	Armatures d'attentes pliés
		Chute d'échafaudages
		Chute du portique
		Poutre endommagée

Par la juxtaposition de ce tableau et du tableau qui le précède, on obtient la cartographie des situations dangereuse qui est représentée dans le tableau suivant:

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 35: Cartographie des situations dangereuses

Cartographie et gestion des risques			Viaduc																																						
6	4	0	Tablier			Culée			Pile			Terrassement			Fondation			Matériel								Equipements du tablier															
DG	DS	ED	Poutre	Dalle	Chaussée	Mur de front	Mur garde grève	Mur en aile	Colonne	Chevêtre	Longrine	Remblai	Déblai	Piste de chantier	Pieux	Fouilles	Semelles	Gue	Echafaudages	Portique	Pelle excavatrice	Bulldozer	Camions à benne	Camions	Chargeur	Finisseur	Compacteur	Foreuse	Niveleuse	Garde-Corps du tablier	Avaloir	Eclairage	Joint de chaussée	Glissière et béton	Glissière en acier	Caniveaux					
DG1	DS1	ED111							4																																
	DS2	ED121							2																																
DG2	DS1	ED211														4																									
	DS2	ED221											2																												
		ED222											2																												
	DS3	ED231												2																											
DG3	DS1	ED311	5																																						
	DS2	ED321		3																																					
DG4	DS1	ED411					4																																		
DG5	DS1	ED511												2																											
DG6	DS1	ED611							1																																
		ED612																	1	1																					
		ED613																2																							
		ED614	1																																						

5.2 AGR scénario

Après avoir identifié tous les risques, on procède à l'évaluation de chacun en le mettant dans la matrice de criticité (gravité, probabilité) et pour chaque risque on essayera de trouver sa solution pour le contrarier, et de même pour les risques résiduels.

Le tableau 35 récapitule tous les risques identifiés (initiaux et résiduels) ainsi que leurs évaluations, et leurs actions de réductions.

Les risques dans le tableau 35 sont les risques avérés sur le chantier pendant la phase réalisation du chantier, dans le tableau 36, nous présenterons les risques qui peuvent surgir dans ce même chantier et dans la même phase qui est la réalisation.

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 36: Tableau récapitulatif des risques initiaux et résiduels ainsi que leurs évaluations et traitements.

N	Phase projet	Situation dangereuse	Cause contact	Evènement redouté	Cause amorce	Traitement déjà existant	P	C	D	S	Conséquence sur le projet	G	V	C	I P	Actions de réduction du risque	Catégorie du danger générique	Dangers génériques	Scénarios analysés
1	Construction des piles et chevêtres	Condition de sécurité	Manque de dispositifs de sécurité , Et l'accessibilité difficile (manque de garde-corps)	Difficulté de faire le suivi pour les contrôleurs, chute des outils et objets, exécution difficile des travaux pour les ouvriers	Absence de garde-corps et de filet de protection	Aucun traitement	Non-conformité des travaux	/	/	/	Pas de suivi peut impliquer la mauvaise exécution	3	4	12	2	Mettre en place un plan HSE(Hygiène , sécurité, environnement)	Etude et production de l'entreprise	Professionnelle 1	4
2	Construction des piles	Vent violent	Armatures d'attentes mal étayées , l'instabilité de la cage d'escaliers et du matériel	Armatures d'attentes pliées , chute d'échafaudages et du portique qui porte la poutre, poutre endommagée	La mise en place des armatures ne respecte pas les règles et le matériel n'est pas correctement fixé	Ils ont bien fixé l'échafaudage et renforcé les coffrages , remise en état toutes les armatures en attente,	Dégâts sur le matériel	Surcoût	Retard	/	Toutes les armatures ont été pliées par le vent , sa a nécessité de gros moyens pour réparer les dégâts , chute du porteur de poutres sur des poutres ce qui les a légèrement endommagé	2	3	6	3	Assurer la fixation de tous les échafaudages du chantier, la grue et le portique Assurer un bon suivi pour la bonne exécution lors de la fabrication des armatures	Moyens techniques de l'entreprise	Matériels et équipements	4
3	Construction d'une pile creuse	Condition de sécurité	Manque de dispositifs de sécurité et d'un filet de sécurité dans le vide sur la pile , Hauteur insuffisante du garde-corps dans les escaliers , Sa fixation est à revoir , Largeur du passage est parfois étroite	Chute et mort de deux ouvriers	Pas de protection vers le vide des piles creuses ni entre les poutres dans le tablier lors de sa réalisation	aucun traitement	démotivation des travailleurs	Surcoût pour les indemnisations	Retard	/	Chute de deux ouvriers, un sur le vide d'une pile creuse parce qu'il n'y avait aucun moyen de sécurité ni le filet vers le vide, et le deuxième entre les poutres du tablier	3	4	12	3	Mettre en place un plan HSE (Hygiène, sécurité, environnement)	Etude et production de l'entreprise	Professionnelle 1	2
4	Fondation	Forte pluviométrie	Intempéries	Stagnation des eaux dans les fouilles sur l'appui P7 V8.7	Travaux de remblaiement de fouilles non effectué après avoir fini les travaux	Ils ont fait pomper l'eau , remblayer toutes les fouilles	/	Surcoût	Retard	/	Stagnation des eaux qui a causé au projet un retard pour vider les fouilles et les remblayer	3	4	12	2	Remblayer les fouilles toujours le plutôt possible après avoir fini le travail	Etude et production de l'entreprise	Opérationnelle 1	1

Application des deux méthodes d'approches

5	Terrassements	Fortes pluies	Intempéries	Ravinement et glissements des talus	Le talus n'était pas réalisé selon les règles et normes	Ils ont remblayé le talus avec diminution de son angle d'inclinaison, remise en état des remblais	/	Surcoût	Retard	/	Le glissement et ravinement des talus et remblais a causé un Surcoût + un retard au projet	3	3	9	2	Réaliser les talus selon les règles et normes	Etude et production de l'entreprise	Opérationnelle	3
6	Terrassements	Etat critique des pistes de chantier	Piste non arrosé, chute de pluie, pas d'éclairage la nuit	Perte de béton qui était dans le camion à bétonnière	Accès difficile au chantier après les fortes pluies	Aucun traitement	Impossibilité de coulage	Surcoût	Retard	/	Perte du béton qui a causé un Surcoût et retard du chantier vu l'accessibilité difficile et de même pour le suivi	2	4	8	2	L'arrosage au fur et à mesure de toutes les pistes Mettre une couche d'imprégnation + gravier 3/8, Assurer l'éclairage pendant la nuit	Etude et production de l'entreprise	Opérationnelle	2
7	Terrassements	Condition de sécurité	Pas de filet de sécurité	Chute d'une pierre sur un passant	Pas de rubans pour la limitation du site, pas de plaques de signalisation routière	Aucun traitement	/	/	/	/	Aucune conséquence sur le projet, dégâts causés sur les passagers de la route	3	5	15	1	Fermer la route pendant les travaux et mettre des déviations, mettre toutes les plaques nécessaires de signalisation routière	Externes à l'entreprise	Insécurité	2
8	Fabrication des poutres	Technique	Utilisation des socles en bois	Ségrégation d'une poutre	Non-conformité du coffrage	Aucun traitement	Perte de béton, acier, câble de précontrainte	Surcoût	Retard	/	La poutre endommagée est couteuse ce qui a causé à l'entreprise une grosse perte financière	4	4	16	3	Utilisation des socles et coffrages en acier	Etude et production de l'entreprise	Produits	5
9	Fabrication du tablier sur le viaduc 2,1	Technique	Coffrage ne respecte pas les règles	Chute du béton sur les voitures des particuliers (qui passent en bas)	Vide entre les plaques du coffrage perdu sur le tablier	Aucun traitement	Perte de béton	Surcoût	/	/	Un Surcoût pour l'entreprise vu la perte de béton	3	2	6	1	Vérification des coffrages avant chaque coulage	Etude et production de l'entreprise	Produits	3
10	Pose de poutres	Etude des culées V8.7	Dimension du vide laissé pour la pose des poutres sur les culées ne convient pas avec les dimensions des poutres	Dimensions des vides pour la pose des poutres non conformes avec les dimensions des poutres	Mauvais dimensionnement des culées sur la partie supérieure (mur garde grève)	Aucun traitement	Destruction du mur garde grève	Surcoût	Retard	/	Le mauvais dimensionnement a causé une destruction du mur garde grève pour pouvoir poser les poutres	4	3	12	1	Assurer un bon dimensionnement des culées en respectant les règles de l'art	Etude et production de l'entreprise	Projet et études	4

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 37: Tableau récapitulatif des risques ainsi que leurs évaluations et traitements.

N	Phase projet	Situation dangereuse	Cause contact	Evènement redouté	Cause amorce	P	C	D	S	G	V	C	Actions de réduction du risque
1	Réalisation	Equipement d'éclairage Main d'œuvre	Dysfonctionnement du matériel Matériel non conforme Matériel non fiable Matériel défectueux Absence ou manque de contrôle Absence ou manque de maintenance Personnel non qualifié Manque de compétence Erreur humaine	Accidents Utilisation de matériel non fiable	Manque de luminosité Absence de luminosité Matériel non conforme Absence ou manque de contrôle	Conflits socioprofessionnels Non-respect du contenu du projet	Surcoût	Retard	/	3	1	3	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement)
2	Réalisation	Engins Conducteur d'engin	Matériel défectueux Crevaisson de pneu et non disponible Malveillance Imprudence Mauvaise utilisation Erreur humaine Mauvais choix du fournisseur Prise de décision inappropriée Personnel non qualifié Absence ou manque de: - Maintenance préventive - Maintenance curative - Essence de mauvaise qualité - Non prise en compte des spécifications - Fournisseur non qualifié	Engin hors service Accident Blessures	Engin ne démarre pas Imprudence Malveillance Matériel défectueux	Grève Conflits socio- professionnels Préavis des ouvriers	Surcoût	Retard	/	3	1	3	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement)
3	Réalisation	Engins Conducteur d'engin Activité ou Projet	Fatigue des ouvriers Conducteur incompetent Stress Sabotage	Accident Blessures Destruction de l'engin Explosion	Renversement de l'engin Collisions engins engins et engins obstacles	Grève	Surcoût	Retard	/	2	2	4	Elaboration d'un plan QHSE (qualité, hygiène, sécurité, environnement) Elaboration d'un planning pour assurer un bon déroulement des travaux et

Application des deux méthodes d'approches

7	Réalisation	Projet	<p>Manque de communication</p> <p>Manque de coordination</p> <p>Mauvaise interprétation de l'information</p> <p>Manque de compétence</p> <p>Manque de qualification</p> <p>Manque de motivation</p> <p>Manque de procédures de suivi et de contrôle</p> <p>Mauvais choix des ressources humaines (recrutement)</p> <p>Manque de leadership</p> <p>Méthodes de communication non adaptés ou non efficaces</p> <p>Manque de transparence dans la diffusion de l'information</p> <p>Défaillance dans le processus de décision</p>	Retard sur la réalisation des activités	<p>Travaux non conforme aux cahier des charges et règles de l'art</p> <p>Pas de cohésion dans les équipes</p>	<p>Non-respect du contenu du projet</p> <p>Grève</p>	Surcoût	Retard	/	3	4	12	<p>Mise en place d'un cahier de chantier pour consignation des réserves relatives aux travaux non conformes au cahier de charges et obligation aux intervenants (maître de l'ouvrage et maître de l'œuvre) de lever ses réserves</p>
8	Réalisation	<p>Ressource humaine</p> <p>Projet</p>	<p>Sentiment d'injustice</p> <p>Absence de sécurité</p> <p>Absence de motivation</p> <p>Non-respect des droits des ressources humaines</p> <p>Non-respect des exigences de protection de l'environnement</p>	<p>Retard dans l'activité</p> <p>Grève</p>	<p>Taches non effectuées</p> <p>Conflits sociaux professionnels</p>	<p>Non-respect du contenu du projet</p> <p>Grève</p>	Surcoût	Retard	/	2	2	4	<p>Assurer la présence permanente d'un chef de chantier installé par l'entreprise par de réalisation</p> <p>Assurer un suivi permanent par le maître de l'ouvrage et le maître de l'œuvre</p>

5.2.1 Risques initiaux

A. Nombres de scénarios et répartitions des criticités

Le tableau suivant représente les dangers génériques rencontrés lors de la réalisation des viaducs ainsi que le nombre de scènes dangereuses de chacun et les scénarios analysés:

Tableau 38: Scènes dangereuses et leurs nombres de scénarios analysés

	DG	NSD	NSc
Etude et Production	Professionnel	2	6
	Opérationnel	3	6
	Produits	2	8
	Projet et études	1	4
Externes à l'entreprise	Insécurité	1	2
Moyens Techniques de l'Entreprise	Matériels et équipements	1	4
		10	30

- DG: Danger générique
- NSD: Nombre de scènes dangereuses
- NSc: Nombre de scénarios analysés

La figure suivante est l'histogramme du tableau précédent:

En abscisse: Chaque danger générique avec son nombre de scènes dangereuses et scénarios analysés

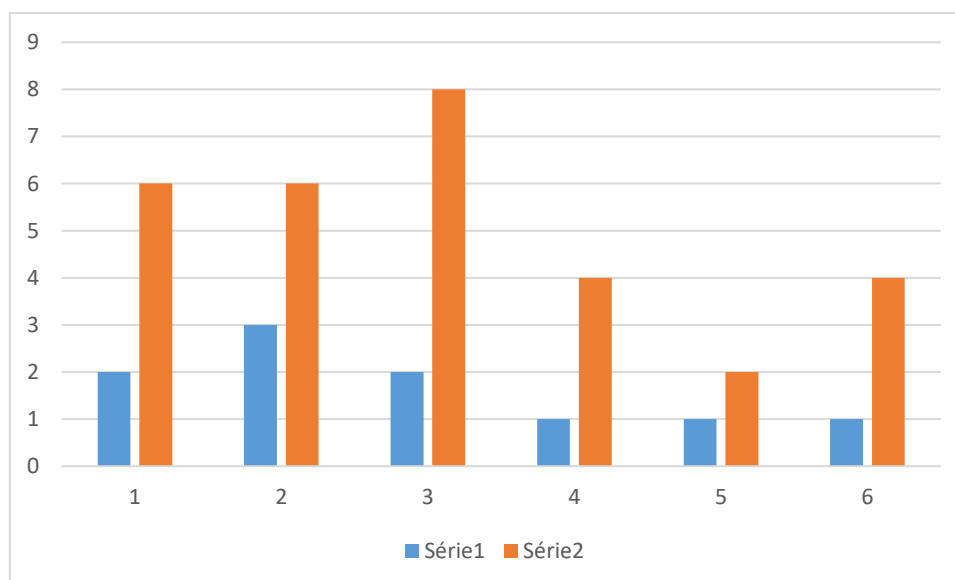


Figure 33: Scènes dangereuses et leurs nombres de scénarios

Les risques identifiés qui sont dans le tableau 35 sont évalués par leurs gravités et vraisemblances, on les positionne dans la matrice de criticité suivante:

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 39: Matrice de criticité des risques initiaux

G/V	G1	G2	G3	G4	G5
V5			2		
V4		2	7	5	
V3		4	3	4	
V2			3		
V1					

Les statistiques des résultats obtenus sur l'évaluation sont regroupés dans le tableau suivant et démontrés dans la figure qui suit le tableau:

Tableau 40: Criticité des risques avant traitement

C1	0	0%
C2	12	40%
C3	18	60%
	30	

Le degré de criticité est élevé et les cartographies suivantes le montrent, un traitement des risques est nécessaire pour le bon déroulement du projet.

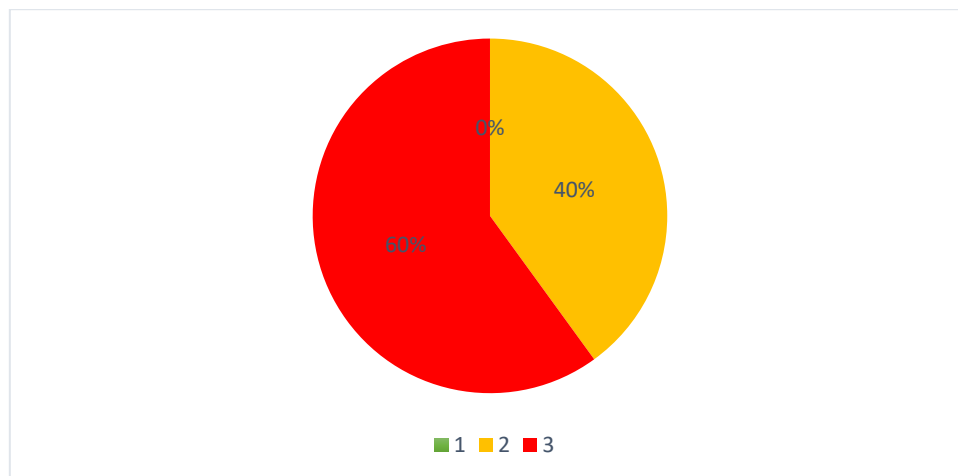


Figure 34: Cartographie des risques initiaux

Pour chaque danger générique, on détermine la gravité, vraisemblance et criticité initiaux ainsi que la gravité moyenne et la vraisemblance moyenne et les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 41: Gravité des risques initiaux.

	DG	G1	G2	G3	G4	G5
Etude et Production	Professionnel	0	0	6	0	0
	Opérationnel	0	2	4	0	0
	Produits	0	0	3	5	0
	Projet et études	0	0	0	4	0
Externes. à l'entreprise	Insécurité	0	0	2	0	0
Moyens techniques de l'entreprise	Matériels et équipements	0	4	0	0	0

Tableau 42: Vraisemblances des risques initiaux.

	DG	V1	V2	V3	V4	V5
Etude et Production	Professionnel	0	0	0	6	0
	Opérationnel	0	0	3	3	0
	Produits	0	3	0	5	0
	Projet et études	0	0	4	0	0
Externes. à l'entreprise	Insécurité	0	0	0	0	2
Moyens techniques de l'entreprise	Matériels et équipements	0	0	4	0	0

Tableau 43: Criticité des risques initiaux

	DG	C1	C2	C3
Etude et Production	Professionnel	0	0	6
	Opérationnel	0	5	1
	Produits	0	3	5
	Projet et études	0	0	4
Externes. à l'entreprise	Insécurité	0	0	2
Moyens techniques de l'entreprise	Matériels et équipements	0	4	0

La gravité moyenne, vraisemblance moyenne et le risque moyen sont calculés comme suit:

$$GM_j = \frac{\sum_{k=1,5} k.n_{Gki,j}}{N_j} , \quad VM_j = \frac{\sum_{k=1,5} k.n_{Vki,j}}{N_j} , \quad RM_j = GM_i \times VM_j$$

Les résultats obtenus sont dans le tableau suivant:

Application des deux méthodes d'approches

Tableau 44: Gravité, vraisemblance et risques moyens.

	DG	Gmi	Vmi	Rmi
Etude et Production	Professionnel	3	4	12
	Opérationnel	2,6	3,5	9,1
	Produits	3,6	3,3	11,9
	Projet et études	4	3	12
Externes. à l'entreprise	Insécurité	3	5	15
Moyens techniques de l'entreprise	Matériels et équipements	2	3	6

Pour élaborer le diagramme de Farmer, on doit calculer les coordonnées Xgmi et Ygmi pour chaque danger générique par les formules suivantes:

$$X_{gmi} = G_{mi} - 0,5 \text{ (En abscisse)} ; \quad Y_{vmi} = V_{mi} - 0,5 \text{ (En ordonnée)}$$

Tableau 45: Coordonnées des risques initiaux pour le diagramme de Farmer

	DG	Xgmi	YVmi
Etude et Production	Professionnel	2,5	3,5
	Opérationnel	2,1	3
	Produits	3,1	2,8
	Projet et études	3,5	2,5
Externes. à l'entreprise	Insécurité	2,5	4,5
Moyens techniques de l'entreprise	Matériels et équipements	1,5	2,5

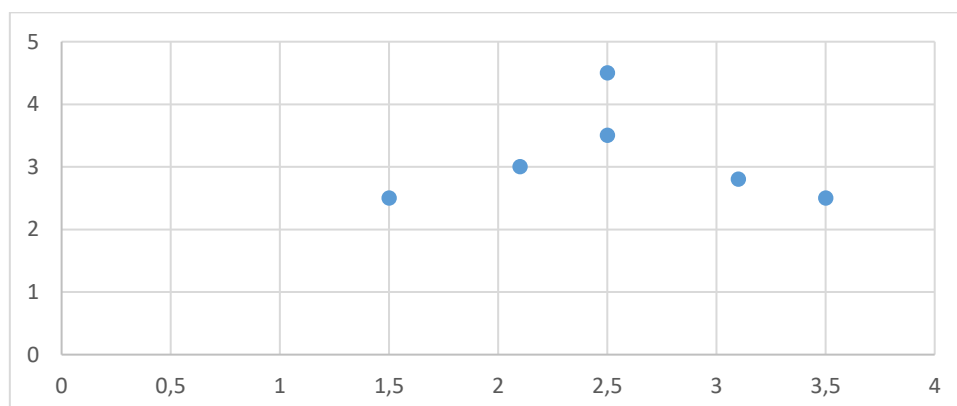


Figure 35: Diagramme de Farmer (risques initiaux moyens / dangers)

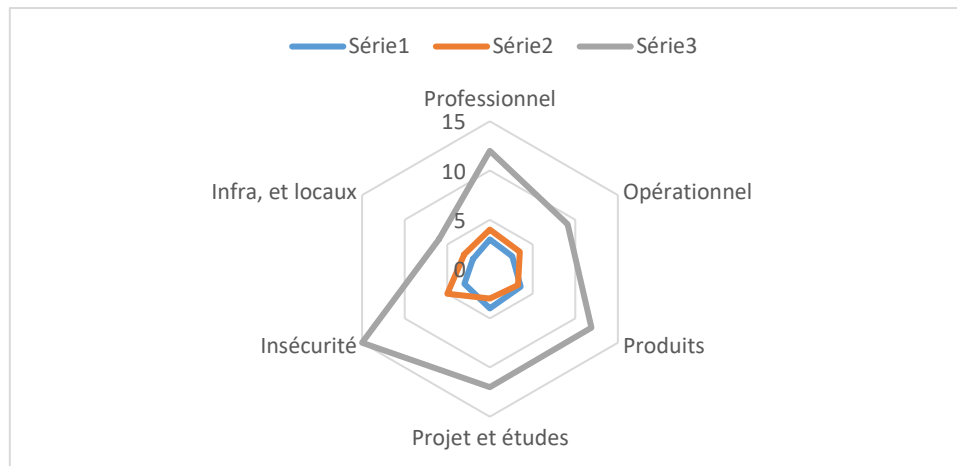


Figure 36: Diagramme de Kiviat (risques initiaux / dangers)

B. Evaluation des risques résiduels

La mise en place des barrières de sécurité (actions de réduction des risques) n'a pas été respectée par les entreprises de réalisation de ces viaducs et donc l'évaluation des risques résiduels pour déterminer leurs acceptabilités ne peut pas être faite.

C. Evaluation des résultats financiers

L'évaluation des résultats financiers se fait par le rapport $K = \text{Effort} / \text{Perte}$ dont:

- La perte qui est la valeur financière qui évalue la perte qu'a causé chaque danger.
- L'effort qui est la valeur financière qui évalue l'effort fourni par l'entreprise pour couvrir les dégâts.

Si ce rapport est inférieur à 1, c'est-à-dire que c'est un traitement économique car l'effort à réaliser est inférieur au montant des pertes brutes.

Si ce rapport est supérieur à 1 et dans ce cas le traitement est dit politique car l'effort à réaliser n'est plus rattaché à un objectif purement économique mais à d'autres enjeux.

Par manque de ces données dans les entreprises de réalisation, cette étape ne peut être effectuée.

5.3 Gestion des risques

Sur cette étape, on élabore les plans d'actions qui regroupent les actions faites pour réduire les risques de criticité C2 et C3 et le catalogue de paramètres de sécurité. Entre autre, ces plans permettent de faire le suivi des actions de réduction afin de déterminer si elles sont efficaces ou si elles ont des effets secondaires sur le projet. Mais dans la réalité du projet, ces

actions n'ont pas été suivies par les entreprises donc la rédaction des plans d'actions et du catalogue ne peut pas être faite.

6. Comparaison entre les deux méthodes AGR et Nœud papillon

Nœud papillon et AGR, deux méthodes d'approches qui sont totalement différentes dans les étapes mais pas selon le concept car tous les deux ont pour but de réduire les risques et aboutissent au même résultat au final.

Après avoir appliqué ces deux méthodes, on déduit qu'elles peuvent être appliquées dans le domaine de construction car leurs processus permettent d'identifier les risques, de les évaluer et de les réduire ou les supprimer ce qui sera le cas idéal.

L'AGR comme son nom l'indique, elle fait une analyse globale des risques et prend en compte tous les détails d'un système, elle détermine la vraie source du risque et son action de réduction et aussi par l'évaluation rapport coût / risque, elle permettra de voir si les actions qu'on doit faire sont économiques ou pas. Et au final, grâce à ses plans d'actions de réduction et le catalogue de paramètres de sécurité, elle permettra de déterminer les effets secondaires des actions de réduction. Donc avec tous ces étapes, on peut dire que sa mise en œuvre est complexe mais entre autre très efficace car c'est les détails qui feront la différence entre les méthodes d'analyses pour la bonne maîtrise des risques.

Le nœud papillon, grâce à son schéma, elle permettra d'avoir une bonne visualisation des risques identifiés. Avec les portes logiques et les probabilités, elle déterminera à quoi ces derniers peuvent aboutir (événement redouté) ainsi que les conséquences de cet événement sur l'environnement. Son processus comporte moins de détails lors de l'identification et l'évaluation des risques qui sont très importants pour assurer une bonne étude de réduction des risques, donc elle sera moins efficace sur cela, mais c'est une méthode qui peut se compléter avec d'autres comme l'AGR, Hazop etc.. Ce qui augmentera son efficacité.

Sa mise en œuvre est moins complexe par rapport à l'AGR mais en la combinant avec une autre méthode d'analyse, elle peut être complexe comme elle peut ne pas l'être et sa dépendra de la méthode choisie lors de l'identification des risques.

Le calcul des probabilités ne peut être toujours précis, et vu que la méthode Nœud papillon est une méthode quantitative, l'AGR peut combler cette insuffisance car c'est une méthode qualitative

Application des deux méthodes d'approches

Le tableau suivant montre la comparaison entre les deux méthodes selon quelques critères:

Tableau 46: Caractéristiques des méthodes d'analyse de risque.

critères Méthode	Approche Systémique	Approche Déterministe	Approche Probabiliste	Méthode Inductive	méthode Déductive	Domaine d'application
AGR	X		X	X	X	Tout type d'industrie
Nœud Papillon			X	X	X	Tout type d'industrie

AGR c'est la méthode la plus complète parce qu'elle vérifie presque tous les critères malgré qu'elle soit difficile dans son application.

Ces deux méthodes font preuve en terme de réduction des risques et sont très performantes dans leurs domaines spécialisés et sur lesquels elle ont été développés. Mais en l'appliquant dans un secteur différent qui est la construction, on peut dire que l'AGR est la plus convenante pour l'étude des risques.

7. Conclusion

Après avoir appliqué les méthodes analyse globale des risques et nœud papillon dans le même domaine, on conclut que les deux méthodes peuvent être utilisés dans tout type d'industrie, mais la méthode AGR est plus convenable et préférable comme choix pour le management des risques vu son niveau élevé de performance surtout en termes de détails

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce modeste travail de recherche a été consacré au management des risques dans un projet réel dans le secteur des travaux publics qui est la pénétrante autoroutière de GHAZAOUET sur ses viaducs avec la mise en œuvre de certains outils afin de maîtriser les risques, que ça soit en réduisant leur probabilité d'occurrence ou leurs gravités ou les deux.

Ce mémoire nous a permis de déterminer le rôle du management des risques dans l'entreprise, découvrir quelques outils de management en général et de les comparer selon des critères précis. On s'est concentré également sur deux méthodes qui sont l'Analyse Globale des Risques et le Nœud Papillon, nous avons examinés les domaines majoritaires dans lesquels ils ont été appliqué pour tester leur application dans le secteur de travaux publics. A ce titre, l'étude d'un cas réel a été notre préoccupation afin de déterminer laquelle des deux méthodes cités ci-dessus était la plus performante pour la réduction des risques.

L'avantage des deux méthodes c'est qu'elles sont deux types d'approches inductive/déductive. Elles peuvent déterminer les conséquences d'un risque en partant des causes comme elle peuvent aussi déduire les causes en partant d'un événement indésirable, pour aboutir en définitif au même résultat. Seulement, l'AGR traite les risques à l'échelle macroscopique sur son processus, pour aboutir à la vraie source du problème en mettant plus de temps que la méthode Nœud papillon.

La méthode AGR est avantageuse par rapport à l'autre méthode en ce qu'elle permet de faire un suivi des actions de réduction des risques après leurs applications et de déterminer de même leurs effets secondaires.

Au final, les méthodes quantitatives sont moins employées car le calcul de probabilités n'est pas toujours précis.

Pour toutes ces raisons, l'AGR de par ses performances devance le Nœud papillon.

L'absence de la prise en compte du management des risques dans la réalisation des différents projets peut avoir des conséquences de gravité mineure comme elle peut aussi causer l'échec totale de l'entreprise. En définitif, notre principale recommandation à l'ensemble des intervenants dans le domaine des travaux publics est de tenir compte sans exclusive de la gestion des risques dans tous leurs projets.

BIBLIOGRAPHIE

- BENHADJI W., (2014), « Risque projet et méthodes de management des risques projet : Quelle approche pour une contribution a une meilleure planification d'un projet de construction ? ».
- DESROCHES et Al, (2003), « La gestion des risques, Edition Hermès Science ».
- DESROCHES, (2013), « Le management des risques par l'analyse globale des risques ».
- DESROCHES et Al, (2016), « Analyse globale des risques, Edition Lavoisier Hermès ».
- GOURC D., (2006), « Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services. Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Toulouse ».
- INERIS, (2008), « Rapport Oméga 10 ».
- INERIS-DRA, (2003), « Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle. INERIS, Direction des Risques Accidentels ».
- ISO 31000 (2015), « Management des risques, Principes et Lignes Directrices », Suisse.
- IDDIR O., (2015), « Nœud papillon: une méthode de quantification du risque ».
- LAROUSSE, (2008)
- LAKERMI A., (2013), « Management des risques géotechnique dans un projet routier par la méthode AMDEC et MADS-MOSAR ; cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 ».
- MAZOUNI M., (2009), « Pour une meilleure approche du management des risques ».

RESUME

Ce mémoire est un modeste travail de recherche concernant le management des risques appliqué à un cas d'étude réel. La première partie de ce travail est une tentative de cerner le jargon et les quelques outils de management utilisés dans ce domaine dans le but de prévoir les risques qui peuvent surgir. Dans une deuxième partie, notre choix s'est porté sur deux outils de management parmi ceux qui ont été présentés et qui ont rarement été utilisés dans le secteur de la construction à savoir l'Analyse globale des risques et le Nœud papillon. Notre préoccupation majeure est de vérifier leurs applications dans le secteur des travaux publics ce qui nous aidera à déterminer leur compatibilité et leur performance. Pour ce faire, une comparaison sera faite à l'effet de cerner leur avantages et inconvénients à même de déterminer celle qui présente les meilleurs délais pour leurs mises en œuvre.

Mots clés:

Risques, Nœud papillon, Viaduc, Evaluation, Analyse globale des risques

ملخص

هذه الأطروحة هي عمل بحثي متواضع حول إدارة المخاطر من أجل دراسة حالة حقيقية. الجزء الأول من هذا العمل هو محاولة لتحديد المصطلحات وأدوات الإدارة القليلة المستخدمة في هذا المجال من أجل التنبؤ بالمخاطر التي قد تنشأ. في الجزء الثاني، اخترنا أدواتين للإدارة من بين الأدوات التي تم تقديمها والتي نادراً ما تستخدم في قطاع البناء وهي تحليل العام للمخاطر وعقدة الفراشة. يتمثل شاغلنا الرئيسي في التحقق من تطبيقاتهم في قطاع الأشغال العامة، مما سيساعدنا على تحديد مدى توافقها وأدائها. للقيام بذلك، سيتم إجراء مقارنة لتحديد مزاياها وعيوبها لتحديد أفضل وقت ممكن لتنفيذها.

الكلمات المفتاحية:

المخاطر، عقدة الفراشة، جسر، تقدير، تحليل العام للمخاطر

ABSTRACT

This thesis is a modest research work on risk management applied to a real case study. The first part of this work is an attempt to identify the jargon and the few management tools used in this area in order to predict the risks that may arise. In a second part, we chose two management tools among those that were presented and that were rarely used in the construction sector namely the Global Risk Analysis and the Bow Tie. Our main concern is to verify their applications in the public works sector which will help us to determine their compatibility and performance. To do this, a comparison will be made to identify their advantages and disadvantages to determine the one that has the best lead time for their implementation.

Key words:

Risk, Bow tie, Viaduct, Assessment, Global risk analysis
