

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCEM

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie Civil

Mémoire pour l'obtention du

Diplôme de Master en Génie Civil

Option **Civil Engineering Management**

Intitulé

**MANAGEMENT DES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS UN PROJET
ROUTIER PAR LA METHODE AMDEC ET MADS-MOSAR ; CAS DE LA
BRETELLE PRINCIPALE « A » DE L'ECHANGEUR DE LA RN02**

Présenté par

LAKERMI ANIS

Soutenu en juin 2013 devant le jury composé de

BEZZAR Abdelillah	<i>Maître de Conférences A</i>	Président
ALLAL M. Amine	<i>Professeur</i>	Encadreur
BENACHENHOU Kamila A. ép. HAKIKI	<i>Maître assistante A</i>	Encadreur
MELOUKA Smain	<i>Maître assistant A</i>	Examineur
HAMZAOUI Fethi	<i>Maître assistant A</i>	Examineur

**MANAGEMENT DES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS UN PROJET
ROUTIER PAR LA METHODE AMDEC ET MADS-MOSAR ; CAS DE LA
BRETELLE PRINCIPALE « A » DE L'ÉCHANGEUR DE LA RN02**

LAKERMI ANIS

A la mémoire de ma mère, Nawel.

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour et le courage.

REMERCIEMENTS

A travers ces quelques lignes, je tiens à exprimer mes remerciements et l'expression de mon profond respect et gratitude pour tous ceux et celle qui m'ont aidé à la concrétisation de ce modeste travail d'initiation à la recherche. De ce fait, remercier c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leurs compétences, ont su créer un cadre d'étude m'ayant permis de concrétiser ce modeste travail d'initiation à la recherche.

Tout d'abord je souhaite exprimer mes plus profonds remerciements et toute ma gratitude à mes encadreurs, Professeur ALLAL M. Amine et Madame BENACHENHOU ép. HAKIKI Kamila A. qui, par leurs disponibilités, leurs écoutes, leurs soutiens, leurs compétences, et leurs analyses pertinentes, m'ont toujours amenée à pousser ma réflexion de plus en plus loin. Je les remercie énormément pour leur patience.

Je tiens à adresser mes remerciements à M.BEZZAR Abdelillah, Maitre de Conférences A à l'université de Tlemcen d'avoir accepté de présider mon juré. Je remercie également M. MELOUKA Smail, Maitre Assistant A à l'université de Tlemcen et M. HAMZAOUI Fethi Maitre Assistant A à l'université de Tlemcen pour avoir accepté d'être examinateurs de mes travaux de mémoire, pour l'intérêt et le temps qu'ils ont portés à mon travail. Qu'ils trouvent ici mes considérations les plus sincères.

Je désire exprimer mes vifs remerciements au Professeur TAIBI Said à l'université du HAVRE (France), pour son accueil durant mon stage, et pour tous les conseils et éclaircissements qu'il m'a prodigués.

J'adresse mes remerciements avec mes profonds sentiments à mon père, mes grands-parents, mes frères et sœurs, ma marâtre, mes tantes, mes oncles, mes cousins et cousines, mes amis, pour leur soutien et leur souci permanent de me fournir le meilleur d'eux même.

L'ordre de mes remerciements n'a pas d'importance, car tous ceux que j'ai nommés m'ont apporté un soutien décisif, à un moment ou un autre.

RESUME

Ce travail fait partie d'une série de recherches consacrée au management des risques géotechniques dans les projets routiers, avec une mise en œuvre d'outils et de méthodes spécifiques de maîtrise des risques. Pour commencer, on définira les notions de base concernant les risques, en y abordant l'essentiel des activités relatives au management des risques conformément à la norme ISO 31000. Après avoir passé en revue ces généralités, nous nous étalerons sur les principaux outils de maîtrise des risques qui vont être utilisés. Ensuite, on reviendra sur les principales phases du projet routier ainsi que les risques géotechniques rencontrés dans les ouvrages de route, qu'ils soient d'origine naturelle, humaine ou liés aux essais. La partie la plus originale de ce travail sera d'utiliser des outils et les méthodes de maîtrise des risques (MADS-MOSAR et AMDEC), jusque-là employés essentiellement dans le domaine de l'industrie, à un cas concret d'ouvrage routier en faisant appel à la modélisation systémique et à l'analyse fonctionnelle. A la fin, on démontrera la pertinence de ces outils dans le domaine du management des risques géotechniques des ouvrages routiers.

Mots clé : Risque ; Géotechnique ; Systémique ; AMDEC ; MADS-MOSAR ; ISO 31000 ;
Projet routier ;

ABSTRACT

This work is part of a series of studies devoted to the management of geotechnical risks in highway projects with implementing specific tools and methods of risk control. To begin, we define the basics of risk, by approaching there the main part of the activities relating to the management of the risks in accordance with the standard ISO 31000. After reviewing these generalities, we will be spread out over the principal tools for control of the risks which will be used. Then, one will reconsider the principal phases of the road project the geotechnics risks met in the works of road, whether they are of natural, human origin or related to the tests. The most original part of this work is to use tools and methods of risk control (MADS-MOSAR and AMDEC), previously used mostly in the industry field,, in a concrete case of road work by calling upon systemic modeling and the functional analysis. At the end, we demonstrate the relevance of these tools in the field of of geotechnical risk management road works.

Keywords: Risk, Geotechnical, systemic, FMECA, MADS-MOSAR, ISO 31000, Highway Project.

ص خ ل م ل ا

هذا العمل جزء من مجموعة بحوث خاصة بالمناجنت الاخطار التكنولوجرافية في مشاريع انجاز الطرقات، مع وضع ادوات و مناهج خاصة للتحكم في الأخطار. في بداية المشروع، سنعرّف المعلومات الأساسية ذات علاقة بالأخطار، مع احاطتها بأهم النشاطات المتعلقة بمناجنت الأخطار طبق المرجع ISO 31000. بعد التعرّيج على هذه العموميات، تتوسّع في أهم الأدوات الازمة و المستعملة للتحكم. ثم نعود إلى المراحل الكبرى من مشروع إنشاء الطرقات و الأخطار التكنولوجرافية التي يتلقاها أثناء هذه المشاريع، سواءا كانت طبيعية، بشرية أو ذات صلة بالمحاولات. الجزء الأكثر استثناء في هذا العمل، هو استعمال الأدوات و المناهج الخاصة للتحكم في الأخطار (AMDEC و MADS MOSAR) لحدّ الآن، المستعملة خاصة في الميدان الصناعي، سنطبقها ميدانيا، في مشروع انجاز طريق و ذلك بالمرجعية إلى تمثيل جهازي و تحليل لأهمية كلّ عنصر في جها و أخيرا، سنبرهن أهمية و مصدقيه هذه الأدوات في ميدان مناجنت الأخطار التكنولوجرافية في مشاريع انجاز الطرقات.

تاملك ثحبالا: رطاخمل، ةينقتويجل، ةيماظنل، AMDEC، MADS-MOSAR، ISO 31000، عورشم قيرطلا

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	IV
RESUME	V
ABSTRACT	VI
المخلص	VII
TABLE DES MATIERES	VIII
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	XIV
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	XV
INTRODUCTION	2
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES RISQUES	6
1. INTRODUCTION	6
2. GENERALITES SUR LES RISQUES.....	7
2.1 Concept de risque et définitions	7
2.2 Processus de management du risque.....	8
2.2.1 Etablissement du contexte.....	9
2.2.2 L'appréciation des risques (Risk Assessment)	10
2.2.3 Stratégie de réponse au risque (traitement des risques)	13
2.2.4 Communication et concertation	15
2.2.5 Surveillance et revue des risques.....	16
3. NORMES ISO 31010 : 2009 ET OUTILS ET METHODES DE MANAGEMENT DES RISQUES	16
3.1 Les règles applicatives émergentes de la norme ISO31000	18
3.2 Adéquation des règles de l'ISO31000 : 2009 avec les outils proposés par l'ISO 31010 : 2009	20
4. CONCLUSION	21
CHAPITRE 2 : OUTILS ET METHODES DE MAITRISE DES RISQUES.....	24
1. INTRODUCTION	24
2.- A.M.D.E.(C)	25
2.1 Principe de l'A.M.D.E.....	25

2.2	Domaine d'application de l'A.M.D.E.(C)	26
2.3	Types d'A.M.D.E.C.	27
2.3.1	AMDEC Produit	27
2.3.2	AMDEC Processus	27
2.3.3	AMDEC Moyen de production	27
2.4	Caractéristiques essentielles de l'AMDEC	28
2.5	Place de l'AMDE(C) dans une démarche de maîtrise des risques	29
2.5.1	Pourquoi plusieurs niveaux ?	30
2.5.2	Pourquoi plusieurs sujets ?	30
2.5.3	Pourquoi plusieurs AMDEC par phase ?	30
2.6	Réalisation d'une AMDEC	31
2.6.1	Préparation à l'AMDE(C)	31
2.6.2	Conduite de la méthode	31
2.6.3	Première étape : Décomposition et modes de défaillances	32
2.6.4	Deuxième étape : effets et criticités	33
2.6.5	Troisième étape : synthèse	34
2.7	Exploitations de l'AMDE(C)	35
2.7.1	Evaluation des défaillances	35
2.7.2	Actions correctives	36
2.7.3	Suivi et corrections	37
2.8	Réputation d'exhaustivité de l'AMDEC	37
2.9	Domaines d'application	38
3.	ARBRES DE DEFAILLANCE, DES CAUSES ET D'EVENEMENT	38
3.1	Arbre de défaillance	38
3.1.1	Caractéristiques	39
3.1.2	Objectifs	39
3.2	Arbre des causes	40
3.2.1	Principe	40
3.2.2	Caractéristiques	40
3.2.3	Objectifs	41
3.3	Arbre d'événement	42

3.3.1 Principe	42
3.3.2 Objectifs.....	42
3.3.3 Pertinence	43
4. METHODE MADS-MOSAR.....	43
4.1 Structure générale de la méthode MOSAR les deux modules et les dix étapes.....	44
4.2 Modèles mis en œuvre : MADS	46
4.3 Mise en œuvre de MADS-MOSAR.....	47
4.3.1 Modélisation.....	48
4.3.2 Identification des sources	49
4.3.3 Association des événements	49
4.3.4 Construction des processus	50
4.3.5 Construction des scénarios.....	50
4.3.6 Construction des arbres logiques.....	50
4.3.7 Identification des mesures de maîtrise des risques.....	51
4.3.8 Identification des mesures de pérennité.....	51
4.4 Avantages de la méthode	51
4.4.1 Exhaustivité	52
4.4.2 Coordination des outils	52
4.4.3 Souplesse	52
4.4.4 Capitalisation	52
4.5 Inconvénients de la méthode	53
5. CONCLUSION	53
CHAPITRE 3 : LES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS LE PROJET DE ROUTE.....	56
1. INTRODUCTION	56
2. CYCLE DE VIE D'UN PROJET ROUTIER	57
2.1 Phase 1 : « Études préalables »	57
2.2 Phase 2 : « Conception »	58
2.3 Phase 3 : « Réalisation »	58
2.4 Phase 4 : « Clôture »	58
3. INGENIERIE DES SYSTEME DANS UN PROJET ROUTIER	59
3.1 L'approche systémique.....	59

3.1.1 Pourquoi avoir recours à une approche systémique ?.....	60
3.1.2 Etapes de l'approche systémique.....	60
3.2 L'analyse fonctionnelle	61
3.2.1 Caractéristiques des différents types de fonction	61
3.2.2 Etapes de l'analyse fonctionnelle	62
4. LES RISQUES ET LES PROJETS ROUTIER.....	65
5. QUELLE SONT LES RISQUE GEOTECHNIQUES QUI PEUVENT AFFECTER LE PROJET ROUTIER ?	67
5.1 Les mouvements de terrains	67
5.2 Classification des mouvements de terrains.....	68
5.2.1 Mouvements de pente	68
5.2.2 Mouvements verticaux.....	71
5.3 Erreur et incertitudes sur les sols	72
5.3.1 Les erreurs d'observation	72
5.3.2 Les erreurs d'enquête.....	73
5.3.3 L'importance de la qualité au laboratoire et la norme ISO17025	74
5.4 Risques anthropiques.....	74
5.5 Dégradation des chaussées.....	75
6. CONCLUSION	76
CHAPITRE 4 : MISE EN ŒUVRE DES OUTILS ET MAITRISE DES RISQUES.....	78
1. INTRODUCTION	78
2. APPLICATION DE MADS-MOSAR DANS UN PROJET ROUTIER	79
2.1 Décomposition du système étudié et des systèmes environnement et opérateurs en sous-systèmes.....	79
2.2 Le module A de la méthode et ses cinq étapes	81
2.2.1 Etape1 : Identification des sources et des processus de danger	81
2.2.2 Etape2 : Identification des scénarios de danger.....	88
2.2.3 Etape3 : Évaluation des scénarios à risques	101
2.2.4 Etape 4 Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios	101
2.2.5 Etape 5 : Définition et qualification des moyens de prévention et de protection.....	105
2.3 Conclusion sur le module A.....	108

2.4 Le module B de la méthode et ses cinq étapes	108
2.4.1 Etape 1 : Identifier les risques de fonctionnement	108
2.4.2 Etape2 : Évaluer les risques en construisant des arbres de défaillances et en les quantifiant	111
2.4.3 Etape 3 : Négocier des objectifs précis de prévention	116
2.4.4 Etape 4 : Affiner les moyens de prévention	123
2.4.5 Etape 5 : Gérer les risques.....	125
2.5 Conclusion sur le module B.....	128
3. CONCLUSION	128
CONCLUSION	130
BIBLIOGRAPHIE	133
ANNEXES	
ANNEXES A Information sur la bretelle	137
ANNEXES B Situation de la bretelle principale	138
ANNEXES C Séquencement du projet de fin d'étude	139
ANNEXES D Work breakdown structure du projet de fin d'étude	141

ACRONYMES ET ABREVIATION

ADD	Arbre De Défaillance
AEEL	Analyse des Erreurs et de leurs Effet sur le Logiciel
AFSCET	Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, Cognitifs et Techniques
AIPCR	Association mondiale de la route
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effet et de leur Criticité
APD	Avant-Projet Détaillé
APR	Analyse Préliminaire des Risques
APS	Avant-Projet Sommaire
AFNOR	Association Française de Normalisation
BT	Barrière Technologique
BU	Barrière d'Utilisation
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
EI	Evènement Initial
EIE	Evénements Initiateurs Externes
EII	Evénements Initiateurs Internes
ENS	Evènement Non Souhaité
EP	Evénements principaux
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticaly Analysis
HAZOP	Hazard and Operability Studies
ISO	International Standard Organisation
MADS	Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnements des systèmes
MOSAR	Méthode Organisé Systémique d'Analyse des Risques
QCD	Qualité, Coût, Délais
REX	Retour d'Expérience
SDF	Sureté De Fonctionnement
SS	Sous-systèmes

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

1. LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Modélisation standard du risque	8
Figure 1.2	Processus de mangement du risque selon l'ISO 31000 : 2009	9
Figure 1.3	Les taches de l'établissement du contexte.....	10
Figure 1.4	Effets de la prévention et de la protection	14
Figure 1.5	Limite d'acceptabilité du risque	15
Figure 1.6	Règles applicatives de la norme ISO 31000 : 2009	19
Figure 2.1	Principe de l'A.M.D.E	26
Figure 2.2	Domaine d'application de l'AMDE(C) au fil du temps	26
Figure 2.3	Récapitulatif des types d'AMDEC	28
Figure 2.4	Exemple d'arbre de défaillance	39
Figure 2.5	Exemple d'Arbre des causes.....	41
Figure 2.6	Exemple d'arbre d'évènement	42
Figure 2.7	Les deux modules et les dix étapes de MOSAR : le parcours complet de MOSAR	45
Figure 2.8	Le Modèle MADS ou l'univers du danger	46
Figure 2.9	Etape de mise en œuvre de MADS-MOSAR	48
Figure 2.10	Évènement associés à la source	50
Figure 2.11	Avantages et inconvénients de MADS-MOSAR	53
Figure 2.12	Classification des principales méthodes d'analyse de risque	53
Figure 3.1	Cycle de vie d'un projet routier.....	57
Figure 3.2	Etapes de la démarche systémique	60
Figure 3.3	Etapes de l'analyse fonctionnelle	62
Figure 3.4	Approche systémique du projet routier	63
Figure 3.5	Analyse fonctionnelle du projet routier	64

Figure 3.6	Exemple de risques statiques et de risques dynamiques	65
Figure 3.7	Classification des risques statique.....	66
Figure 3.8	Catégorie de mouvements de terrain	67
Figure 3.9	Types de mouvements de pente	69
Figure 3.10	Types de mouvements verticaux.....	71
Figure 3.11	Principales dégradation de chaussée	75
Figure 4.1	Décomposition du système route en 5 sous-systèmes source de danger ..	80
Figure 4.2	Scénario court du SS1 Chaussée	89
Figure 4.3	Scénario court du SS2 Equipement de la route	90
Figure 4.4	Scénario court du SS3 Engins	91
Figure 4.5	Scénario court du SS4 Environnement	92
Figure 4.6	Scénario court du SS4 Ressources humaines	93
Figure 4.7	Scénario long du système route	95
Figure 4.8	Arbre logique arrêt de chantier	98
Figure 4.9	Arbre logique accident/blessure.....	99
Figure 4.10	Arbre logique dégradation de la route	100
Figure 4.11	Grilles Gravité X Probabilité pour le SS1 chaussée	102
Figure 4.12	Grilles Gravité X Probabilité pour le SS2 équipement de la route	102
Figure 4.13	Grilles Gravité X Probabilité pour le SS3 engins	103
Figure 4.14	Grilles Gravité X Probabilité pour le SS4 environnement	103
Figure 4.15	Grilles Gravité X Probabilité pour le SS5 ressources humaines	104
Figure 4.16	Grilles Gravité X Probabilité pour les scénarios longs	104
Figure 4.17	Types de barrières	105
Figure 4.18	Opérations nécessaires pour la réalisation d'une chaussée	109
Figure 4.19	Arbre de défaillance accident	110
Figure 4.20	Arbre de défaillance dégradation de la chaussée	114
Figure 4.21	Arbre de défaillance arrêt de chantier	115
Figure 4.22	Arbre de défaillance accident avec allocation de barrières configuration 1	117

Figure 4.23 Arbre de défaillance accident avec allocation de barrières configuration 2	118
Figure 4.24 Arbre de défaillance dégradation de la chaussée avec allocation de barrière configuration 1	119
Figure 4.25 Arbre de défaillance dégradation de la chaussée avec allocation de barrières configuration 2	120
Figure 4.26 Arbre de défaillance arrêt de chantier avec allocation de barrières configuration 1	121
Figure 4.27 Arbre de défaillance dégradation de la chaussée avec allocation de barrières configuration 2	122
Figure 4.28 Arbre d'évènement arrêt de chantier 1 (Glissement de terrain)	126
Figure 4.29 Arbre d'évènement arrêt de chantier 2 (Eboulement)	127

2. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 7 groupes d'outils listés dans ISO 31010	17
Tableau 1.2 Liste des outils étudiés	18
Tableau 1.3 Conformité des outils précités avec les règles applicatives	21
Tableau 2.1 Exemple de Tableau	34
Tableau 3.1 Exemples de risque naturels et risques anthropogéniques	66
Tableau 4.1 Systèmes sources de danger dans la construction	82
Tableau 4.A1 Etablissement des processus de danger du sous-système chaussée	83
Tableau 4.A2 Etablissement des processus de danger du sous-système équipements de la route	84
Tableau 4.A3 Etablissement des processus de danger du sous-système Engins	85
Tableau 4.A4 Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement	86
Tableau 4.A5 Etablissement des processus de danger du sous-système ressource humaine	87
Tableau 4.B Etablissement des barrières pour les scénarios longs	107
Tableau 4.2 AMDEC Cause d'arrêt de chantier du projet	112
Tableau 4.3 AMDEC Réalisation d'une chaussée	113
Tableau 4.4 Tableau correspondance Gravité / Nombre de barrières	116
Tableau 4.D Recensement de toutes les barrières	124

INTRODUCTION

« SEULS CEUX QUI
SE RISQUERONT A PEUT-
ETRE ALLER
TROP LOIN SAURONT JUSQU'OU
IL EST POSSIBLE D'ALLER. »

T. S. Eliot

INTRODUCTION

L'activité de construire est l'une des plus anciennes de l'humanité et la perception des risques associés à cette activité y est importante, que ce soit sur le plan humain ou sur le plan matériel. De tout temps, l'homme a été exposé à des risques et de tout temps l'activité humaine a généré des risques pour son environnement. Dans les temps préhistoriques, les risques étaient redoutables : prédateurs, maladies, etc. Prévention et protection tenaient alors de l'instinct de conservation. Les civilisations antiques (Égypte, Grèce...) vont donner une véritable dimension politique au risque en organisant la prévention et la protection autour de finalités et d'objectifs. Puis les Romains, pour unifier et rationaliser un espace d'influence immense et pluriculturel, vont instituer la codification et développer les réglementations, donnant en quelque sorte naissance aux notions de « norme » et de « conformité ».

L'avènement de l'ère industrielle marque une rupture nette dans l'évolution des risques, ceux-ci se multiplient et changent de nature comme de dimension, liés à l'utilisation de nouvelles substances ou de nouvelles sources d'énergie, à la mécanisation ou à de nouveaux modes de déplacements. Pourtant, jusqu'aux années 1970, il semblera naturel que ces nouveaux risques méritent d'être courus, car les technologies et l'industrialisation apparaissent nécessaires à la prospérité des sociétés. Mais la succession de crises intervenues depuis lors, et les mutations socio-économiques engagées vont modifier cette perception du progrès et des risques qui l'accompagnent. Ces quarante dernières années, le contexte s'est considérablement complexifié et il semble bien illusoire d'envisager une identification exhaustive des risques, d'espérer en prévenir toutes les causes et d'en apprécier toutes les conséquences. Seule certitude, ces conséquences peuvent désormais atteindre une ampleur terrifiante : Bhopal, Mexico, Tchernobyl, etc.

Les ouvrages du génie civil ont des particularités qui imposent des méthodes de gestion des risques particulières, ce sont des ouvrages en interaction avec le milieu naturel toujours insaisissable dans la leur complexité et leur évolution dans le temps. Ce sont des ouvrages souvent passifs dont le rôle est de résister à la force de gravitation terrestre ou à des forces extérieures comme la poussée des eaux ou des terrains, la houle ou le vent, les séismes, etc. Par ailleurs, les utilisateurs de ces ouvrages sont souvent des collectivités de personnes (c'est le cas par exemple pour un pont, un immeuble, un tunnel ou un barrage, etc.), qui constituent également le principal champ d'exposition aux risques induits par l'existence de ces ouvrages.

La conception des ouvrages, leur réalisation mais aussi leur exploitation sont les phases de la vie d'un ouvrage de génie civil pendant lesquelles les acteurs sont différents, les personnes ou les biens exposés sont différents et les risques engendrés ont changé. Cela rend complexe et difficile la gestion globale des risques dans le domaine du civil mais cela la rend nécessaire.

La géotechnique est un élément essentiel pour tous les travaux de projet routier. Elle joue un rôle important pour la pérennité des infrastructures et a pour objet d'étudier le sous-sol, c'est-à-dire le « non visible », le plus souvent en vue de construire un ouvrage. Cela dit, la part du connu, après une étude de sols même très poussée, restera toujours limitée. La connaissance du sous-sol ne peut qu'être progressive au fil de la réalisation du projet, au travers des reconnaissances réalisées en étapes successives et des observations faites en cours d'exécution des travaux. Le caractère aléatoire est d'autant plus développé que le sous-sol est de nature très hétérogène (l'action de l'homme ayant parfois accentué cette hétérogénéité). La connaissance partielle et statistique du sous-sol que l'on a acquise à un instant donné, peut même être mise en défaut par une évolution possible de ses propriétés et caractéristiques dans le temps (variation du niveau des nappes, dissolutions karstiques, gonflement et retrait, etc.). En plus des caractères complexes, hétérogènes, évolutives que peut présenter le sous-sol, la nature de l'ouvrage construit peut aussi avoir une influence importante sur son comportement.

Ainsi, l'ingénieur est confronté, aujourd'hui, à gérer ces risques au mieux, le plus tôt possible et tout au long du projet et aussi, à définir des adaptations et dispositions à prendre vis-à-vis de ces risques.

De nombreux outils et méthodes existent pour l'analyse des risques, développés initialement surtout dans le secteur de la finance et le secteur industriel. L'objectif de notre projet sera de parvenir à comprendre les risques géotechniques liés au projet routier, c'est-à-dire les incertitudes, les sources de danger ou les perturbations qui existent structurellement avant et au démarrage du projet et/ou qui peuvent survenir conjoncturellement pendant son déroulement, ainsi que les outils développés dans d'autres secteurs (tels qu'AMDEC, MADS MOSAR, arbre de défaillance, etc.). Aussi Le travail consistera à utiliser des outils de maîtrise des risques (AMDEC et MADS-MOSAR) dans un cas concret de projet routier dans le périmètre des risques géotechniques.

Le mémoire présenté comprend, après une introduction générale, quatre parties essentielles :

Le premier chapitre fait le point sur le risque en général. Il nous renseigne sur les différentes définitions du risque, de l'aléa et de la vulnérabilité, etc., suivant la norme ISO 31000. Ensuite, on passera en revue l'ensemble des approches méthodologiques de maîtrise des risques existant conformément aux normes ISO 31000 et ISO 31010.

Le deuxième chapitre de ce mémoire détaillera l'ensemble des outils qui vont être utilisés par la suite, principe, historique, domaine d'application et condition de mise en œuvre tout en donnant leur avantages et limite d'utilisation.

Le troisième chapitre s'articule autour des différentes étapes pour la réalisation du projet routier d'une manière optimale en utilisant les procédures existantes. Une approche systémique et une analyse fonctionnelle y seront développées, en vue de faciliter notre identification des risques. Le point sur les risques géotechniques (naturels et anthropiques) qui impactent le projet routier sera fait par la suite.

Le quatrième et le dernier chapitre de ce mémoire présentera brièvement le cas concret la bretelle principale « A » sur une longueur de 4km qui relie la ville de Tlemcen à l'autoroute est-ouest, ainsi que l'application des outils cités précédemment en utilisant la méthodologie MOSAR.

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale qui présente des recommandations pour la prise en compte des risques géotechniques dans le projet routier, ainsi que quelques perspectives futures à investiguer et à développer dans cette thématique.

CHAPITRE 01

« SI UN HOMME COMMENCE
AVEC DES INCERTITUDES, IL
FINIRA DANS LE DOUTE ; MAIS
S'IL SATISFAIT DE COMMENCER
AVEC DES DOUTES, IL FINIRA
AVEC DES CERTITUDES »

F. BACON

Chapitre 1

GENERALITE SUR LES RISQUES

1. INTRODUCTION

Tous les professionnels du secteur de la construction ont en tête des projets qui ont subi des retards ou des dépassements de budget dans des proportions considérées comme inadmissibles et les causes de ces dépassements peuvent être multiples (techniques, liées à l'organisation du projet, ou seulement à une mauvaise circulation de l'information entre les acteurs). Ceci se traduit le plus fréquemment par la réalisation d'un ouvrage de mauvaise qualité, ne respectant pas les normes ou non adapté à son usage. Les risques d'un projet deviennent d'autant plus préoccupants que les projets sont de plus en plus complexes, par leur nature technique et par la multiplicité des intervenants.

Le management des risques d'un projet vise à maîtriser l'ensemble de ces risques ; le contexte d'une analyse des risques peut être défini par deux situations principales, un objet technique, (par exemple un engin, une machine), ou un milieu plus complexe, (par exemple une usine, un projet de construction, etc.). Dans ce dernier cas, il y aura forcément beaucoup de relations entre ces objets ainsi qu'avec leur environnement, et les méthodes et outils mis en œuvre pour l'analyse des risques ne seront pas les mêmes dans chacun des deux cas.

Dans le premier cas ce sont plutôt les outils classiques de la sûreté de fonctionnement qui seront utilisés ; dans le deuxième cas, ces outils seuls ne permettront qu'une analyse parcellaire, et il sera nécessaire de disposer de méthodes, c'est-à-dire de démarches complètes incluant bien sûr les outils, mais capables d'en organiser la mise en œuvre.

Tous ces outils permettent des approches par le calcul notamment en matière de probabilité ; la mise en œuvre de ces outils présente un certain nombre de difficultés. Ce sont en effet pour la plupart des outils dont l'origine est liée à l'analyse de fiabilité d'objets ou d'éléments d'objets et leur adéquation à l'analyse de risques n'est pas totale. Par ailleurs, leur mise en œuvre nécessite de l'information, et l'outil en lui-même n'est pas générique de cette dernière (Guide Germa 2012).

Pour une meilleure compréhension du contexte de management du risque ce chapitre présente les concepts du risque et leurs dimensions, ainsi que les outils existant pour le management des risques suivant les normes ISO 31000 : 2009 (Management du risque – Principes et lignes directrices) et ISO 31010 : 2009 (Management des risques – Techniques d'évaluation des risques).

2. GENERALITES SUR LES RISQUES

2.1 Concept de risque et définitions

La notion de risque est complexe et fait l'objet de nombreuses définitions.

Suivant le dictionnaire de la langue philosophique : « Danger ou péril dans lequel l'idée de *hasard est accusée*, mais avec la perspective de quelque avantage possible. C'est en vue de ces avantages que l'homme assume des risques, mais, d'ordinaire, tout en s'assurant le plus possible contre eux. » [P. Foulquié 1962]

Le dictionnaire Larousse 2012 définit le risque comme suit : « Possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage. Danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé. »

Concernant la définition de la norme ISO 31000 : 2009 : « Un risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs, c'est-à-dire la possibilité qu'il y ait un écart positif (opportunité) ou négatif (menace) par rapport à une attente. Constitue donc un risque projet tout événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont l'effet est susceptible d'affecter les objectifs du projet, dans ses périodes d'étude, de construction, et éventuellement d'exploitation ou de démantèlement. »

A partir de ces définitions, on en conclue que le risque a deux dimensions, le danger et la cible ; c'est-à-dire que pour qu'il y ait risque, il faut qu'il y ait danger et une cible exposée à ce danger. Pas de danger, pas de risque. Pas de cible, pas de risque. La présence simultanée d'un danger et d'une cible crée une situation dangereuse, dans laquelle un événement redouté menace de se produire et de causer des dommages à la cible.

La figure 1.1 montre une modélisation standard du risque.

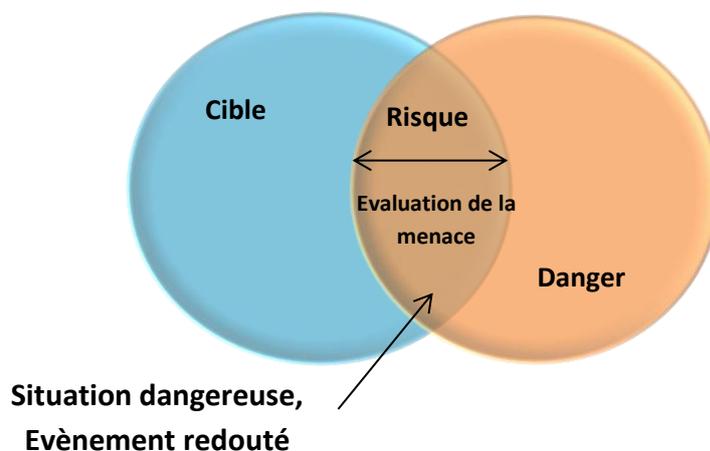


Figure 1.1 Modélisation standard du risque

2.2 Processus de management du risque

Pour définir le processus de management du risque on se réfère à la norme ISO 31000 : 2009 qui est la norme internationale fournissant les principes et lignes directrices sur le management des risques.

L'ISO 31000 : 2009 définit un certain nombre de principes visant à rendre efficace le management du risque. Elle recommande aux organismes d'élaborer, appliquer et améliorer continuellement un cadre pour intégrer les processus de management des risques dans la gouvernance globale de l'organisation, stratégie et planification, valeurs et culture, etc.

L'ISO 31000 : 2009 est une norme utile pour tous, entreprise privée ou publique, association, groupe ou individu. Elle s'applique à toute activité dans une entreprise dont la stratégie et les prises de décisions, les opérations, les processus, les fonctions, les projets, les produits, les services et les actifs. Elle s'applique également à tout type de risque, quelle que soit sa nature, que ses conséquences soient positives ou négatives.

Le processus de mangement du risque se décompose selon la norme ISO 31000 : 2009 en sept activités, comme schématisé sur la figure 1.2

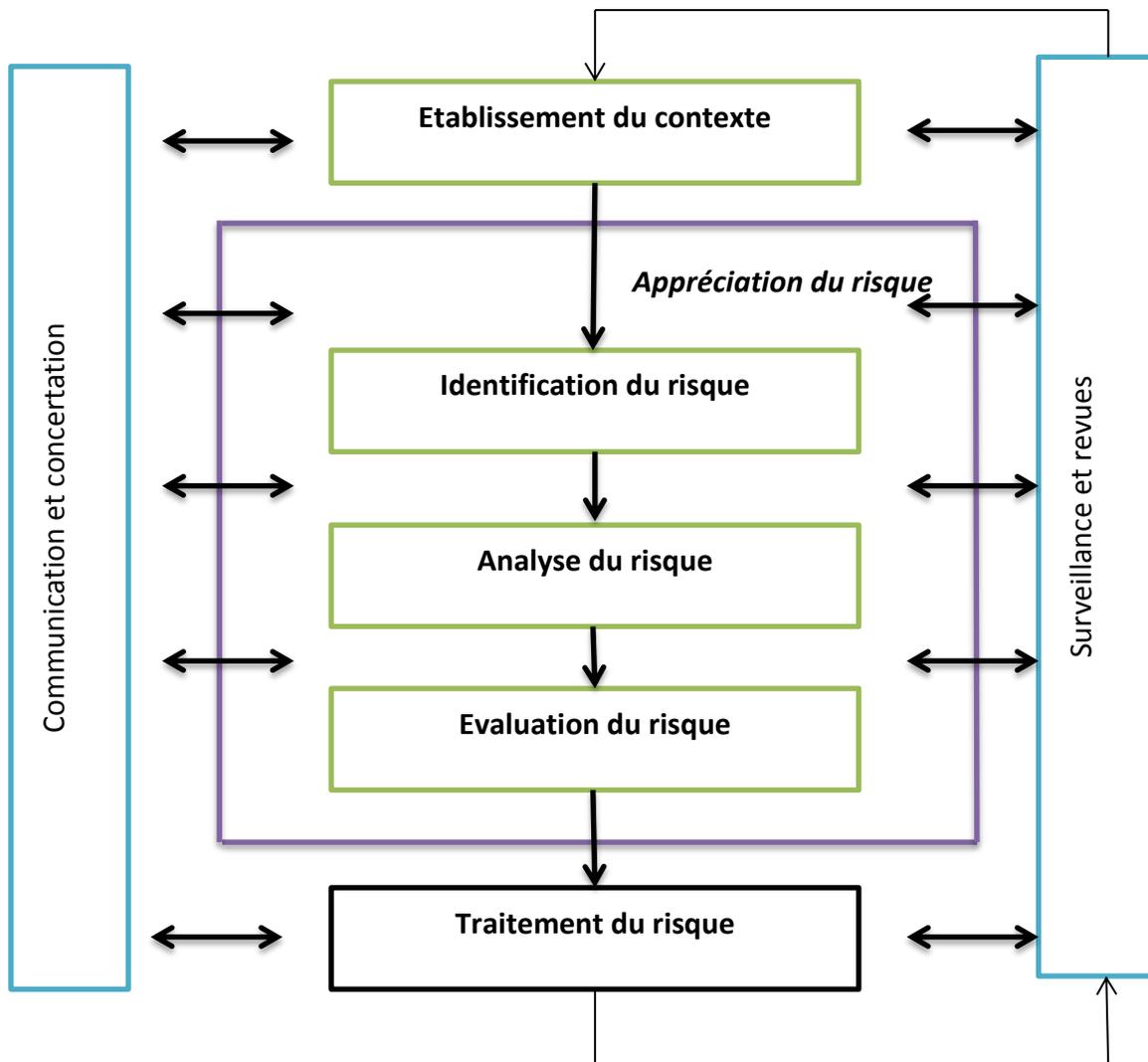


Figure 1.2 Processus de management du risque selon l'ISO 31000 : 2009

2.2.1 Etablissement du contexte

Etablir le contexte va permettre d'appréhender les objectifs de l'organisme, l'environnement dans lequel il poursuit ces objectifs, les parties prenantes et la diversité des critères de risques. Cette activité se décompose en deux grandes tâches (figure 1.3).

2.2.1.1 Analyse des environnements de l'organisme

La norme demande clairement que soient analysés les environnements internes et externes. Il s'agit de comprendre globalement l'organisme, d'identifier les contraintes auxquelles il est soumis, que ces contraintes soient d'ordre réglementaire, économique, social ou environnemental.

Les réponses recherchées de l'analyse ont par exemple trait, pour ce qui est de l'interne, aux métiers et activités de l'organisme, à sa stratégie et à son organisation, à ses pratiques de gouvernance et de management, à sa culture, etc. Et, pour ce qui est de l'externe, aux marchés, aux concurrents, aux clients, aux fournisseurs, à l'implantation, etc.

2.2.1.2 Référentiel de gestion des risques

C'est à ce niveau que l'on va définir tout d'abord le périmètre de gestion des risques puis la méthode utilisée pour l'appréciation des risques au sein de ce périmètre, y compris la manière dont seront abordées les problématiques complexes liées à l'interdépendance des risques entre eux, à l'enchaînement potentiel des causes et des conséquences.

Cette méthode doit s'appuyer sur un référentiel déterminé comprenant des échelles de cotation de la vraisemblance et de la gravité, ainsi qu'une définition de l'acceptabilité du risque.

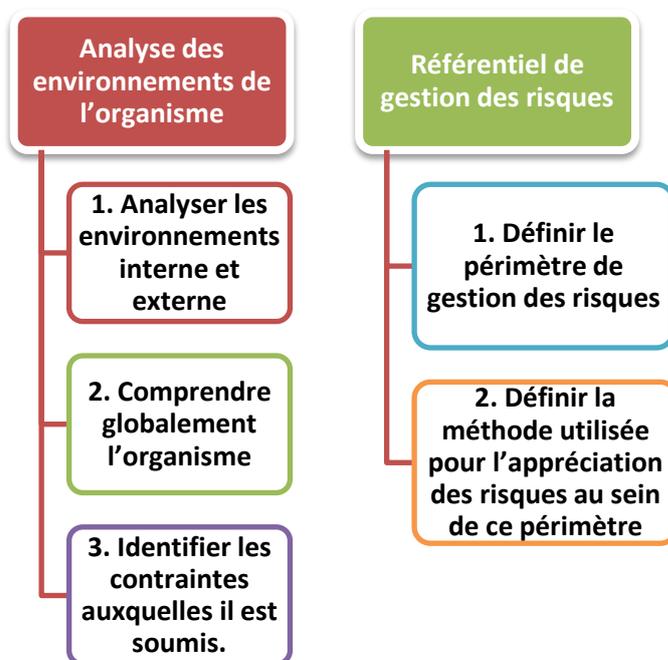


Figure 1.3 Les tâches de l'établissement du contexte

2.2.2 L'appréciation des risques (Risk Assessment)

Elle s'articule autour de trois étapes : *identifier, analyser, évaluer*.

2.2.2.1 Identification du risque

Il s'agit de recenser tous les facteurs ou événements susceptibles de perturber le déroulement du projet ou d'affecter ses objectifs, c'est-à-dire :

- Identifier les sources de risque (qu'elles puissent être maîtrisées par le projet ou non) ;
- Identifier les domaines d'impact des risques identifiés ;
- Identifier les événements avec leurs causes et conséquences potentielles qui pourraient affecter la réussite du projet (positivement ou négativement) ;
- Examiner les réactions en chaîne des conséquences particulières ;
- Etudier toutes les sources et/ou conséquences significatives du risque.

L'identification des risques passera donc par l'identification des dangers et des cibles, puis par l'analyse des menaces, des événements pouvant se produire dans les situations où coexistent dangers et cibles.

Exemples de dangers : l'instabilité d'un sol, la hauteur d'une falaise, la vitesse d'un véhicule, etc.

Exemples de cibles : un piéton sur une route, un chauffeur de véhicule, un ouvrier sur chantier, etc.

Exemples de menaces : une chute, une collision, un départ de feu, une pollution, etc.

Selon la nature du danger et la nature de la cible, l'estimation de la menace ne sera pas la même. Cette estimation mesure la potentialité de la menace à causer des dommages à la cible. La potentialité s'évalue : c'est la vraisemblance du risque. Les dommages, plus souvent appelés impacts s'évaluent également : ils sont la gravité potentielle du risque. Vraisemblance et gravité sont effectivement les deux facteurs permettant d'évaluer le risque.

Remarques

La phase d'identification des risques potentiels est une première étape essentielle appelé analyse préliminaire du risque (APR). Sauf que, Il n'existe pas de liste exhaustive des sources de risque ou événements risqués car ils sont intimement liés au projet lui-même. Pour cela une analyse approfondie doit être faite. Cependant, le recensement pratique de ces risques peut se faire en suivant plusieurs approches et cela tout au long du projet, par exemple :

- En utilisant des « check-lists » recensant les facteurs ou événements les plus fréquents. Ces check-lists sont le fruit de retour d'expérience (REX) lors de projets similaires.
- En menant des séances de brainstorming au sein d'une équipe de projet élargie en présence d'experts, éventuellement en se servant de listes préétablies des risques les plus courants ou en utilisant des logiciels spécialisés (*risky project professional, previsoft, Optimiso, BlueRisk, etc.*)
- Ou par d'autres outils proposés par la norme ISO 31010 : 2009 (c.f §.3)

2.2.2.2 Analyse du risque

Il s'agit ici de comprendre les mécanismes du risque observé. Quelles sont ses véritables causes ? Quelles sont les conséquences envisageables ? L'événement redouté peut-il entraîner des réactions en chaîne, provoquer l'apparition de nouveaux risques peu identifiables à première vue ? En d'autres termes il s'agit de modéliser les causes et les conséquences d'un événement ayant un impact sur les objectifs, c'est-à-dire :

- Déterminer qualitativement ou quantitativement la vraisemblance du risque ;
- Déterminer la gravité du risque et l'ampleur des conséquences possibles.

Il n'existe pas de manière standard de modélisation des risques projet. Chaque acteur pouvant privilégier une modélisation particulière selon les objectifs qu'il poursuit (par exemple sur les conséquences sur les coûts, ou les délais) selon les risques dont il est à l'origine ou ceux qui peuvent avoir un impact sur ses activités.

La représentation hiérarchique des risques constitue un support utile pour les échanges entre les différents acteurs. Les outils d'analyse dépendant grandement des risques et du contexte considérés ; il convient de choisir le type d'outils adapté aux spécificités du projet.

2.2.2.3 Evaluation du risque

L'évaluation du risque consiste, à comparer le niveau de risque déterminé au cours du processus d'analyse, aux critères de risque établis lors de l'établissement du contexte. C'est-à-dire que le niveau évalué du risque sera donc comparé aux critères d'acceptation du risque définis lors de l'analyse du contexte. Cette comparaison permettra la prise de décision.

La valeur d'un risque s'exprime très simplement en multipliant deux facteurs, à savoir sa vraisemblance et sa gravité.

- La vraisemblance exprime la probabilité de survenance du risque, autrement dit la probabilité que l'accident se produise.
- La gravité mesure l'importance des impacts envisagés en cas de survenance du risque, c'est-à-dire en cas d'accident.

Le résultat de cette multiplication est la criticité du risque qu'on assimile souvent au risque lui-même :

$$\text{Risque} = \text{Criticité} = \text{Vraisemblance} \times \text{Gravité} \quad (1.1)$$

La représentation graphique de cette mesure est donc une matrice. A l'issue de son observation, l'évaluateur viendra indiquer sur cette matrice le niveau de risque constaté.

Remarque

Le mot « vraisemblance » a été instauré par la norme ISO 31000 : 2009. Il a été préféré au mot « probabilité » au motif de la connotation trop mathématique de ce dernier. Il a aussi été préféré au mot « fréquence » pour éviter toute confusion entre fréquence d'exposition et fréquence de l'accident.

2.2.3 Stratégie de réponse au risque (traitement des risques)

Les risques ayant été identifiés, analysés et évalués, on peut envisager différentes solutions pour procéder à leur traitement. Pour cela plusieurs possibilités sont envisageables, plus ou moins radicales, et classifiables comme suit : accepter le risque, réduire le risque, partage du risque, transfert du risque et moyen permettant d'éviter le risque.

Les solutions de réduction du risque sont :

- Abandonner l'activité c'est-à-dire refuser le risque et donc abandonner le projet ou l'activité qui génère le risque ;
- Supprimer la source de risque, le danger, ou la cible ;
- Mettre le risque sous surveillance ;
- Réduire la vraisemblance par la prévention ou la gravité par la protection.

Les solutions de financement du risque sont :

- Partager le risque avec une autre partie (exemple : partage contractuel) ;
- Transférer la gestion du risque à une partie (exemple : assurance).

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 (par exemple instrumentation, veille, gardiennage, etc.) ;
- Des plans de réponse à certains risques acceptés peuvent être établis et valorisés.

2.2.3.1 Notion de prévention et de protection

Pour lutter contre les risques, l'organisme met en œuvre des dispositifs de protection et/ou de prévention qui constituent au final les éléments de maîtrise des risques (voir figure 1.4).

La protection diminue la gravité, en limitant ce que pourrait être l'impact du risque en cas d'accident, alors que la prévention diminue la vraisemblance de l'accident, en cherchant à éviter que le risque ne se concrétise.

Deux nouvelles notions apparaissent alors : le risque inhérent (ou risque brut) et le risque résiduel (ou risque net).

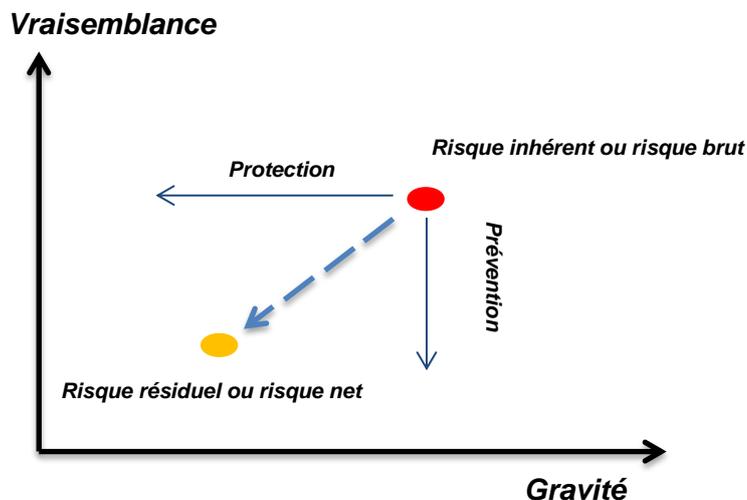


Figure 1.4 Effets de la prévention et de la protection

Le risque brut est le risque existant en l'absence de toute maîtrise, de toutes dispositions de prévention ou de protection, il n'évolue jamais, sauf à traiter l'origine même du danger. Tandis que le risque net est le risque qui subsiste après la mise en œuvre des dispositions de prévention ou de protection il évolue après toute action de réduction du risque. L'évaluation réelle d'une situation à risque est toujours traduite par le risque net, le risque brut ne représentant qu'une vision du pire.

De plus, il est nécessaire d'analyser et d'évaluer le risque résiduel qui subsiste après traitement. Ce processus est itératif tant que le risque résiduel n'est pas considéré comme acceptable ; il convient aussi de garder à l'esprit que le traitement d'un risque peut générer un nouveau risque. Les options de traitement retenues précédemment doivent faire consensus.

Dans tous les cas, il faudra définir un objectif, c'est-à-dire un niveau de risque résiduel à atteindre, planifier les actions à entreprendre pour atteindre cet objectif puis évaluer le résultat obtenu.

Pour finir, nous pouvons désormais intégrer prévention et protection à notre formule de calcul du risque :

$$\text{Risque net} = \text{Risque brut} / \text{Maîtrise} \quad (1.2)$$

$$\text{Risque net} = \text{Risque brut} / (\text{Prévention} \times \text{Protection}) \quad (1.3)$$

$$\text{Risque net} = (\text{Vraisemblance brut}/\text{Prévention}) \times (\text{Gravité brute}/\text{Protection}) \quad (1.4)$$

Ces formules de calcul nous confirment qu'il n'existe que deux solutions si l'on veut aboutir au risque zéro : il faut supprimer le danger ou supprimer la cible (faire en sorte que la cible ne soit plus au contact du danger). Faute de quoi, nous devons nous

contenter de nous approcher du zéro tant que faire se peut ; quelle que soit la maîtrise mise en œuvre, elle ne peut mathématiquement jamais amener le risque à zéro. Or, supprimer est rarement possible, cependant substituer un danger par un danger moindre, une cible par une autre est en revanche faisable. Pour travailler sur le danger, il faut faire autrement, penser autrement, utiliser d'autres méthodes, d'autres produits.

Ainsi, la criticité du risque est le résultat du produit (vraisemblance x gravité). Cette criticité doit tenir compte des dispositions de prévention, qui réduisent la vraisemblance et des dispositions de protection, qui réduisent la gravité.

2.2.3.2 Limite d'acceptabilité

Autre notion clé du concept de risque : la limite d'acceptabilité. Il s'agit de la frontière, dessinée par la direction de l'organisme et parfaitement formalisable (figure 1.5), entre une zone dite « de risques inacceptables » et une zone dite « de risques acceptables ».

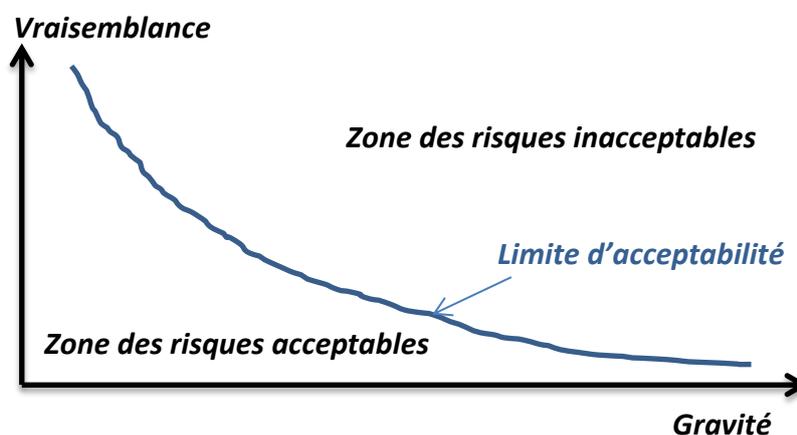


Figure 1.5 Limite d'acceptabilité du risque

Ceci sous-entend que, suite à leur évaluation, les risques positionnés dans la zone de l'inacceptable devront être traités pour être ramenés en deçà de la limite posée. Ceci ne signifie en revanche pas que l'organisme ne cherchera pas à réduire encore les risques jugés acceptables. Mais la limite d'acceptabilité permet de mieux hiérarchiser les priorités d'actions et surtout fournit un objectif tangible à la gestion des risques.

En conclusion, l'acceptabilité du risque formalise la frontière entre les risques que l'on s'impose de traiter et les risques que l'on accepte de prendre.

2.2.4 Communication et concertation

La norme ISO 31000 : 2009 insiste beaucoup sur la nécessité de concertation avec les parties prenantes, internes à l'organisme ou externes à l'organisme. Dès la description du cadre organisationnel, elle préconise que l'engagement de la direction s'accompagne d'un plan de communication approprié pour favoriser une perception commune du

risque puis prône la pluridisciplinarité comme méthode de travail pour l'évaluation des risques et leur traitement. Ceci se concrétise dans la formalisation d'une activité à part entière, hors boucle de progrès, mais connectée à chacune des autres activités du processus.

2.2.5 Surveillance et revue des risques

Le contexte du projet peut évoluer et de nouvelles sources de risques peuvent apparaître. Des modifications peuvent intervenir dans le contenu du projet. Certains risques vont se concrétiser, des risques potentiels vont disparaître, d'autres peuvent se faire jour à la lumière de nouveaux éléments.

Il est donc nécessaire de mettre en place une surveillance et d'effectuer de manière régulière des revues de risques pour s'assurer de l'efficacité des traitements mis en œuvre, de l'évolution du contexte et pour analyser l'expérience des événements, des succès ou des échecs, y compris dans l'application du processus. Cette surveillance permet aussi d'identifier les nouveaux risques et d'affiner l'appréciation des risques, de modifier leur vraisemblance ou de réévaluer leurs impacts. Les revues des risques sont planifiées régulièrement. Elles sont en particulier associées aux grandes étapes de la vie du projet. En outre, pendant toute la durée du projet les parties prenantes devront se concerter et communiquer selon les principes définis lors de la mise en place du cadre organisationnel. Enfin, la capitalisation des connaissances acquises devra être mise en pratique, soit au sein de chaque partie prenante soit de manière mutualisée.

3. NORMES ISO 31010 : 2009 ET OUTILS ET METHODES DE MANAGEMENT DES RISQUES

La norme internationale ISO 31010 : 2009 est une norme d'accompagnement de l'ISO 31000 : 2009. Elle fournit des lignes directrices permettant de choisir et d'appliquer des techniques systématiques d'évaluation des risques et contribue ainsi au management des risques.

Tout comme la norme ISO 31000 : 2009 elle s'applique à pratiquement tous les domaines toutefois, il faut noter quelques remarques importantes concernant cette norme :

- Elle n'est pas destinée à être utilisée à des fins de certification ;
- Elle ne fournit pas de critères particuliers permettant d'identifier s'il est nécessaire de procéder à une évaluation des risques ;
- Elle ne privilégie aucune méthode ;
- Elle ne traite pas spécifiquement de la sécurité.

On retrouve des notions fondamentales dans la gestion de risques, qui constituent une base très exhaustive :

- Évaluer la fiabilité humaine ;
- Définir un arbre d'évènements ;
- Analyser un arbre de pannes ;
- Analyser des défaillances ;
- Analyser des impacts sur l'activité ;
- Faire de la maintenance basée sur la fiabilité ;
- Faire une analyse coût/bénéfice.

La norme ISO 31010 : 2009 présente 31 techniques ou outils de management des risques. Ces outils n'ont pas tous comme finalité l'évaluation des risques, d'une part ; et la question se pose, d'autre part, de savoir si tous ces outils sont compatibles avec les 10 règles applicatives de la norme ISO 31000 : 2009 (figure 2.6) (Guide Germa, 2012).

Dans un premier temps, on met en correspondance outils ou groupes d'outils homogènes du point de vue de leur finalité dans le management des risques (tableau 1.1 ci-dessous) et le tableau 1.2 énumère les outils cités sur le premier tableau.

Tableau 1.1 : 7 groupes d'outils listés dans ISO 31010 (Guide Germa, 2012)

n° du groupe d'outils	Finalité du groupe d'outils	n° des outils dans ISO 31010
I	Identification concourante	1 à 5
II	Impact des écarts possibles par rapport aux objectifs attendus	6, 7, 9
III	Impact sur les objectifs de divers types d'écarts de fonctionnement	10, 11
IV	Modes de défaillances et leurs vraisemblances	12 à 24
V	Dynamique des séquences d'accident ou dysfonctionnement	24 à 26
VI	Choix qualitatifs d'actions préventives/ /mitigation des risques	15 à 18, 21, 23, 29
VII	Optimisation de l'allocation des ressources, efficience	19, 30, 31

Sur les 31 outils d'analyse de risque, 3 sont dédiés à des domaines particuliers (les numéros 8, 20, 22 dans la norme) et sont donc omis dans le tableau. Deux autres (27 et 28) sont trop spécifiques, délicats à manier, et ont été écartés du tableau 1.1. Il a été dégagé ainsi 7 groupes d'outils relativement homogènes (Guide Germa, 2012).

Tableau 1.2 Liste des outils étudiés (Guide Germa, 2012)

Numéro de l'outil	Nom de l'outil
1	Brainstorming
2	Entretiens structurés ou semi structurés
3	Techniques Delphi
4	Listes de contrôle
5	Analyse préliminaire du danger
6	Etudes de danger et d'exploitabilité (HAZOP)
7	HACCP (Hazard Anal and Critical Control Points)
9	SWIFT
10	Analyse de scénario
11	Analyse d'impact sur l'activité
12	Analyse de causes profondes
13	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets
14	Analyse par arbre de panne
15	Analyse par arbre d'évènements
16	Analyse causes-conséquences
17	Analyse des causes et de leurs effets
18	Analyse des niveaux de protection (LOPA)
19	Arbre de décision (à critère unique)
21	Analyse « nœud de papillon »
23	Analyse des conditions insidieuses (analyse transitoire)
24	Analyse de Markov
25	Simulation de Monte-Carlo
26	Analyse bayésienne/réseaux de Bayes
29	Matrice conséquence/probabilité
30	Analyse coût/bénéfice
31	Analyse de décisions à critères multiples

3.1 Les règles applicatives émergentes de la norme ISO 31000 : 2009

La figure ci-dessous (figure1.6) résume les 10 règles applicatives ressorties de la norme ISO31000 : 2009, ces dix règles illustrent le progrès substantiel dans la réflexion que représente la norme ISO 31000 : 2009 par rapport aux pratiques traditionnellement acceptées en matière de « maîtrise des risques ».

<i>Règle applicative 1</i>	•Etre proactif
<i>Règle applicative 2</i>	•Traiter le risque à travers tout le projet
<i>Règle applicative 3</i>	•Penser les opportunités autant que les menaces
<i>Règle applicative 4</i>	•Optimiser la prise de risque
<i>Règle applicative 5</i>	•Distinguer politique de management des risques et attitude face au risque
<i>Règle applicative 6</i>	•Tenir compte des parties prenantes dans la gouvernance du projet
<i>Règle applicative 7</i>	•Atteindre l'efficience opérationnelle
<i>Règle applicative 8</i>	•Intégrer les facteurs humains et culturels dans le management des risques
<i>Règle applicative 9</i>	•Assurer une communication efficace
<i>Règle applicative 10</i>	•Le management du risque se fait dans le contexte des objectifs du projet.

Figure 1.6 Règles applicatifs de la norme ISO 31000 : 2009

a) Règle applicative 1 Etre proactif. Le management des risques doit anticiper et les conséquences de risques possibles et leurs chances de survenir. On ne peut donc pas s'appuyer sur la seule analyse du passé.

b) Règle applicative 2 Traiter le risque à travers tout le projet. On ne doit donc pas chercher à traiter chaque risque indépendamment des autres. Cette conception systémique est encore très largement ignorée des pratiques actuelles (Guide Germa, 2012).

c) Règle applicative 3 Penser les opportunités autant que les menaces. On ne peut pas se satisfaire de la notion d'évènement redouté, insuffisante. Tout risque est, en ce

sens, un écart, positif ou négatif, par rapport à une attente concernant l'un ou l'autre des objectifs retenus pour le projet (ISO 31000 : 2009).

d) Règle applicative 4 Optimiser la prise de risque. On doit rechercher un compromis pesant les objectifs visés en regard des risques pris. Le problème de base du traitement des risques résidera dans la façon de peser risques et objectifs.

e) Règle applicative 5 Evaluer les risques. Cela ne donne pas le même résultat pour chacun des acteurs. Il faut distinguer politique de management des risques et attitude face au risque. La norme distingue à cet égard niveau d'un risque et évaluation de ce risque.

Le premier résulte d'une combinaison (en général multiplicative) des conséquences et de leurs vraisemblances pour un risque donné. La seconde consiste à rapprocher le niveau de risque des critères de risque, fondés sur les objectifs du projet, afin de déterminer si ce niveau est acceptable ou tolérable.

f) Règle applicative 6 Tenir compte des parties prenantes Dans la gouvernance du projet, notamment du point de vue des risques. La norme insiste sur la détermination claire de responsabilités. Les parties prenantes peuvent être aussi bien internes qu'externes.

g) Règle applicative 7 Atteindre l'efficacité opérationnelle. Le management des risques doit à cet égard être intégré au processus de prise de décision. Il vise à proposer des choix argumentés, à définir des priorités d'actions et à choisir entre différents plans d'action.

h) Règle applicative 8 Intégrer les facteurs humains et culturels dans le management des risques. Ceci repose sur l'identification des perceptions et des intentions des personnes externes ou internes susceptibles de faciliter ou de gêner l'atteinte des objectifs de l'organisme. Par conséquent, l'analyse des risques ne saurait être indépendante des acteurs concernés.

i) Règle applicative 9 Assurer une communication efficace. Celle-ci doit intervenir entre parties prenantes et personnes responsables de la mise en œuvre du processus de management du risque, de sorte qu'elles se comprennent bien, sans ambiguïté, et que les raisons pour lesquelles certaines actions sont nécessaires soient comprises.

j) Règle applicative 10 Communiquer sur objectifs et méthodes d'appréciation en interne. Il faut que le management du risque se fasse dans le contexte des objectifs du projet et que soient bien définies les méthodes d'appréciation du risque, notamment la méthode selon laquelle les performances et l'efficacité du management du risque sont évaluées, ainsi que la méthode de définition de la vraisemblance, la méthode de la détermination du niveau de risque.

3.2 Adéquation des règles de l'ISO 31000 : 2009 avec les outils proposés par l'ISO 31010 : 2009

Sur le tableau 1.3 ci-dessous, il est facile de juger d'un seul coup d'œil de la relative conformité des différents outils énumérés à la norme ISO 31000 : 2009. Il ne faut pas nécessairement voir dans ces degrés de conformité variables un degré de valeur une sorte de hiérarchisation des diverses techniques, mais un simple degré de généralité d'application conforme.

Sur ce même tableau 1.3, on peut voir qu'aucune technique, qu'aucun outil, ne permet à lui seul de traiter d'un problème de management de risques projet. Il sera toujours nécessaire d'identifier les risques, d'estimer une mesure d'occurrence pour chacun d'eux (voire une distribution de probabilité le cas échéant) un degré de gravité des conséquences possibles si le sinistre ou l'accident se produit, puis, selon leur modélisation éventuelle la conception qu'on en a d'évaluer ces risques relativement l'un à l'autre pour pouvoir les hiérarchiser de façon significative et gérer au mieux la situation. Toute démarche de management de risque projet comporte donc plusieurs outils ou techniques.

Tableau 1.3 Conformité des outils précités avec les règles applicatives

Règles	Outils conforme avec les règles
1. Proactif	1, 2, 3, 9, 10, 11, 14, 19, 23, 24, 25, 26, 30, 31
2. Systémique projet et organisation	10, 11, 23, 24, 25, 26, 31
3. Identification Menaces/Opportunités	9, 10, 11, 19, 24, 25, 26, 30, 31
4. Optimisation de la prise de risque	19, 24, 25, 26, 30, 31
5. Evaluation des risques personnalisée	26, 30, 31
6. Parties prenantes	30, 31
7. Efficience	19, 24, 25, 26, 30, 31
8. Intégration Homme culture	1, 2, 3, 10
9. Communication efficace	10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 30, 31
10. Fondé sur les objectifs du projet	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31

4. CONCLUSION

Tout risque est, en ce sens, un écart, positif ou négatif, par rapport à une attente concernant l'un ou l'autre des objectifs retenus pour le projet, l'identification des risques doit aboutir autant que possible à une liste exhaustive des risques fondée sur les événements susceptibles de provoquer, de stimuler, d'empêcher, de gêner, d'accélérer ou de retarder l'atteinte des objectifs du projet (ISO 31000 : 2009).

La définition vue sur ce chapitre rend le concept du risque facilement appréhendable, mais il est tout de même quelque peu réducteur. En effet, mesurer avec fiabilité la vraisemblance et la gravité d'un risque suppose qu'il est possible d'identifier exhaustivement tous les dangers afférents à une situation et toutes les conséquences que l'événement redouté pourrait induire. Pire encore, il nous faudrait imaginer exhaustivement comment ces dangers peuvent se combiner, comment les impacts pourront s'additionner, sachant que les cibles présentes au moment de l'accident ne seront pas forcément celles observées durant l'évaluation. Résultat, même lorsque dangers et cibles ont été correctement identifiés, c'est l'accident lui-même qui ne se déroule pas comme prévu. Sans outils adaptés la tâche est rude, voire impossible, et c'est pour cela qu'une bonne gestion des risques dans un projet nécessite une équipe pluridisciplinaire qui puisse hiérarchiser les risques pour savoir quoi traiter en priorité ainsi, une disponibilité et une maîtrise d'outils et techniques d'aide à la maîtrise des risques sont de ce fait indispensables.

CHAPITRE 02

« OUI, DANS L'ANCIEN TEMPS
CELA SE FAISAIT AINSI, MAIS
NOUS AVONS CHANGE TOUT
CELA. »

MOLIERE

Chapitre 2

OUTILS ET METHODES DE MAITRISE DES RISQUES

1. INTRODUCTION

Gérer un risque est un processus itératif fondé sur l'analyse des risques, étape qui permet d'identifier et de réaliser une première évaluation des risques. Pour cela, une quantité d'outils et de méthodes d'analyse des risques ont été mis en place afin de permettre, à travers l'étude des systèmes, d'identifier les principaux scénarios d'accident probables. Les résultats de ces études permettent de hiérarchiser les risques et facilitent la mise en place des moyens de protection et/ou de prévention nécessaires à la maîtrise des risques.

L'utilisation de ces méthodes est particulièrement recommandée dans le cadre de l'analyse des risques d'une étude des dangers, puisqu'elles permettent de viser à plus d'exhaustivité pour l'identification des risques et tendre ainsi vers la maîtrise des risques majeurs.

Dans ce chapitre, nous présentons les méthodes et les outils qui seront utilisés par la suite, leurs avantages, leurs limites d'utilisations ainsi que la raison pour laquelle nous avons choisis de les utiliser.

2. A.M.D.E.(C)

L'A.M.D.E.(C) est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global. Cette méthode a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire. Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil ; domaine aéronautique, spatial, grands travaux), puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non-performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

L'AMDE et L'AMDE(C) sont si connues et utilisées qu'elles sont pratiquement devenues le symbole de la sûreté de fonctionnement. L'AMDE (*analyse des modes de défaillance et de leurs effets*) est incluse dans L'AMDE(C) (*analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité*). Cette démarche est effectivement très utilisée et très utile dans toute approche des risques. Pourtant, il ne faudrait pas confondre « analyse des risques » et AMDE(C) ou croire que toute analyse de risque passe par une AMDE(C).

2.1 Principe de L'A.M.D.E.

La figure 2.1 nous donne le principe général de l'A.M.D.E. On schématise l'A.M.D.E en processus pour avoir vision simplifiée de son principe, mais il faut quand même mentionner quelques remarques entre les différents tableaux AMDEC :

- L'A.M.D.E est une méthode inductive qui part des défaillances élémentaires des composants pour en déduire ce qui en résulte et donc à quelles situations, dues à ces défaillances, il faut s'attendre.
- L'A.M.D.E.C ajoute une dimension d'évaluation de la gravité de ces situations.
- L'A.M.D.E.(C) consiste à identifier et évaluer l'impact des défaillances des éléments du système sur celui-ci, ses fonctions, son environnement.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement les défaillances potentielles d'un dispositif puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives à apporter au dispositif.

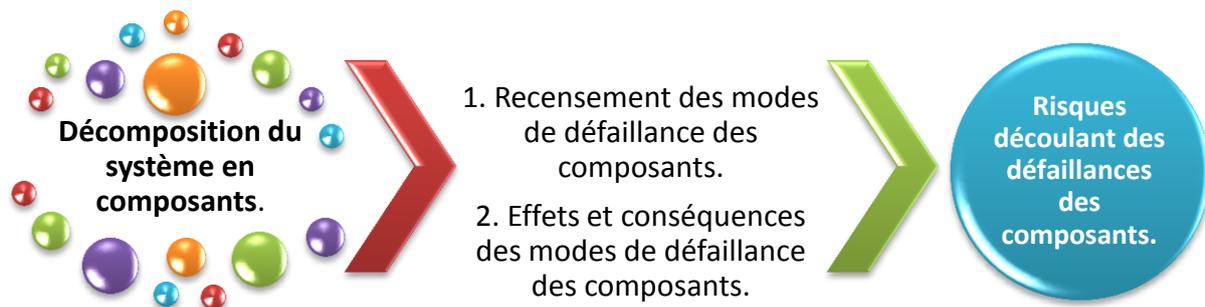


Figure 2.1 Principe de l'A.M.D.E.

2.2 Domaines d’application de L’AMDE(C)

L’AMDE(C), par l’évaluation de la criticité des conséquences des défaillances, permet de les classer par importance et de préparer un plan d’action visant à optimiser le moyen de production et, ainsi, à réduire la criticité (actions sur la probabilité d’apparition de la défaillance et/ou sur la gravité de la conséquence).

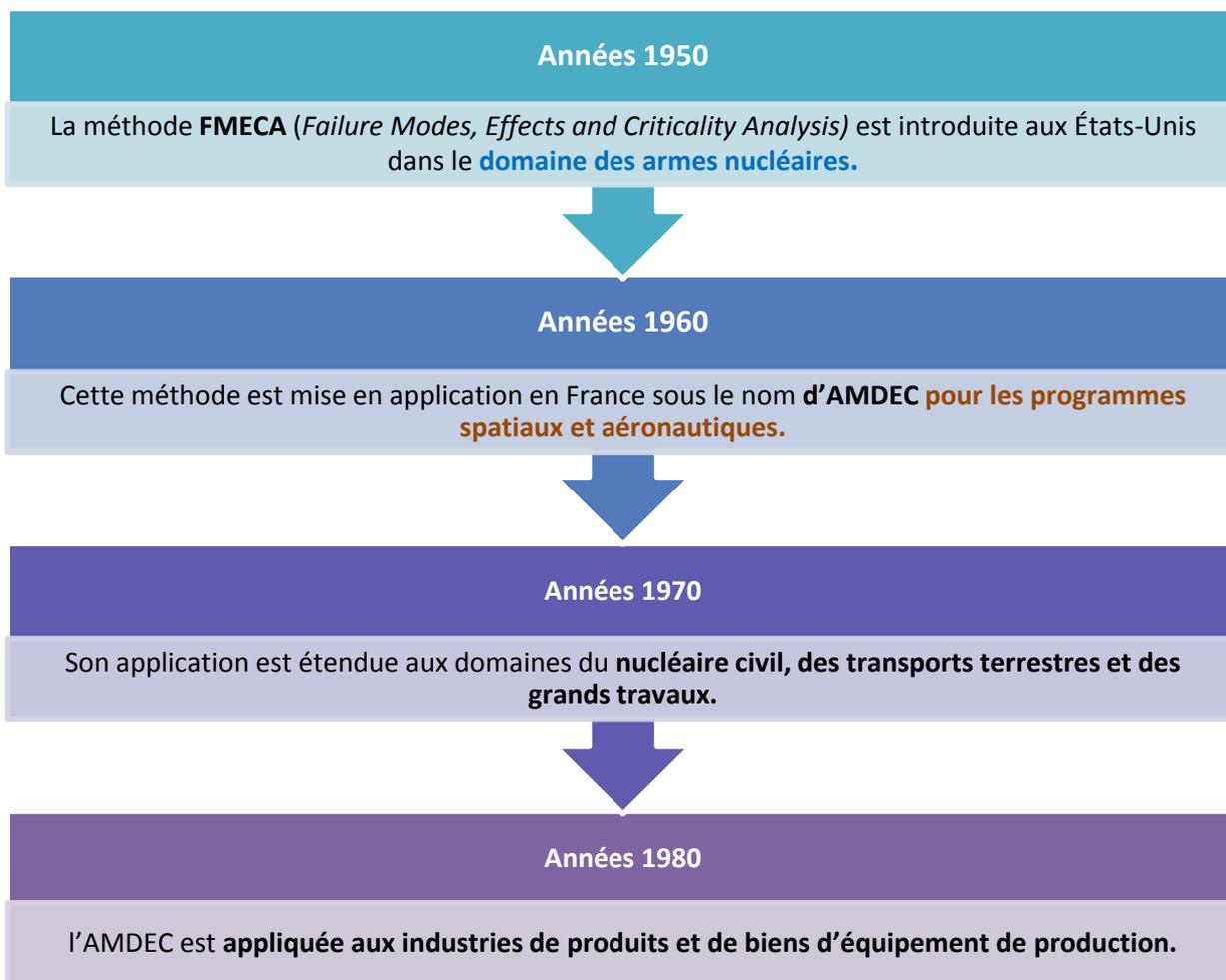


Figure 2.2 Domaine d’application de L’AMDE(C) au fil du temps

2.3 Types d'AMDEC

Il existe globalement trois types d'AMDEC (figure 2.3) suivant que le système analysé est :

- Le produit fabriqué ;
- Le processus de fabrication du produit ;
- Le moyen de production intervenant dans la production du produit.

2.3.1 AMDEC-Produit

L'AMDE(C)-Produit est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise. Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation.

2.3.2 AMDEC-Processus

L'AMDE(C)-Processus est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. Elle est mise en œuvre pour évaluer et hiérarchiser les défauts potentiels d'un produit dont les causes proviennent de son processus de fabrication.

S'il s'agit d'un nouveau procédé, L'AMDE(C)-Processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, l'AMDE(C)-Processus en permettra l'amélioration.

2.3.3 AMDEC- Moyen de production

L'AMDE(C) - Moyen de production, plus souvent appelée AMDEC-Moyen, permet de réaliser l'étude du moyen de production lors de sa conception ou pendant sa phase d'exploitation.

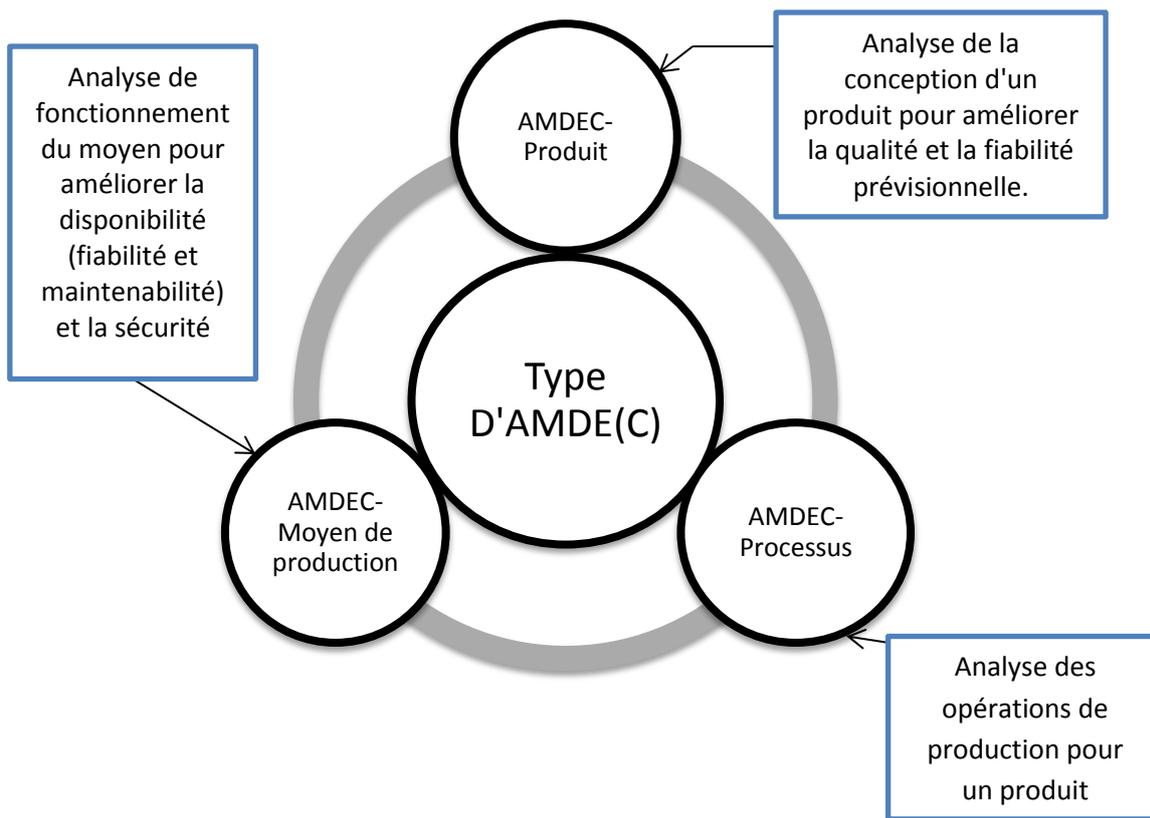


Figure 2.3 Récapitulatif des types d'AMDEC

2.4 Caractéristiques essentielles de L'AMDE(C)

L'AMDE(C) est une méthode inverse de celle mise en œuvre pour la conception, puisqu'elle est réalisée pour analyser comment un dispositif conçu peut être amené à ne pas fonctionner et quelles seront les conséquences de ses dysfonctionnements sur le dispositif de production, le produit fabriqué et la sécurité des personnes et des biens. L'AMDE(C) est une méthode d'analyse inductive rigoureuse qui permet une recherche systématique :

- Des modes de défaillance d'un moyen de production ;
- Des causes de défaillance générant les modes de défaillance.
- Des conséquences des défaillances sur le moyen de production, sur son environnement, sur le produit ou sur l'homme ;
- Des moyens de détection pour la prévention et/ou la correction des défaillances.

La méthode est qualifiée d'inductive car son point de départ est la recherche des événements élémentaires pour en déduire les conséquences finales. Par opposition, les méthodes déductives consistent à analyser la conséquence finale pour en rechercher les événements élémentaires.

L'AMDE(C) est une méthode de travail de groupe qui réunit :

- Des compétences dans le domaine des études et des méthodes;
- Des expériences dans le domaine de la maintenance, des méthodes, de la fabrication et de la qualité.

La création du groupe de travail permet l'apport « vivant » de la connaissance, de l'expérience et du bon sens. Elle permet également la réunion des personnes qui n'ont pas tendance à se rencontrer naturellement dans un esprit constructif. La constitution du groupe de travail facilite l'association des différents acteurs à l'œuvre commune qu'est la construction de la disponibilité.

2.5 Place de L'AMDE(C) dans une démarche de maîtrise des risques

Si on fait le bilan des expériences réussies ici et là, on trouvera L'AMDE(C) à pratiquement tous les stades du cycle de vie d'un système. Toutefois, on peut souligner le caractère à peu près incontournable de L'AMDE(C) à la fin de la conception, à la charnière avec la réalisation ou l'exploitation et la maintenance. En effet, quand le système est décrit de façon précise, les composants choisis, L'AMDE(C) s'applique à merveille pour compléter la connaissance des fonctionnements (fonctionnements souhaités décrits par la conception) avec les fonctionnements non souhaités, mais inévitables du fait qu'aucun composant n'est infallible. Il faut bien prendre en compte ce qui peut résulter des défaillances des composants choisis. (Y. Mortureux, 2012).

Enfin, on doit même souligner l'intérêt de démarrer une AMDEC très tôt dans le développement d'un nouveau produit ou service : avant même de savoir précisément comment une fonction sera réalisée, donc avant de connaître vraiment les composants et leurs modes de défaillance, on peut émettre des hypothèses et imaginer les conséquences des défaillances envisagées. Cette démarche a très souvent permis d'améliorer considérablement la complétude des spécifications. En effet, s'il est naturel d'exprimer ce qu'on attend d'un nouveau système, il n'est ni naturel ni facile d'exprimer ce qu'on ne veut pas qu'il fasse. Une AMDEC fondée sur des hypothèses de conception et de défaillances est très efficace pour tendre à la complétude des spécifications. (Y. Mortureux, 2012).

Ainsi, en présence d'un système complexe, L'AMDE(C) revient généralement plusieurs fois dans le cycle d'étude du système. Chaque projet doit déterminer les revues (articulations entre phases du projet) pour lesquelles une AMDEC sur telle ou telle partie du projet serait nécessaire. Les normes ayant essayé de donner des critères généraux identifient trois niveaux de décomposition pour un système important et trois sujets d'AMDEC :

- le niveau « système » (d'où l'intérêt de l'approche systémique qui se fera par la suite)
- le niveau « sous-système » ;
- le niveau « composants » ;

- l'AMDE(C) fonctionnelle (d'où l'intérêt de l'analyse fonctionnelle qui se fera par la suite)
- l'AMDE(C) produit ;
- l'AMDE(C) processus.

2.5.1 Pourquoi plusieurs niveaux ?

D'une part pour pouvoir découper en parties matériellement réalisables et lisibles L'AMDE(C) qui, réalisée d'un seul morceau pour un système aussi complexe qu'un avion moderne ou une centrale d'énergie, serait un monstre. Un monstre trop difficile à exploiter et un monstre inutile, car les conséquences mises en évidence par une analyse à la fois globale et exhaustive seront de niveau de criticité très différents. Il vaut bien mieux réserver la méthode à ce qui, à chaque étape, est de premier ordre, en vaut la peine (Y. Mortureux, 2012).

D'autre part, pour tirer des conclusions qui peuvent l'être à des stades intermédiaires. Imaginer des dysfonctionnements globaux de sous-systèmes (à un stade où on ne peut-être pas encore à quels composants on les devra et si on saura intervenir sur leur propagation) et réaliser l'importance de leurs conséquences permet d'améliorer l'architecture pour s'en protéger plutôt que se trouver plus tard confronté à l'alternative : soit remettre en cause l'architecture et revenir loin en arrière, soit être contraint d'éliminer les causes de ces dysfonctionnements ce qui peut se révéler impossible ou très coûteux.

2.5.2 Pourquoi plusieurs sujets ?

L'AMDE(C) s'applique aussi bien à une décomposition fonctionnelle qu'à une décomposition matérielle. Une bonne AMDE(C) fonctionnelle, quand elle est possible, prépare très utilement et permet de cibler la ou les AMDE(C) matérielles.

L'AMDE(C) s'applique aussi bien au produit ou service à produire qu'aux moyens de le produire. C'est pourquoi L'AMDE(C) est très utilisée avec grand bénéfice sur les moyens de production.

2.5.3 Pourquoi plusieurs AMDE(C) par phase ?

En présence d'un système complexe qui passe par diverses phases ou diverses configurations, etc. L'AMDE(C) unique qui couvre tous les cas devient pratiquement très difficile à réaliser, encore plus difficile à exploiter et le risque d'être gravement incomplète est très élevé : au moment de l'analyse, il est fort à craindre que les diverses configurations n'aient pas été réellement envisagées. Il est plus sage de réaliser plusieurs AMDEC par phase ou par configuration, quitte à s'interroger sur la nécessité de les étudier toutes par une AMDEC. Le critère de sagesse est d'éviter que, au moment de

répondre à la question « quels sont les effets de tel mode de défaillance ? », la réponse pertinente commence par « ça dépend de... ».

2.6 Réalisation d'une AMDEC

2.6.1 Préparation à L'AMDE(C)

La méthode s'inscrit dans un cycle d'activités. En amont de l'AMDE ou AMDEC proprement dite, une analyse fonctionnelle doit avoir été réalisée. L'analyse fonctionnelle externe du système décrit ce qu'on attend de lui. Ces analyses fonctionnelles sont explicites dans le cadre de grands projets menés selon les référentiels qui les exigent. Dans de nombreux cas, elles sont implicites ou incomplètes. Il importe pour mener une AMDEC pertinente de rendre explicite ces informations. L'absence d'explicitation des exigences fonctionnelles externes et internes rend l'exploitation de L'AMDE(C) très périlleuse et potentiellement trompeuse.

La validation des analyses fonctionnelles existantes ou la réalisation d'analyses fonctionnelles est une étape d'initialisation nécessaire pour aborder l'AMDE(C).

2.6.2 Conduite de la méthode

L'AMDE(C) exploite une connaissance complète et précise du système. La démarche va donc devoir réunir autant de personnes que nécessaire pour disposer de toute la connaissance du système. La base commune est constituée par l'image idéale du système atteignant ses objectifs que donnent les analyses fonctionnelles. Le groupe va l'enrichir de tous les fonctionnements induits par les défaillances. Il faut disposer de spécialistes capables de décrire les modes de défaillance susceptibles d'affecter chaque composant et il faut réunir ces spécialistes pour faire circuler l'information et que chacun puisse imaginer l'impact, sur la partie qu'il connaît bien, des modes de défaillance d'un composant décrits par un spécialiste de ce composant.

Ce groupe de spécialistes va être piloté par un animateur, maîtrisant bien la méthode, les conditions de succès, les risques d'échec.

Toute AMDE(C) va comprendre une décomposition du système avec recensement des modes de défaillance susceptibles d'affecter chaque composant, puis une description des effets qu'on peut attendre de ces modes de défaillance et, si on va jusqu'à L'AMDEC, une valorisation de ces conséquences.

En fonction de l'exploitation prévue de l'AMDE(C) et de la norme utilisée, on y ajoutera :

- Les causes de défaillance ;
- La détection ou non de la défaillance ;
- Une évaluation de la probabilité de la défaillance ;
- Le ou les dispositifs susceptibles de pallier la défaillance.

On détaillera les effets en plusieurs stades (effets, immédiats, secondaires, lointains, etc.) ; on décomposera la criticité en plusieurs paramètres (gravité des conséquences potentielles, détectabilité de l'incident, fréquence de la défaillance, fiabilité des dispositifs susceptibles de la pallier, etc.).

On ajoutera les suites données à l'analyse proprement dite :

- Acceptation ou décision de la diminution du niveau de risque ;
- Actions correctives décidées ;
- Responsable de l'action corrective ;
- Délai de mise en œuvre de l'action corrective ;
- Suivi de l'action corrective.

2.6.3 Première étape : décomposition et modes de défaillances

La première étape va donc consister à décomposer le système en éléments plus petits. Que doit-on obtenir à ce stade :

- Les éléments de la décomposition doivent être assez élémentaires pour qu'on puisse être sûrs de savoir leur attribuer tous leurs modes de défaillance ;
- Le groupe doit comprendre, pour chaque élément, au moins un spécialiste capable de décrire son fonctionnement nominal, ses modes de défaillance en détail ;
- Tout le système doit être couvert par la décomposition.

Il n'est pas important que la décomposition ait exactement la même finesse partout, mais il est très préférable que ces niveaux soient assez proches pour assurer que chaque composant du système est présent dans la décomposition.

La décomposition doit être assez fine pour savoir identifier tous les modes de défaillance attachés à chaque élément ; une décomposition trop fine augmente inutilement la charge de travail et peut rendre plus difficile, sinon l'identification des modes de défaillance, du moins la prévision de leurs effets ; une décomposition trop grossière peut laisser les spécialistes en face d'éléments trop complexes pour décrire leurs modes de défaillance de façon assez simple et précise (cause, fréquence, mode de détection, possibilité de palliatif, etc.).

La première étape aboutit donc à une liste de fonctions « élémentaires » ou une liste de composants ou de sous-systèmes « élémentaires », chaque fonction, sous-système ou composant est affecté des différents modes de défaillance qu'il peut connaître.

La connaissance des modes de défaillance susceptibles d'affecter un « composant » est déterminante pour la qualité du résultat de l'analyse. On peut s'appuyer sur plusieurs types de sources :

- Considérer a priori tous les écarts aux fonctionnements attendus ;

- Utiliser le retour d'expérience ;
- Utiliser la documentation disponible ;
- Ecouter les experts.

Remarque

Le mode de défaillance est une manifestation extérieure, c'est la façon dont la défaillance se manifeste. Une défaillance désigne tout ce qui paraît anormal, tout ce qui s'écarte de la norme de bon fonctionnement.

Il ne faut pas perdre de vue que les modes de défaillance des composants ne dépendent pas seulement du composant lui-même, mais aussi des conditions dans lesquels il est mis en œuvre. À ce titre, l'expérience propre de l'entreprise ou de la profession est toujours plus précieuse que les données disponibles ailleurs dans le monde.

Il faut aussi veiller à ne pas oublier, négliger ou écarter certains modes de défaillance parce que leur fréquence ou probabilité supposée serait très faible.

2.6.4 Deuxième étape : effets et criticités

La deuxième étape va consister à imaginer et décrire ce qui va se passer dans le système quand le mode de défaillance étudié est apparu. C'est à ce stade qu'on peut regretter de ne pas avoir décomposé le système. Si chaque mode de défaillance donne lieu à une cascade d'effets qui dépendent de divers paramètres, la démarche va être difficile à conduire à terme et il vaut mieux revenir en arrière.

On doit décrire les effets vus de l'extérieur du système, les effets sur l'accomplissement des fonctions du cahier des charges, décrites par l'analyse fonctionnelle externe ; il s'agit aussi d'effets sur la sécurité du système ou de son environnement qui ne sont recensés nulle part.

Pour imaginer précisément ces effets, il peut être utile de passer par des étapes intermédiaires : effets sur l'environnement immédiat du composant, effets sur les fonctions (analyse fonctionnelle interne) dans lesquelles le composant est impliqué, puis effets au niveau du sous-système et des fonctions de plus haut niveau, enfin effets finaux.

Si plus de trois niveaux sont nécessaires, pour se représenter la propagation de l'événement initial jusqu'aux conséquences finales, il est recommandable de décomposer la démarche AMDE(C) en niveau système, sous-système, etc.

La criticité est donc une synthèse de plusieurs paramètres significatifs de l'importance des effets du mode de défaillance. Le choix des paramètres dépendra du sujet d'analyse et des résultats recherchés. Ce qui sera important sera d'expliquer de quoi cette criticité est faite.

Le tableau AMDE(C)

Le travail d'analyse est généralement présenté dans des tableaux de colonnes. Nombre de documents pédagogiques et de normes présentent leur tableau AMDE ou AMDEC. Il importe d'utiliser un tableau adapté à la démarche qu'on conduit et non d'emprunter un tableau tout fait. Le remplissage du tableau va guider la démarche ; il est donc essentiel qu'il reflète bien la démarche et les objectifs poursuivis.

En pratique, si ce noyau dur est toujours au centre sous une forme ou une autre, les divers tableaux AMDE/AMDEC utilisés sont plus riches. (Y. Mortureux 2012)

Le tableau va comprendre au minimum les éléments présentés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Exemple de Tableau AMDE(C)

Date :		Version :		Analyste :	
Système étudié :					
Composant	Mode de défaillance	Effets	Criticité		

2.6.5 Troisième étape : synthèse

La conduite d'une analyse des modes de défaillance et de leurs effets sur un système réel conduit normalement à un volume très important de documentation. Ceci peut être une des explications du fait que tant d'AMDE(C) encombrant des locaux d'archives sans avoir été lue et réellement utilisées. Aussi est-ce une étape essentielle que celle de la synthèse. C'est une étape qui sollicite fortement l'expérience et l'expertise du responsable de l'analyse.

La synthèse doit à la fois :

- Refléter le contenu des analyses réalisées ;
- Répondre aux questions initialement posées.

Il est impossible de préconiser un type de synthèse ; en effet, il est très important que la synthèse soit structurée selon les besoins auxquels l'AMDE(C) doit répondre et on a vu qu'ils peuvent être de nature très diverses. En même temps, la synthèse ne doit rien perdre de ce que l'analyse a mis en valeur. C'est un travail qui ne peut être fait que par celui qui a bien intégré la demande et qui maîtrise la pertinence et les limites de l'analyse réalisée.

On trouvera couramment dans une synthèse des listes et des tableaux comme par exemple, la liste des pannes possibles regroupées par conséquences.

Chaque item de la liste est l'ensemble des pannes ayant une conséquence donnée. On appelle cela la liste des pannes résumées.

Si la fréquence présumée des défaillances a été évaluée, cette liste peut être ordonnée des plus fréquentes aux moins fréquentes. Ou bien si l'importance des conséquences a été évaluée, elle peut être ordonnée des plus graves aux moins graves ;

- Des classements des pannes en fonction de la gravité de leurs conséquences ;
- La liste des défaillances non détectables ;
- La liste des défaillances détectables et de leurs symptômes ;
- La liste des symptômes de défaillances, avec, pour chacun, les pannes qu'il peut révéler ;
- La liste des symptômes observables avec les mesures à rendre quand ils apparaissent ;
- La liste des actions de réductions de risque ;
- Une évaluation globale (fréquence-gravité) des risques dus aux défaillances des composants du système ;
- La liste des hypothèses (relatives à l'environnement ou à l'utilisation ou aux systèmes lui-même) qui ont dû être faites ou précisées pour mener l'analyse à terme (et qui sont donc des conditions de validité des conclusions).

2.7 Exploitations de l'AMDE(C)

2.7.1 Évaluation des défaillances

Ayant passé en revue à un niveau de détail poussé tout ce qui peut se produire quand une défaillance affecte un composant du système, il est souvent utile de prendre du recul et de donner une évaluation globale des risques dus à ces défaillances.

Pour cela, on reprend la liste des conséquences possibles au niveau du système et on regroupe les conséquences équivalentes en nature et en gravité. Vouloir tout additionner peut donner une image trop réductrice et inexploitable. Il paraît plus efficace de garder séparées des conséquences sur la vie et la santé des personnes, des conséquences financières, des conséquences sur l'image ou des conséquences commerciales.

Pour chaque type de conséquences, il peut être significatif de retenir un, deux, trois ou quatre niveaux de gravité, par exemple :

- Catastrophe : plusieurs personnes tuées ou gravement blessées dans un gros accident ;
- Accident grave : une personne gravement blessée ou tuée ;
- Accident important : au moins une personne blessée, frappée d'une incapacité de travail ou d'une hospitalisation d'au moins 24 h ;

- Accident bénin : pas plus de quelques contusions, égratignures, etc., n'empêchant pas de reprendre le travail après soins et remises en ordre sur place.

Dans un espace « fréquence-gravité », chaque type de conséquences retenu va être représenté par un point dont une coordonnée représente le niveau de gravité et l'autre la fréquence estimée. Cette fréquence estimée résulte de l'addition des fréquences des défaillances qui peuvent en être la cause.

Cette représentation, très synthétique, permet bien d'évaluer globalement le système, mais n'indique pas dans quelles directions les améliorations les plus prometteuses seraient à rechercher. Elle permet d'asseoir une décision d'acceptation des risques ou le constat que certains risques doivent impérativement être réduits.

Remarque

L'addition (des fréquences) est représentative si les défaillances sont indépendantes et que les conséquences ne dépendent des défaillances initiales que par une relation logique « ou ». Ces conditions ne sont pas automatiquement réunies. Mais il arrive assez couramment que ce soit non l'exacte représentation du système, mais une approximation tout à fait satisfaisante. Il importe de bien se poser la question avant d'additionner ces fréquences et d'en tirer des conclusions. Pour mieux comprendre ces questions, on se référera utilement à la méthode de l'arbre de défaillances.

2.7.2 Actions correctives

Le tableau qui présente les modes de défaillance des composants, leurs effets et leurs criticités peut très naturellement être complété par les actions susceptibles de réduire cette dernière, soit en réduisant la fréquence estimée des défaillances initiales, soit en réduisant les conséquences de ces modes de défaillance. Il importe d'être clair dans la présentation des actions correctives. Selon la demande et l'état d'avancement de l'analyse, on peut indiquer :

- Pour chaque mode de défaillance, toutes les actions correctives imaginables susceptibles de réduire sa criticité ;
- Uniquement pour les modes de défaillance dont la criticité dépasse un certain seuil, toutes les actions correctives susceptibles de la réduire en dessous de ce seuil ;
- Pour chaque mode de défaillance, les actions correctives susceptibles de réduire la criticité et pour lesquelles on sait donner une évaluation de la réduction de la criticité ;
- Uniquement les actions correctives soutenues et recommandées par le groupe ayant mené l'analyse ;
- Uniquement les actions correctives décidées et engagées ;
- La liste des actions correctives à potentiel d'amélioration intéressant.

Chaque action corrective est décrite avec la liste de toutes les défaillances sur lesquelles elle a un impact (en réduction de la fréquence de défaillance ou en réduction des conséquences, y compris, éventuellement les impacts négatifs). Ainsi, à chaque action corrective envisageable est associé un tableau complet de son action sur les risques dus aux défaillances des composants du système.

Il est souhaitable de conserver la trace de toutes les actions correctives qui ont pu être suggérées et étudiées à un moment ou un autre de l'analyse, même si elles ont été rapidement écartées. Mais il est aussi intéressant de produire un document synthétique permettant de préparer les décisions de choix des actions correctives retenues.

2.7.3 Suivi des corrections

Le tableau, sur lequel les actions correctives retenues figurent en face des défaillances et de leurs effets dont elles vont devoir réduire l'impact, peut être encore utilement développé.

On peut y ajouter des colonnes pour suivre, par exemple :

- La date de début de mise en œuvre ;
- Le responsable de l'action corrective ;
- L'avancement de celle-ci ;
- Les mesures d'impact de la mesure;
- La modification que la mise en œuvre de la mesure apporte à l'amde(c) ;
- La clôture de l'action.

2.8 Réputation d'exhaustivité de L'AMDEC

L'AMDE(C) a la réputation d'être une méthode exhaustive. Son caractère systématique (voire fastidieux) le justifie pourvu que les conditions de succès soient réunies et dans les limites de la méthode :

- Dans la mesure où la décomposition du système n'omet aucun élément, où tous les modes de défaillance possibles de chaque élément est connu et exploité, le caractère systématique de la méthode offre effectivement une garantie de prise en compte de tous les modes de défaillance ;
- Mais la méthode ne produit pas de façon exhaustive les modes communs et n'évalue pas systématiquement les combinaisons de pannes;
- Mais la méthode ne traite pas de tous les risques mais de ceux dus aux défaillances des composants du système. Elle ne recherche pas des combinaisons potentiellement très dangereuses de pannes du système et d'agressions ou d'erreurs extérieures ;
- L'AMDE(C) exploite une vision totalement statique du système.

Elle ne prend pas en compte la dimension temporelle ; elle ne rend pas compte de la dynamique d'un système. Elle permet de classer et mémoriser toute information utile produite, y compris dans ces domaines où la méthode ne va pas les chercher. La méthode n'offre donc plus aucune garantie d'exhaustivité dans ces domaines. Mais elle est restée un moyen remarquable de structurer toute sorte d'information même produite en dehors du processus AMDE.

2.9 Domaines d'application

L'AMDE(C) est particulièrement pertinente appliquée aux systèmes mécaniques et/ou analogiques. Elle s'applique également bien à un niveau fonctionnel, elle s'applique mal telle quelle au logiciel, mais une méthode spécifique au logiciel a été développée dans l'esprit de l'AMDE, c'est AEEL (analyse des erreurs et de leurs effets sur le logiciel).

L'AMDE(C) ne s'applique pas bien aux systèmes numériques. Il est, par exemple, bien difficile d'assurer l'exhaustivité de la connaissance des modes de défaillances des circuits complexes comme les microprocesseurs ou les ASIC, etc.

Elle n'est pas applicable à notre connaissance à la construction, cela dit, elle peut toutefois être pertinente dans ce domaine, et c'est ce qu'on va démontrer par la suite.

3. ARBRES DE DEFAILLANCE, DES CAUSES ET D'EVENEMENT

Les arbres de défaillance, des causes et d'événement sont des méthodes qui ont en commun de produire des représentations de la logique d'un système sous des formes arborescentes. Cette ressemblance superficielle est trompeuse car ces trois méthodes répondent à des besoins nettement différents et les arbres produits ne contiennent pas les mêmes informations. Il ne faut donc pas prendre ces trois méthodes pour des variantes d'une même méthode ou pour trois façons de conduire le même raisonnement mais bien pour trois méthodes complémentaire et différentes.

3.1 Arbre de défaillance

Un arbre de défaillance représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui, dans certaines conditions produisent un événement donné, point de départ de l'étude. Construire un arbre de défaillance revient à répondre à la question « comment tel événement peut-il arriver ? », ou encore « quels sont tous les enchaînements possibles qui peuvent aboutir à cet événement ? »

3.1.1 Caractéristiques

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas (figure 2.4). La ligne la plus haute ne comporte que l'évènement dont on cherche à décrire comment il peut se produire. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'évènement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont représentées par des liens logiques OU ou ET.

3.1.2 Objectifs

- L'objectif « Qualitatif » est de construire une synthèse de tout ce qui peut conduire à un évènement redouté et d'évaluer l'effet d'une modification du système, de comparer les conséquences des mesures qui peuvent être envisagées pour réduire l'occurrence de l'évènement redouté étudié.
- L'objectif « Quantitatif » est d'évaluer la vraisemblance de la survenue de l'évènement étudié à partir des combinaisons d'évènements élémentaires qui peuvent le produire. Si on connaît les probabilités de ces évènements on peut en déduire la probabilité de l'évènement étudié et l'impact sur celle-ci d'une réduction (ou augmentation) de telle ou telle des probabilités élémentaires.

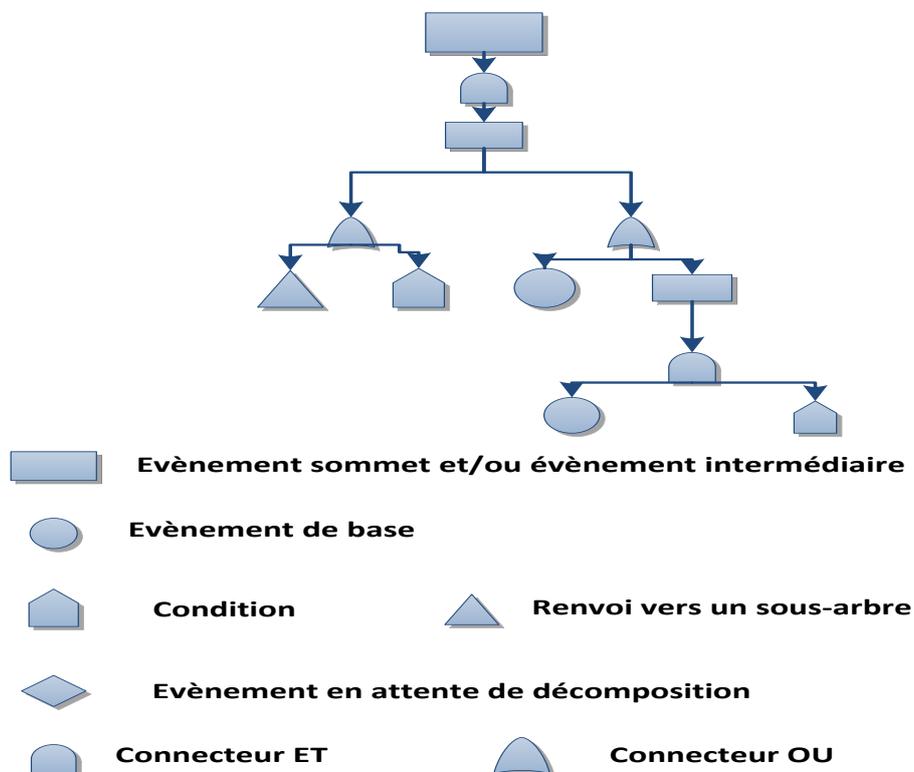


Figure 2.4 Exemple d'arbre de défaillance

3.2 Arbre des causes

On appelle arbre des causes, la représentation d'une analyse a posteriori d'un accident ou incident. Si l'on disposait d'un arbre de défaillance complet, tout arbre des causes devrait se révéler un sous-ensemble de l'arbre de défaillances puisque l'accident étudié devrait être la réalisation d'une des possibilités décrites par l'arbre de défaillance. L'arbre des causes est plutôt une méthode pour organiser les informations recueillies à propos d'un accident et donc l'analyser, qu'un guide pour recueillir les informations. Le caractère ordonné de la représentation en arbre peut attirer l'attention sur un trou dans les informations.

3.2.1 Principe

Le principe de l'utilisation des arbres des causes est de réunir les éléments ayant joué un rôle dans un événement et en restituant à chacun sa place dans le déroulement de l'événement.

3.2.2 Caractéristiques

La « méthode de l'arbre des causes » n'est pas la seule possible mais elle est très largement répandue et recommandée, car elle présente des caractéristiques très favorables :

- Elle est simple à mettre en œuvre;
- Elle aide à aller plus loin que des méthodes usuelles reposant sur des questionnaires
- Elle guide sans contraindre. Le formalisme de la méthode pousse à la recherche des causes dans des directions qui pourraient être spontanément écartées ; il favorise le caractère systématique de la recherche des faits et de leurs liens logiques. Par contre elle n'est pas contraignante et permet de prendre en compte sans difficultés toutes les contributions ;
- Elle vise à représenter tout ce qui contribue à expliquer l'événement sans favoriser ou hiérarchiser les éléments, en particulier, les éléments permanents, «normaux », qui ont contribué à l'accident doivent apparaître au même titre que les événements particuliers ou « anormaux »;
- Elle aide à mettre en évidence ce qui différencie le scénario étudié du scénario « normal » de référence ;
- Elle favorise la recherche et l'évaluation de mesures de prévention ou de protection destinées à éviter le retour de l'événement ou de ses conséquences fâcheuses ;
- Elle met souvent en évidence des facteurs d'accidents susceptibles de se manifester dans d'autres scénarios que celui étudié ;
- Elle offre l'occasion d'une appropriation globale et commune par tous les acteurs concernés par l'événement et impliqués dans son analyse de la compréhension de l'événement et des situations vécues.

3.2.3 Objectifs

L'utilisation ponctuelle ou systématique de la méthode de l'arbre des causes dans le cadre plus large d'une démarche de retour d'expérience doit permettre d'atteindre les objectifs suivants :

- Une prise en compte aussi complète que possible de tout ce qui a contribué à l'événement étudié au-delà de ce qui aurait été spontanément cité comme « causes »;
- Un « apprentissage organisationnel », c'est-à-dire un progrès collectif des acteurs impliqués dans la conscience des fonctionnements et dysfonctionnements du système auquel ils participent ;
- Une production rationnelle et aussi créative que possible de propositions de mesures propres à réduire le retour de l'événement ou ses conséquences.

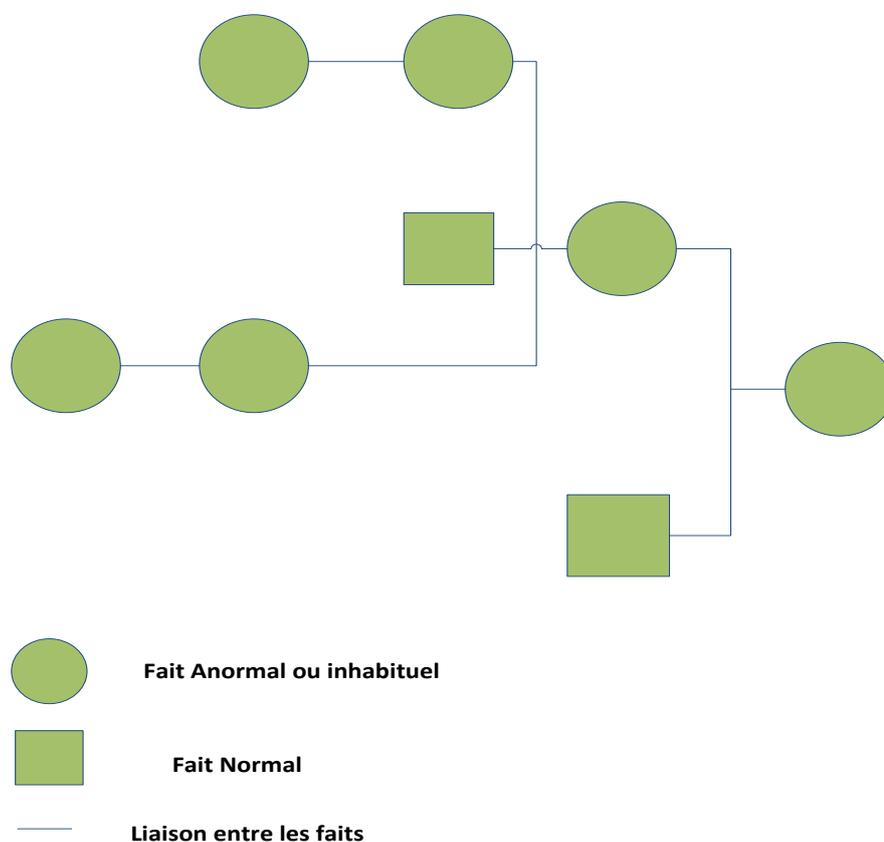


Figure 2.5 Exemple d'arbre des causes

3.3 Arbre d'événement

L'arbre d'événement est le plus simple des trois arbres présentés ici. Il matérialise une démarche très naturelle que chacun pratique de façon moins formalisée : « si tel

événement arrive, que se passe-t-il ? », « ça dépend si... », etc. Contrairement aux arbres de défaillance (parfois aux arbres des causes) un arbre d'événement reste généralement assez simple et, si des logiciels peuvent aider à le présenter correctement et à faire les calculs, ils peuvent être traités à la main.

3.3.1 Principe

L'arbre d'événement suit le cheminement logique inverse des précédents ; il vise à représenter les différentes conséquences auxquelles peut conduire un événement initiateur en fonction des conditions dans lesquelles il se produit.

Le point de départ est donc un événement initiateur. Généralement, on étudie une déviation ou une agression : une défaillance d'un composant ou d'un sous-système, une action humaine non prescrite (erreur, utilisation abusive, agression, sabotage...) ou une agression de l'environnement (foudre, champ électromagnétique, choc, gel, tremblement de terre, etc.).

On ne peut produire d'arbre d'événement que pour un système bien connu et dont la réponse à ces agressions a été prévue, L'arbre d'événement n'est pas une méthode d'investigation pour deviner, tester, découvrir les réactions d'un système aux agressions. C'est une méthode de représentation des chemins qui peuvent conduire d'une agression aux fonctionnements prévus en pareils cas (nominaux ou dégradés), ou à des fonctionnements non prévus (accidents). La logique de l'arbre est de se demander ce qui doit se passer et d'envisager que ça se produise ou que ça ne se produise pas.

3.3.2 Objectifs

L'objectif est de bien prendre en compte les divers éléments qui influent sur le cours des choses à partir d'un événement initiateur (une panne, une erreur, une agression en général, exemple figure 2.6). Si on sait chiffrer la probabilité des divers événements ou conditions qui rentrent en ligne de compte, on pourra aussi évaluer les probabilités respectives des diverses conséquences trouvées.

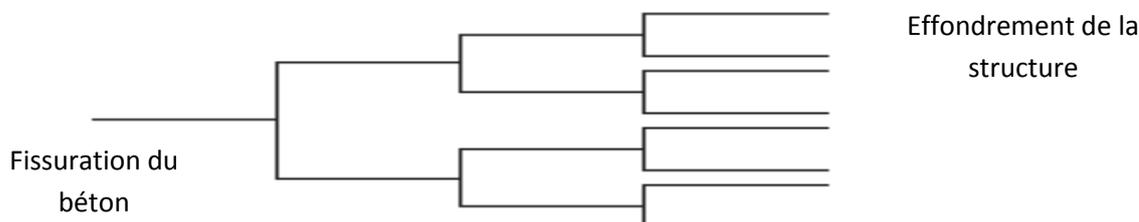


Figure 2.6 Exemple d'arbre d'évènements

3.3.3 Pertinence

En présence d'un système où de nombreux événements initiateurs sont possibles mais pour lequel la préoccupation porte sur la survenue ou non, du fait de tous ces incidents d'un ou deux événements redoutés du niveau du système entier, l'arbre de défaillance

s'impose. En présence d'un système où la préoccupation est que les deux ou trois événements redoutés n'aient pas de conséquences graves malgré la variété des scénarios dans lesquels ils peuvent intervenir, l'arbre d'événement s'impose.

Un arbre est souvent un moyen satisfaisant de présenter synthétiquement les résultats des études montrant les relations entre causes et conséquences (qualitativement-logiquement mais aussi quantitativement). Ces méthodes sont conçues pour mettre en œuvre des logiques différentes. Elles ne se présentent donc nullement comme des choix alternatifs pour un même problème.

4. METHODE MADS-MOSAR

L'analyse des risques d'un projet est une démarche complexe et pour se donner le maximum de chances de mettre en évidence la majorité des risques d'un projet, une méthode logique est proposée, la méthode organisée systémique d'analyse des risques ou « MOSAR ». Initialement conçue pour les installations industrielles, elle fait appel à la modélisation systémique qui décompose le projet en sous-systèmes et permet de rechercher systématiquement les dangers présentés par chacun d'entre eux ; ces sous-systèmes sont remis en relation pour faire apparaître des scénarios de risques majeurs. Cette partie de l'analyse est une APR (*Analyse préliminaire des risques*) évoluée car elle ne se contente pas de passer le projet au crible de grilles préétablies issues du retour d'expérience. Elle construit, à partir d'une modélisation des différents types de dangers par le modèle « MADS » (*Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes*), les scénarios possibles.

Le modèle MADS, a été élaboré dans les années 1980 par un groupe d'ingénieurs du CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique, France) et d'universitaires de l'IUT de sécurité de Bordeaux, et c'est une modélisation systémique générale du danger mise en œuvre ici de manière spécifique dans la méthode MOSAR.

Remarques

L'analyse préliminaire des risques (APR) est une méthode inductive qui partant de la cause du dysfonctionnement et essaie d'en déterminer les conséquences afin de construire des actions de maîtrise du risque. Elle présente des avantages certains, notamment en termes de facilité d'appropriation.

L'analyse Préliminaire des risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée.

4.1 Structure générale de la méthode MOSAR : Les deux modules et les dix étapes

La méthode s'articule autour de deux visions, d'où les deux modules qui la composent (figure 2.7) :

- Une vision macroscopique, conduisant à un module A qui consiste à faire une analyse des risques principaux. Cela consiste à modéliser les éléments du projet en système ce qui va permettre d'identifier en quoi ils peuvent être sources de danger. On recherche ensuite comment ils peuvent interférer entre eux et avec leur environnement pour générer des scénarios d'accidents. Ce travail nécessite la mise en œuvre du modèle MADS (*Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes*). Ce module comporte aussi une phase de négociation avec les acteurs concernés, qui va permettre d'établir un consensus sur les risques acceptables sous forme d'une grille Gravité-Vraisemblance. Le module A comprend 5 étapes qui sont :
 1. Identifier les sources de dangers ;
 2. Identifier les scénarios de dangers ;
 3. Evaluer les scénarios de risques ;
 4. Négocier des objectifs et hiérarchiser les scénarios ;
 5. Définir les moyens de prévention et les qualifier.
- Une vision microscopique, conduisant à un module B qui consiste à faire une analyse détaillée et complémentaire des dysfonctionnements techniques et opératoires identifiés dans le module A. C'est en fait une approche de type « sûreté de fonctionnement » qui vient faire foisonner l'analyse précédente. Dans les scénarios établis dans le module A, on va développer les dysfonctionnements et c'est à ce niveau que l'on mettra en œuvre les outils comme les AMDEC, et les arbres logiques. Le module se termine par le rassemblement et l'organisation de l'information acquise pour la gestion des risques c'est-à-dire des scénarios identifiés s'ils surviennent. Le Module B comprend 5 étapes qui sont :
 1. Identifier les risques de fonctionnement ;
 2. Evaluer les risques en construisant des ADD (arbres de défaillance) et en les quantifiant ;
 3. Négocier des objectifs précis de prévention ;
 4. Affiner les moyens de prévention ;
 5. Gérer les risques.

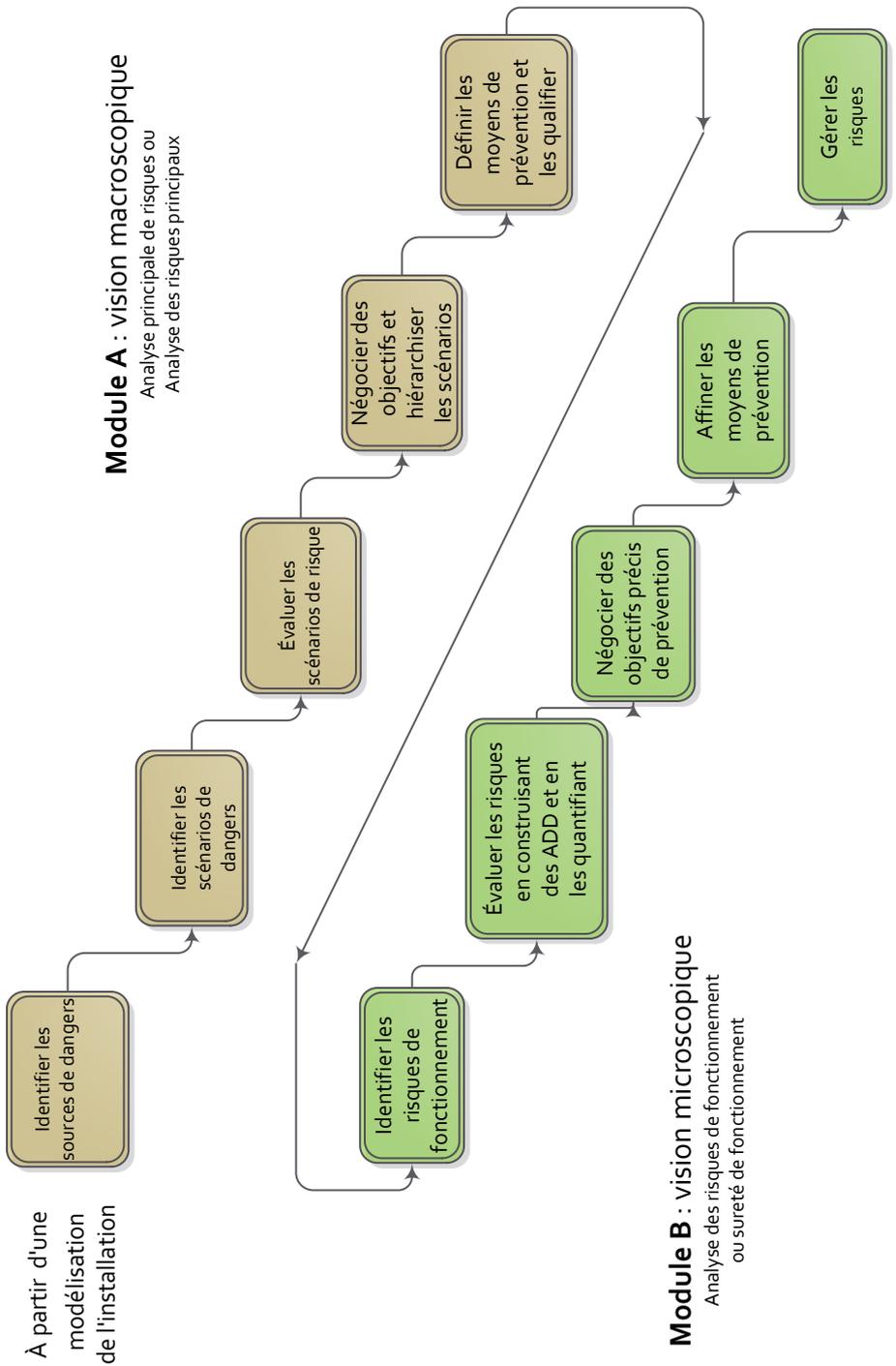


Figure 2.7 Les deux modules et les dix étapes de MOSAR : le parcours complet de MOSAR (Y.Mortureux, 2012)

4.2 Modèles mis en œuvre : MADS

Le modèle MADS (Méthodologie de dysfonctionnement des systèmes, figure 2.8), appelé aussi « univers du danger » est un outil initialement à vocation pédagogique qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par Jean-Louis Le Moigne dans « La Théorie du Système général » (1994). (la théorie de la modélisation)

L'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement dit actif. Les interactions entre ces deux systèmes se font sous forme de processus c'est-à-dire d'échange de flux de matière, énergie, information entre les deux systèmes, dans le temps, l'espace et la forme. Les autres actions qui se produisent dans cet univers sont explicitées aussi sous forme de processus. La modélisation des deux systèmes se fait, suivant les problèmes posés, sur leur structure, leur fonctionnement, leur relation avec l'environnement et leur évolution.

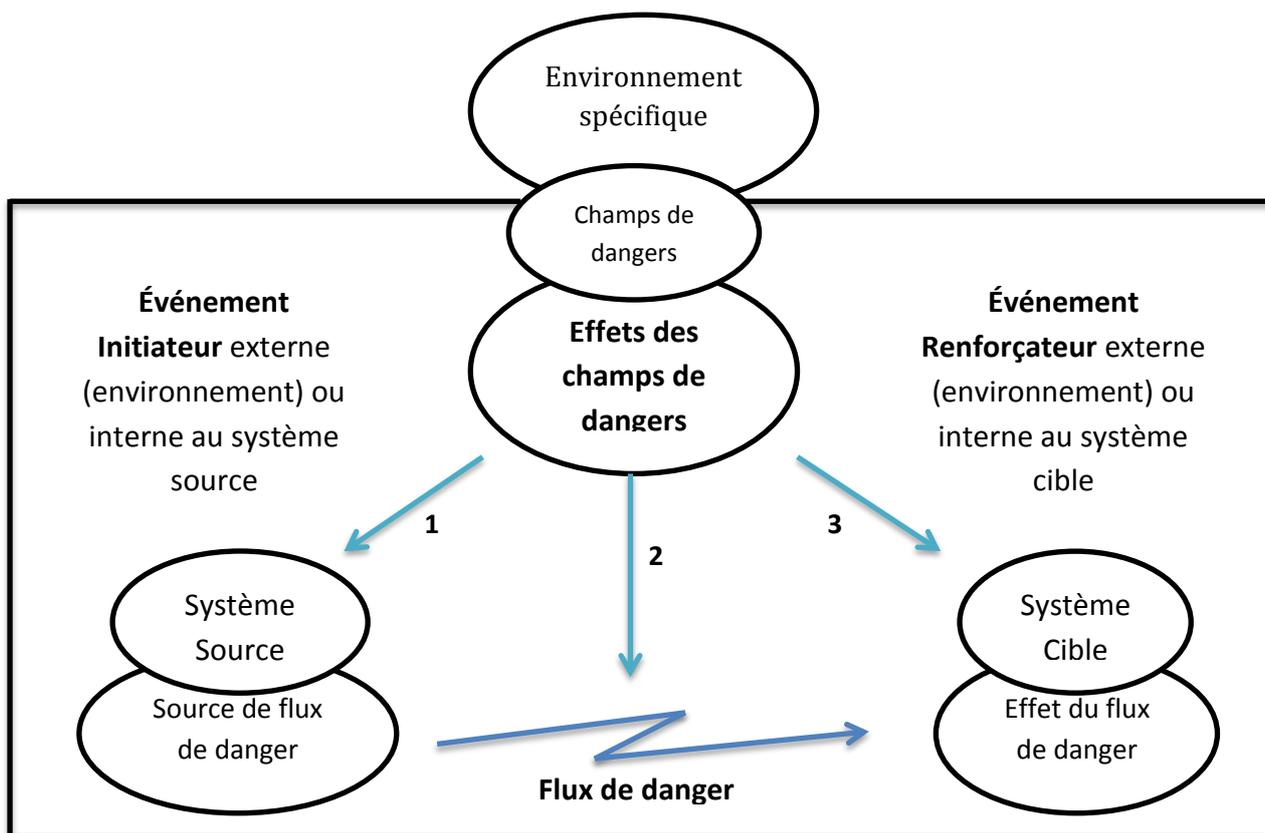


Figure 2.8 Le modèle MADS ou l'univers du danger (P. Perilhon 2012)

On fait donc apparaître :

- le flux de danger que l'on appelle aussi l'Événement Non Souhaité (ENS) ou aussi parfois l'Événement Redouté;

- le système cible sur lequel agit le flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et est appelée effet du danger;
- le système source de danger émetteur du flux de danger. Sa rupture d'équilibre peut concerner sa structure et/ou son activité et/ou son évolution et/ou son interaction avec l'environnement et est appelée source de flux de danger;

Remarque

Le processus de danger est réversible c'est-à-dire qu'un système source peut devenir système cible et vice-versa. Les systèmes sources et les systèmes cibles pris en compte sont :

- Un ou des individus ;
- Une ou des populations ;
- Un ou des écosystèmes ;
- Un ou des systèmes matériels ou symboliques (savoirs, savoir-faire, données...).

Les éléments orientés, source-flux-cible, sont immergés dans un environnement actif appelé champ de danger ; le champ de danger est tapissé de processus qui peuvent agir sur le système source par des événements initiateurs (notés 1 sur la figure 2), ainsi que sur le système cible et le flux de danger par des événements amplificateurs (notés 2 sur la figure 2). Un tel événement est dit renforçateur, ou aussi amplificateur positif, s'il renforce l'effet du flux de danger sur la cible. Il est dit atténuateur, ou amplificateur négatif, s'il diminue l'effet du flux de danger sur la cible.

4.3 Mise en œuvre de MADS-MOSAR

En appliquant MADS-MOSAR, pour réaliser une analyse de risques, il est nécessaire de procéder étape par étape, la figure 3.10 ci-après donne les huit étapes de sa mise en œuvre :

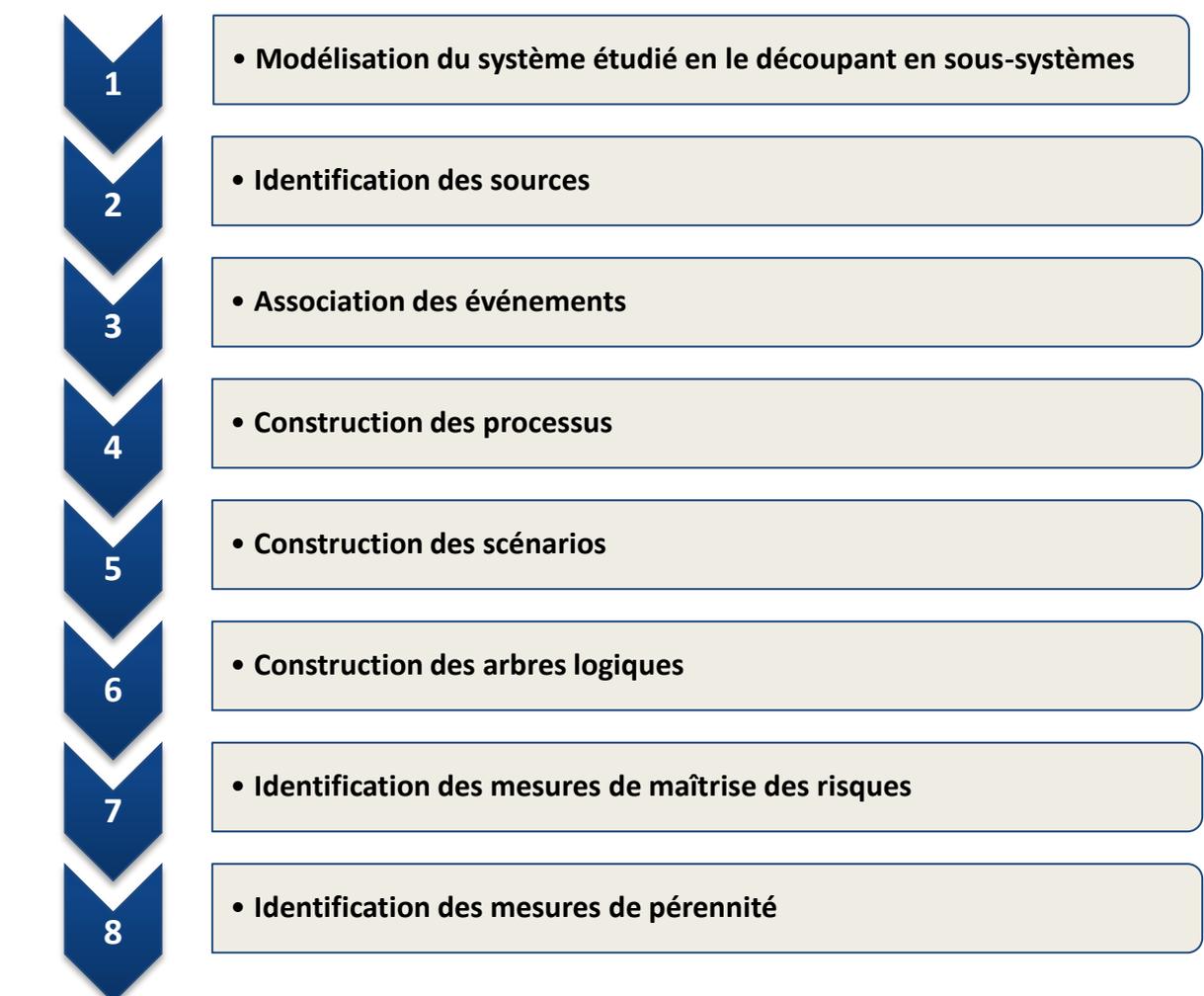


Figure 2.9 Etape de mise en œuvre de MADS-MOSAR

4.3.1 Modélisation

La modélisation du système étudié permet d'atteindre deux objectifs cruciaux en analyse de risques : l'exhaustivité et l'optimisation. Le fait de ne pas oublier de sous-systèmes est primordial ; c'est le garant de l'exhaustivité.

Dans la suite de l'analyse, il va falloir identifier les sources. Cette identification se fera sous-système par sous-système, de manière systématique, indépendamment les uns des autres, oublier un sous-système, c'est oublier des sources ou des cibles, c'est donc oublier des scénarios et donc occulter la mise en œuvre des mesures de maîtrise des risques nécessaires.

Quant à l'optimisation, elle est liée au simple fait que des sous-systèmes physiquement éloignés ne pourront pas être à l'origine de flux susceptibles de les impacter. On va donc pouvoir éliminer la recherche de processus source-flux-cible par simple positionnement des sous-systèmes les uns par rapport aux autres.

La méthode MADS-MOSAR n'impose pas de règle de modélisation. La personne qui réalise l'analyse de risques avec MADS-MOSAR est libre de modéliser comme bon lui semble.

4.3.2 Identification des sources

La première étape dans la construction des processus source-flux-cible est bien évidemment l'identification des sources à l'origine potentielle des flux susceptibles d'impacter une cible, la source est le potentiel de danger susceptible de générer un flux pouvant impacter une cible.

La méthodologie MADS-MOSAR consiste à identifier toutes les sources, sous-système par sous-système. Cette identification peut être réalisée de différentes manières : en groupe de travail, à travers des documents (fiches de données de sécurité), par retour d'expérience, etc.

4.3.3 Association des événements

Une fois les sources identifiées, il faut leur associer des événements, conformément au modèle MADS. On distingue (figure 3.11) :

- L'événement initial (EI) ;
- Les événements initiateurs internes (EII) ;
- Les événements initiateurs externes (EIE) ;
- Les événements principaux (EP).

L'événement initial (EI) : c'est l'événement redouté lié à la source

Les événements initiateurs internes (EII) : ce sont les événements internes propres à la source et qui peuvent initier à eux seuls l'occurrence EI.

Les événements initiateurs externes (EIE) : ce sont les événements extérieurs à la source de danger et qui peuvent initier à eux seuls l'occurrence EI.

Les événements principaux (EP) : ce sont les flux générés par l'occurrence de l'EI et qui peuvent produire des effets sur des cibles.

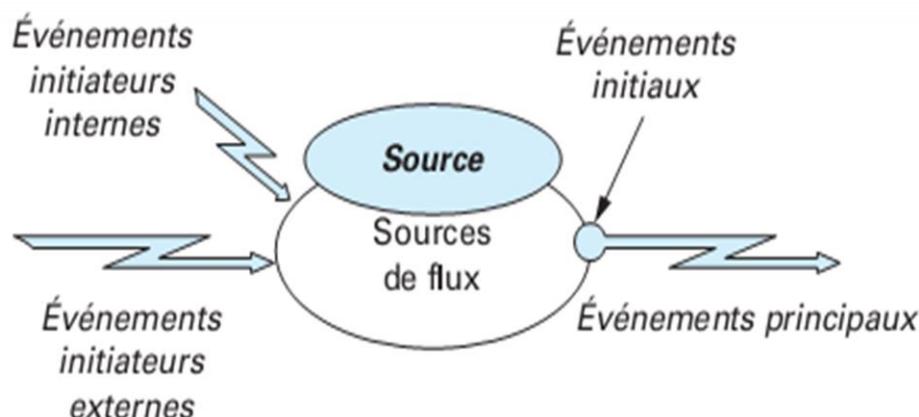


Figure 2.10 Événements associés à la source (P.Perilhon 2012)

4.3.4 Construction des processus

Construire un processus, c'est associer une source à une cible via un flux, dans l'application de MADS-MOSAR, cette association doit être automatique, réalisée par simple lecture des processus. En effet, il est bien précisé que les « *EIE* » sont des flux, tout comme les « *EP* ». Le vocabulaire utilisé pour les *EIE* et les *EP* est donc identique. De ce fait, l'association source-flux-cible se fait par simple concordance de vocabulaire entre les *EIE* et les *EP*.

4.3.5 Construction des scénarios

Un scénario est un enchaînement de processus. Construire des scénarios à partir de l'application de MADS-MOSAR, c'est mettre bout à bout des processus avec le simple principe qu'une cible devient source et ainsi de suite.

L'étude des scénarios et des effets domino, tels que réglementairement demandés, se fait par simple lecture.

4.3.6 Construction des arbres logiques

Toujours à partir du principe qu'un scénario est un enchaînement de processus, il est alors possible, en appliquant MADS-MOSAR, de construire des arbres logiques.

Un arbre logique est, par exemple, l'ensemble des scénarios qui aboutissent à une même cible (arbre des causes) et l'ensemble des scénarios qui sont générés à partir de cette cible qui devient alors source (arbres des conséquences).

Il s'agit toujours d'une simple lecture des processus validés. De ce fait, MADS-MOSAR est la seule méthodologie d'analyse de risques qui permet de lier toutes les données de l'analyse pour produire automatiquement ce type d'arbre (P. Perilhon 2012).

4.3.7 Identification des mesures de maîtrise des risques

À ce stade de la mise en œuvre de MADS-MOSAR, on a une vision la plus exhaustive possible des scénarios redoutés. Cette étape de l'analyse a pour objectif de les maîtriser. Pour ce faire, on va associer des mesures de maîtrise des risques ou « barrières » à chaque source. Sur une source de danger à l'origine d'un flux de danger, les barrières peuvent être associées:

- A la source de danger elle-même ;
- Aux EII ;
- Aux EIE ;
- Aux EP.

4.3.8 Identification des mesures de pérennité

L'application de MADS-MOSAR peut s'arrêter à l'étape précédente. Les mesures de maîtrise des risques nécessaires à la maîtrise des risques identifiés ont été répertoriées, de manière la plus logique, la plus cohérente et la plus exhaustive possible. Il est alors possible d'analyser la pérennité de cette maîtrise des risques. Il suffit pour cela d'associer des mesures de pérennité (ou barrières de pérennité) aux mesures de maîtrise des risques. L'objectif est alors de pérenniser ces mesures de maîtrise des risques en leur associant des mesures qui doivent en garantir l'opérationnalité dans le temps.

Par cette étape, on crée un lien logique et cohérent entre l'analyse des risques et la gestion de la sécurité sur le système étudié. On associe également une typologie aux barrières de pérennité.

4.4 Avantages de la méthode

La méthode ainsi décrite :

- Procède à une approche déterministe complétée par une approche probabiliste dans la mesure où l'on a pu quantifier les probabilités de scénarios d'accidents majeurs mis en évidence ;
- Introduit une phase de négociation sur les objectifs à atteindre impliquant si possible tous les acteurs concernés et faciliter ainsi la communication à tous les niveaux ;
- Intègre la réglementation applicable mais va plus loin en identifiant des moyens de prévention et de protection pour des événements qui ne sont pas pris en compte par cette dernière ;
- Intègre le retour d'expérience dans la genèse de scénarios et dans la recherche de barrières permettant de les neutraliser ;
- Construit une forme de démonstration de la sécurité qui permet d'établir une confiance aussi bien des acteurs internes que des acteurs externes ;

- Permet de disposer d'un document de référence qu'il est possible de tenir à jour en cas de modification et qui constitue un suivi de performance à travers l'assurance de la pérennité des barrières par leur qualification dans le temps ;
- Fait apparaître les modalités de management et d'organisation nécessaires pour le choix des barrières et l'assurance de leur pérennité.

4.4.1 Exhaustivité

La genèse de scénarios par la technique des boîtes noires permet d'obtenir une vision assez exhaustive. La recherche systématique des barrières correspondant aux événements identifiés apporte aussi une bonne exhaustivité à la méthode.

4.4.2 Coordination des outils

La méthode MADS-MOSAR n'entre pas directement dans une analyse fine avec des outils tels que l'AMDEC ou les Arbres Logiques ce qui évite de travailler tout de suite dans le détail avec le risque de dispersion que cela entraîne. Ce n'est que dans le module B que la nécessité de mettre en œuvre ces outils se fait sentir et l'on y arrive tout naturellement. On peut donc dire que la méthode assure une coordination de ces outils au bon moment de l'analyse.

Ceci a aussi pour avantage de créer des niveaux de l'analyse, du global au détail, avec possibilité de s'arrêter à une profondeur préalablement choisie et donc de consacrer un temps donné à cette dernière. Le module A nécessite quelques jours d'analyse suivant la complexité du projet, tandis que le module B durera plusieurs semaines voire plusieurs mois.

4.4.3 Souplesse

Par ses différents parcours, la méthode est souple d'utilisation. Il est possible de choisir un parcours en fonction des objectifs à atteindre.

4.4.4 Capitalisation

La colonne vertébrale de MADS-MOSAR est capitalisable (sous-systèmes, sources, événement, barrières, barrières de pérennité)

4.5 Inconvénients de la méthode

La méthode MADS-MOSAR, de par son formalisme initial (module A, module B), de par son absence de règles claires notamment quant à la signification et au vocabulaire des événements (EI, EII, EIE, EP), de par ses lourdeurs de combinaison entre les boîtes noires (sous-systèmes) et de par son absence de capitalisation est inapplicable. Seul celui qui a mené l'analyse s'y retrouve. À cela, il faut ajouter ce que certains perçoivent comme des inconvénients son systématisme et son exhaustivité. Savoir que l'on a modélisé 100 sous-systèmes, que dans ces 100 sous-systèmes, on va identifier en moyenne cinq sources, cela fait 500 sources à analyser. 500 sources auxquelles il va

falloir attacher dix événements en moyenne, soit 5 000 événements à combiner pour faire des scénarios et 5 000 événements sur lesquels il va falloir attacher des mesures de maîtrise des risques. Rien que d’y penser, il y a de quoi, effectivement, calmer les ardeurs de chacun à appliquer MADS-MOSAR.

La figure 2.11 fait ressortir les avantages et inconvénients de la méthode

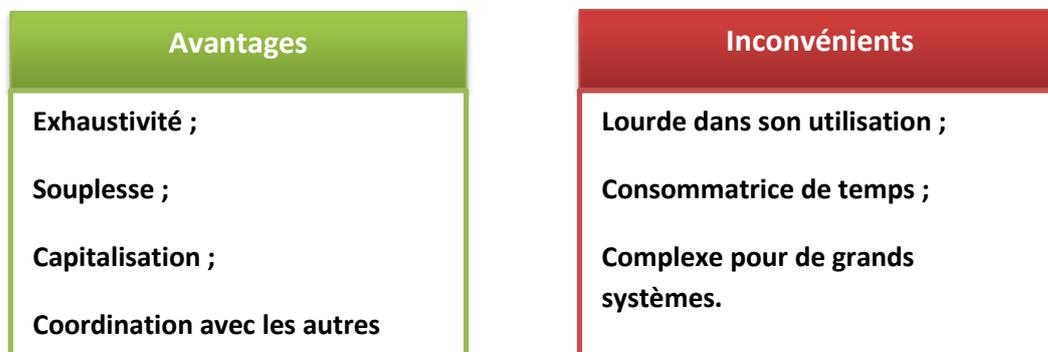


Figure 2.11 Avantages et inconvénients de MADS-MOSAR

5. CONCLUSION

L’analyse des modes de défaillance, de leurs effets avec ou sans celle de leur criticité est une démarche logique et de bon sens. Admettant qu’aucun système n’est infaillible, elle consiste à identifier, décrire, évaluer les risques qui découlent des défaillances. Cependant L’AMDEC a les limites dues à la méthode proprement dite, inadaptée à représenter la dynamique d’un système, la dimension temporelle et les combinaisons logiques, ainsi qu’aux informations disponibles, comme toute méthode de sûreté de fonctionnement, elle exploite les connaissances, elle n’en crée pas à partir de rien.

Un arbre de défaillance est une méthode-type pour répondre à une question du genre : « quelles chances y a-t-il que le dispositif de détection et extinction automatique d’incendie manque à se déclencher en présence d’un feu et sur quoi peut-on agir pour diminuer cette probabilité? ». La démarche de réalisation d’un arbre des causes consiste à répondre à la question : « quels faits ont joué un rôle dans la survenue de cet accident et en se combinant de quelle façon ? » L’arbre d’événement part d’un événement et décrit les différentes conséquences qu’il peut avoir en fonction des conditions dans lesquelles il s’est produit et des événements avec lesquels il se combine. Il repose sur un raisonnement inverse des arbres précédents : de la cause vers les conséquences

Le modèle MADS-MOSAR présente des avantages et des inconvénients ; cependant le passé ne penche pas en la faveur de MADS-MOSAR. Très nombreuses ont été les personnes formées à cette méthode, très peu sont les personnes à l’appliquer (O. Grandamas 2012). Cela dit, La colonne vertébrale de MADS-MOSAR est capitalisable :

Sous-systèmes ⇔ Sources ⇔ Événements ⇔ Barrières ⇔ Barrières de pérennité.

En ayant recours à une telle banque de données déduite de la colonne vertébrale de MADS-MOSAR, les très gros avantages de MADS-MOSAR peuvent alors être exploités : systématisme – exhaustivité et donc l’analyse réalisée devient alors logique et cohérente. Elle devient facilement compréhensible et exploitable par tous et le formalisme de MADS-MOSAR devient désormais un avantage.

Toutes ces méthodes et outils évoqués précédemment ont l’avantage de décomposer chaque projet en système ; que ce soit les installations industrielles (là où elles sont les plus utilisées) ou bien les projets de construction. De plus, elles font appel systématiquement à une démarche inductive et déductive. Ceci rend ces méthodes parfaitement abordables dans d’autres domaines que l’industrie même si leur utilisation dans le domaine de la construction en général et dans le domaine routier en particulier reste très timide (figure 2.12).

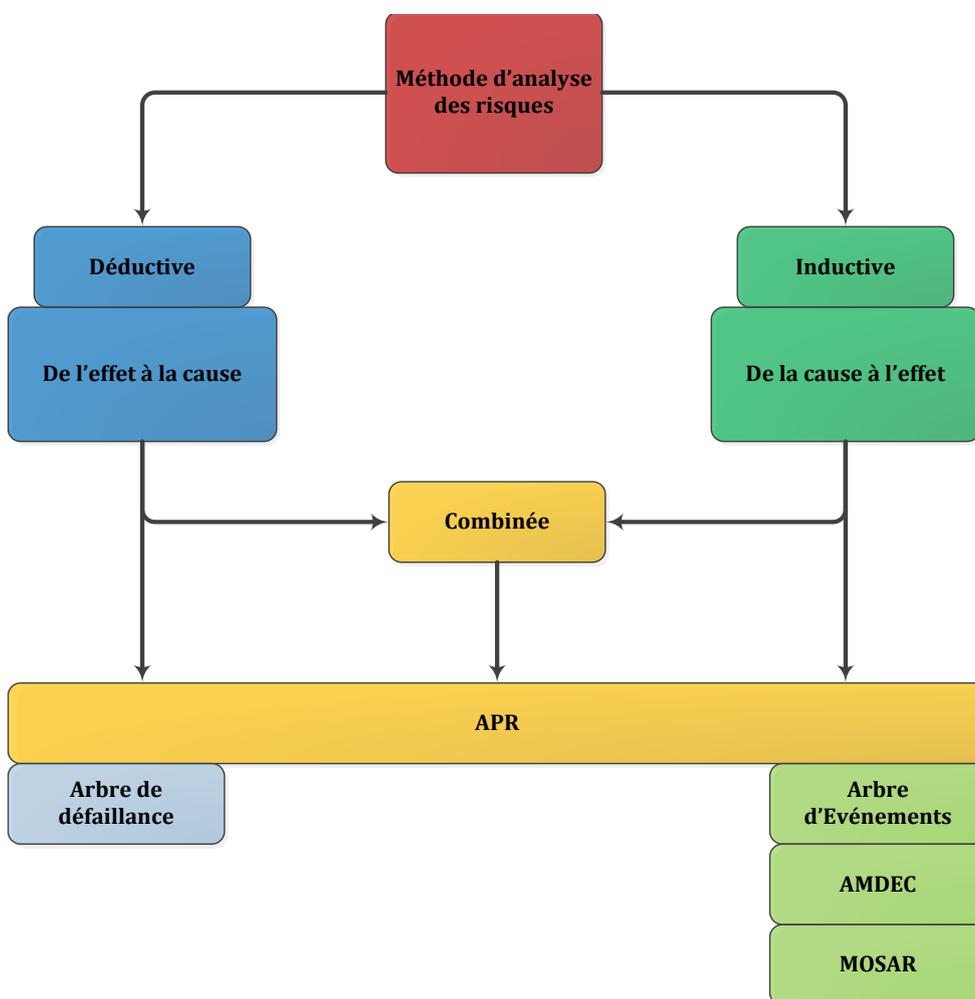


Figure 2.12 Classification des principales méthodes d’analyse de risque

Nous nous attellerons par la suite sur le management des risques géotechniques dans les projets routiers à l’aide de la méthode MOSAR et des outils cité ci-dessus. Cela dit, avant de pouvoir les utiliser il faudrait recenser l’ensemble des risques géotechniques lié à route, ce qui sera fait dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 03

« ON PEUT VOIR DE GRANDE
CHOSE DE LA VALLEE ; MAIS ON
NE VOIT QUE PEUT DE CHOSE DU
SOMMET. »

G.K CHESTERTON

Chapitre 3

LES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS LE PROJET DE ROUTE

1. INTRODUCTION

Dans les chapitres précédents nous avons vu la définition du risque, ces dimensions, ainsi que les outils et méthodes qui vont être utilisés par la suite. On sait que la réalisation d'une route fait appel à un ensemble d'activités de plus en plus nombreuses et complexes qui demandent des efforts importants et soutenus en matière de gestion de projet.

Les systèmes de transport sont un réseau de soutien à la vie de la même manière que l'eau, les communications et l'électricité. La reconstruction des infrastructures est très coûteuse et les administrations routières doivent respecter un grand nombre d'exigences comme de fournir un réseau routier sûr et efficace ; d'appuyer le développement économique et gérer la croissance du trafic, de réduire au minimum l'utilisation de l'espace naturel et les impacts socio-économiques et environnementaux, d'évaluer sur le long terme les besoins futurs, en prenant en compte le financement et l'exploitation, etc.

Les risques géotechniques touchent les projets routiers avec de grandes conséquences sociales et économiques ; par conséquent, cette partie de notre travail définit le cycle de vie d'un projet de route ainsi que l'ensemble des risques géotechniques qui peuvent influencer ce dernier.

2. CYCLE DE VIE D'UN PROJET ROUTIER

Un projet routier est un ensemble d'activités à réaliser en vue d'une intervention sur une ou plusieurs infrastructures de transport. On appelle cycle de vie d'un projet l'enchaînement dans le temps des étapes et des validations entre l'émergence du besoin et la livraison du produit,

Tout projet se caractérise par son cycle de vie qui généralement est constitué de 4 phases : Etude préalable, Conception, réalisation, et clôture. Chacune de ces phases est composée de plusieurs étapes. La figure ci-dessous (figure 3.1) présente les grandes lignes du cycle de vie d'un projet de route.

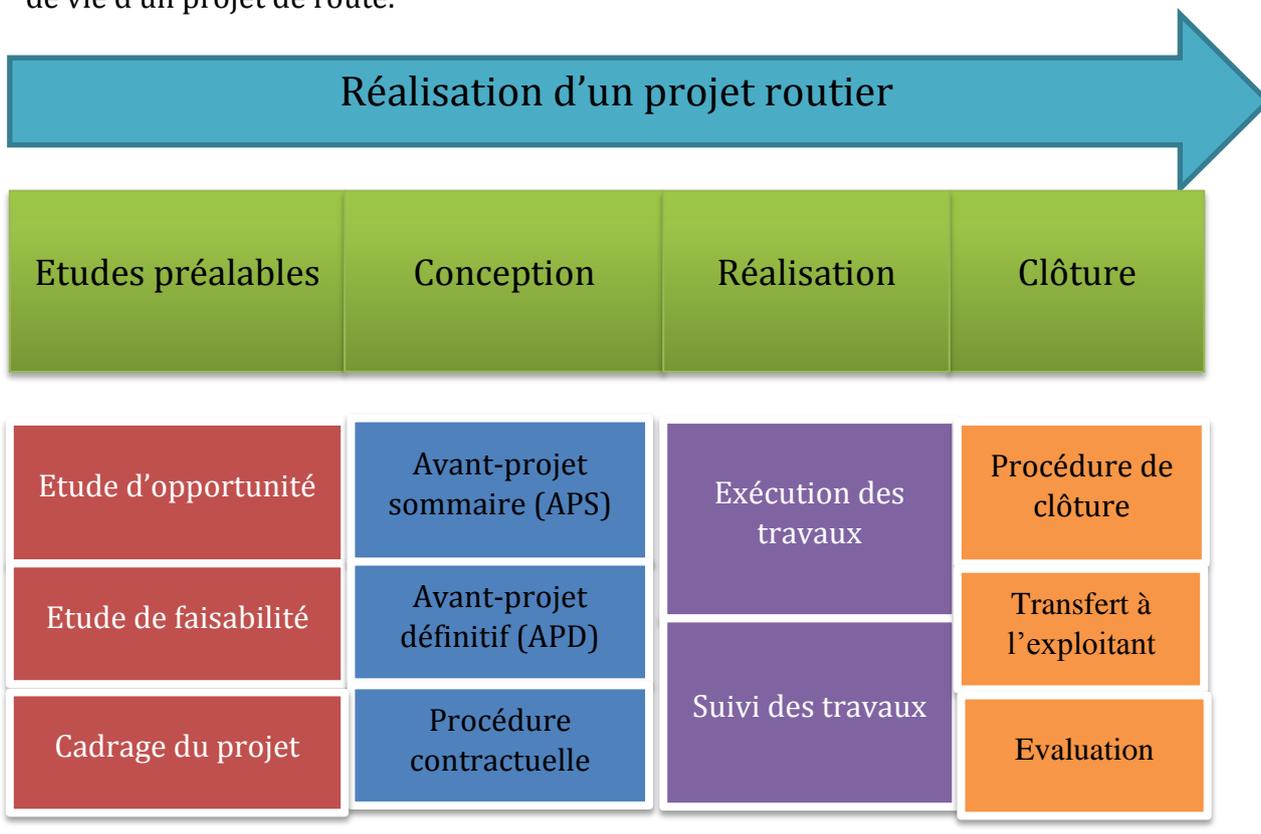


Figure 3.1 Cycle de vie d'un projet routier

2.1 Phase 1 : « Etudes préalables »

Cette phase vise à déterminer les besoins qui justifient l'existence du projet et la faisabilité de l'opération. Il y a lieu tout d'abord de définir la zone d'étude pertinente

pour le projet routier et un recensement des contraintes sur le périmètre. Ceci permet d'identifier des couloirs privilégiés en fonction des objectifs du projet attendu au regard de l'ensemble des contraintes. L'étude préalable peut comporter trois étapes et se concluent par le lancement de l'enquête publique.

2.2 Phase 2 : « Conception »

Cette deuxième phase est constituée de trois étapes :

- Avant-projet sommaire (APS) ;
- Avant-projet définitif (APD) ;
- Procédure contractuelles.

À partir des solutions énoncées à la phase « Études préalables », plusieurs scénarios et variantes sont élaborés et analysés, pour finalement réaliser un projet qui répondra le mieux aux besoins tout en respectant les exigences du délai et du coût. Cette phase vise à concevoir la réponse la mieux appropriée aux besoins d'origine.

2.2 Phase3 : « Réalisation »

Cette phase a pour principale mission de mettre en œuvre les plans et devis et donc de réaliser la solution retenue. Elle admet deux étapes « Exécution des travaux » et « Suivi des travaux ».

L'étape « Exécution des travaux » consiste à mettre en œuvre le projet routier et donc de le réaliser ; c'est l'étape de la mise en œuvre du projet sur le terrain, donc du chantier. L'entrepreneur, les prestataires de services et les fournisseurs exécutent leurs contrats dans le respect des exigences et des spécifications émises dans les plans et devis. Le maître d'ouvrage, pour sa part, s'assure de la réalisation et de la conformité des biens livrables demandés dans les documents contractuels et effectue les paiements en fonction de l'avancement des travaux réalisés.

L'étape « Suivi des travaux » consiste à s'assurer de la conformité du projet et de la bonne intégration des modifications en apportant des moyens de surveillance efficaces et réguliers. Elle impose l'établissement des procédures d'exécution qui décrivent la méthodologie, les moyens et les plans de contrôle. Le but de cette étape est de mesurer et surveiller régulièrement la progression et la conformité du projet et d'assurer la bonne intégration des modifications ou changements approuvés dans le cadre du projet. Elle impose l'établissement des procédures d'exécution qui décrivent la méthodologie, les moyens et les plans de contrôle et de suivi pour l'exécution des différents travaux.

2.4 Phase 4 : « Clôture »

La phase de clôture du cycle de vie du projet routier vise à achever les activités de management du projet. Elle comprend la réalisation de toutes les activités

d'administration du contrat, l'évaluation finale des équipes de projet (y compris des consultants et des entrepreneurs), la préparation des leçons apprises et la finalisation du document de clôture du projet. C'est la dernière phase du projet et elle permet d'évaluer l'adéquation de solution retenue avec les besoins d'origine.

3. INGENIERIE DES SYSTEMES DANS UN PROJET ROUTIER

En ingénierie, les systèmes sont souvent conçus, construits et fonctionnent sous des conditions inévitables de risques et d'incertitudes et dont souvent supposés accomplir des objectifs multiples et conflictuels.

Pour le maître d'ouvrage et les parties prenantes, l'ingénierie des systèmes a pour objectif de conduire un bon compromis entre les enjeux et contraintes concernant tant la solution que le projet (besoin, contraintes technique, coût, délais, risque, etc.).

L'identification, la quantification, l'évolution et les compromis des risques, bénéfice et coûts doivent constituer une composante intégrale et explicite de tout le processus de prise de décision managériale.

La situation globale des risques n'est pas simplement un système de subordination, mais aussi une interaction des niveaux inférieurs qui ont un potentiel d'impact négatif sur le système dont il existe une corrélation avec des capacités menacées de risques. Le défi est donc le management du risque dans le contexte de l'ingénierie des systèmes.

Pour la systémique, il faut définir le système en termes de fonction, c'est-à-dire, s'intéresser à la fonction avant la forme, et prévoir une approche efficace pour la révision, l'évaluation et le feed-back afin de progresser d'une façon efficace tout le long du cycle de vie d'un système.

Pour la suite des événements, l'analyse fonctionnelle et l'approche systémique se révèlent indispensables pour l'utilisation des méthodes et outils cités précédemment, car la première étape de l'outil AMDEC et de la méthode MOSAR (ou MADS-MOASR) découle de ces approches. En effet, le principe de découpage de la vision micro permet d'arriver à un niveau qui facilite l'identification des risques, de plus par le fait que ces approches modélisent aussi l'interaction, il sera plus facile d'en déduire les risques induits.

3.1 L'approche systémique

L'approche systémique ouvre une voie originale et prometteuse à la recherche et à l'action ; la démarche a déjà donné lieu à de nombreuses applications, aussi bien en biologie, écologie, économie, management des entreprises, urbanisme, aménagement du territoire, etc. Elle repose sur l'appréhension concrète d'un certain nombre de concepts tels que: système, interaction, rétroaction, régulation, organisation, finalité, vision globale, évolution, etc.

L'approche systémique prend forme dans le processus de modélisation, lequel utilise largement le langage graphique et va de l'élaboration de modèles qualitatifs, en forme de

"cartes", à la construction de modèles dynamiques et quantifiés, opérables sur ordinateur et débouchant sur la simulation.

3.1.1 Pourquoi avoir recours à une approche systémique ?

L'approche systémique se doit d'être une alternative de la démarche cartésienne qui consiste à la réduction de la complexité à des composants élémentaires. Cette démarche, à la base du taylorisme, et efficace dans des environnements stables et simples, elle ne convient plus dès lors qu'on a des systèmes complexes, dynamiques et en perpétuelle transformation. Dès lors, une autre approche est nécessaire, prenant en compte l'instabilité, le flou, le désordre, la créativité voire le paradoxe.

3.1.2 Etape de l'approche systémique

La figure qui suit schématise les étapes de la démarche systémique (figure 3.2)

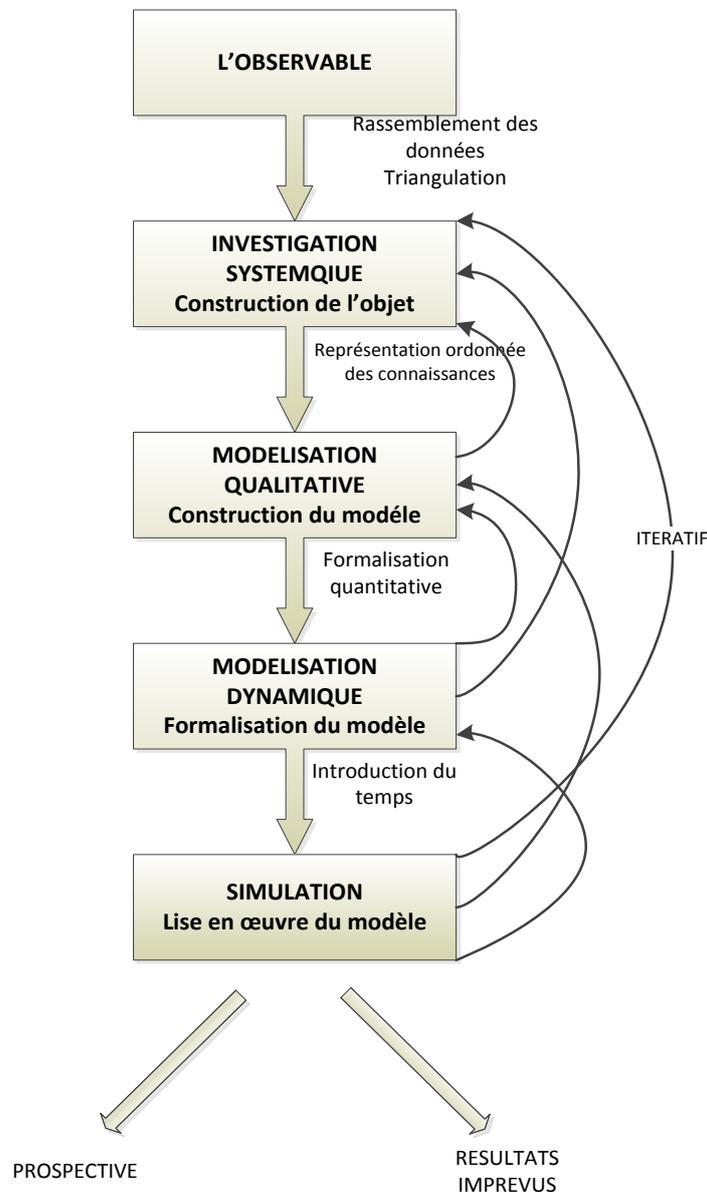


Figure 3.2 Etapes de la démarche systémique (Groupe AFSCET, 2003)

Une telle démarche peut paraître longue et théorique mais son apport dans la compréhension de systèmes complexes est loin d'être négligeable. L'élément déterminant de l'approche systémique restant l'identification du système à étudier et des sous-systèmes clefs, le travail d'identification requiert beaucoup d'attention et doit se faire en toute objectivité, la figure 3.4 schématise l'approche systémique de la route.

3.2 L'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est la première étape de nombreuses méthodes d'optimisation de solutions et d'analyse des risques (AMDEC, SDF etc.). Sa spécificité tient dans la mise en œuvre d'une des questions centrales du raisonnement « valeur » : « à quoi ça sert ? », pour faciliter et guider l'expression des besoins des parties prenantes, indépendamment des solutions.

Elle est subdivisée en deux parties : l'interne et l'externe.

L'analyse fonctionnelle externe s'agit d'une analyse qui part du besoin pour définir les fonctions, c'est-à-dire qu'on se met à la place du client. C'est une méthode qui a pour objet l'identification des fonctions attendues ou réalisées, l'expression de ces fonctions, leur caractérisation et leur hiérarchisation. Son but est d'optimiser la conception ou la reconception de l'ouvrage en s'appuyant sur les fonctions qu'il doit réaliser.

L'analyse fonctionnelle interne s'agit cette fois de l'étude des fonctions de service réalisées (et non plus attendues) à partir des solutions techniques proposées par l'entreprise pour réaliser l'ouvrage. On se place du point de vue de l'exploitant ou du concepteur. La figure 3.5 schématise l'analyse fonctionnelle d'une route.

3.2.1 Caractéristiques des différents types de fonctions

3.2.1.1 Fonction principale (ou fonction d'usage)

C'est la fonction qui satisfait le besoin, elle assure la prestation du service rendu. C'est la raison pour laquelle le projet a été créé. Une fonction principale peut être répartie en plusieurs fonctions élémentaires (action attendue de l'ouvrage pour répondre à un élément du besoin, traduisant la raison d'être d'un sous-système de l'ouvrage).

3.2.1.2 Fonction contrainte

Il s'agit de recenser les conditions qui doivent être impérativement vérifiées par l'ouvrage, mais qui ne sont pas sa raison d'être.

3.2.1.3 Fonction complémentaire

Fonction qui facilite, améliore, ou complète le service rendu. Ce type de fonction ne résulte pas de la demande explicite du client, et n'est pas non plus une contrainte. Il s'agit de proposer au client des améliorations pour l'ouvrage.

3.2.2 Etape de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle d'un produit ou service, est présentée par les normes AFNOR NF X50-100 et 151, elle se fera donc en cinq étapes. Pour chaque étape ils seront précisées les questions posées, les réponses recherchées, les sources de ces informations et les moyens de les collecter, ainsi que des outils aidant à leur collecte et leur analyse.

La figure qui suit (figure 3.3) schématise les étapes de l'analyse fonctionnelle.

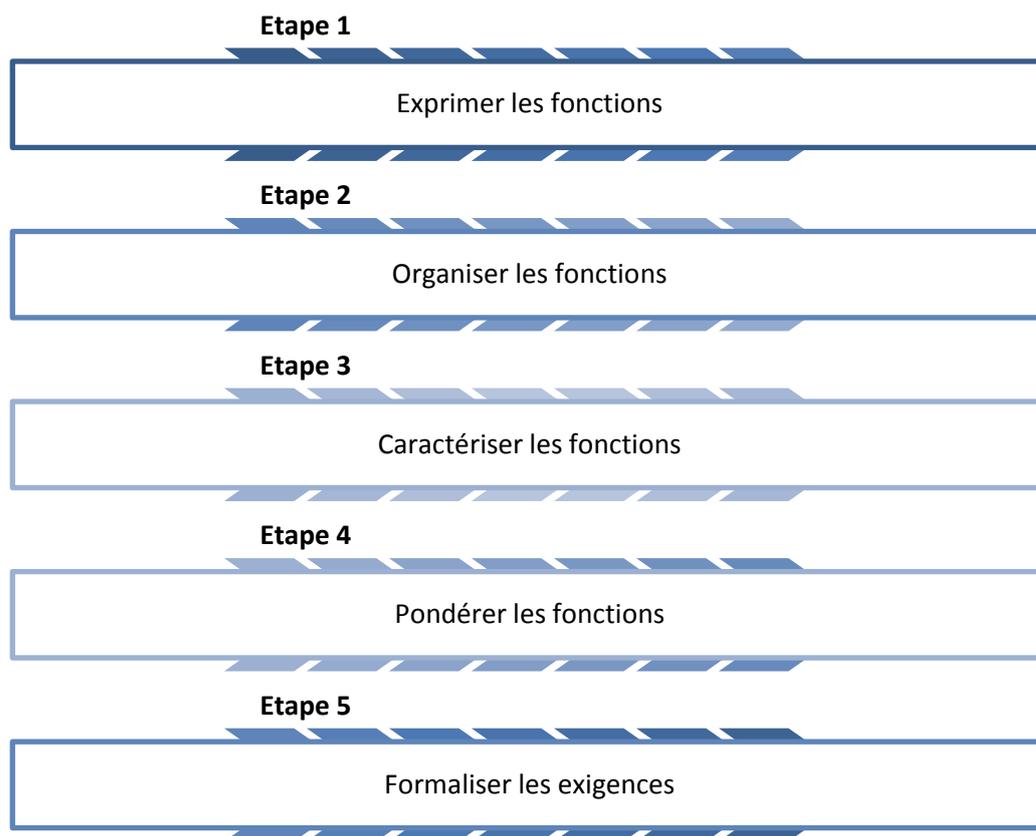


Figure 3.3 Etapes de l'analyse fonctionnelle

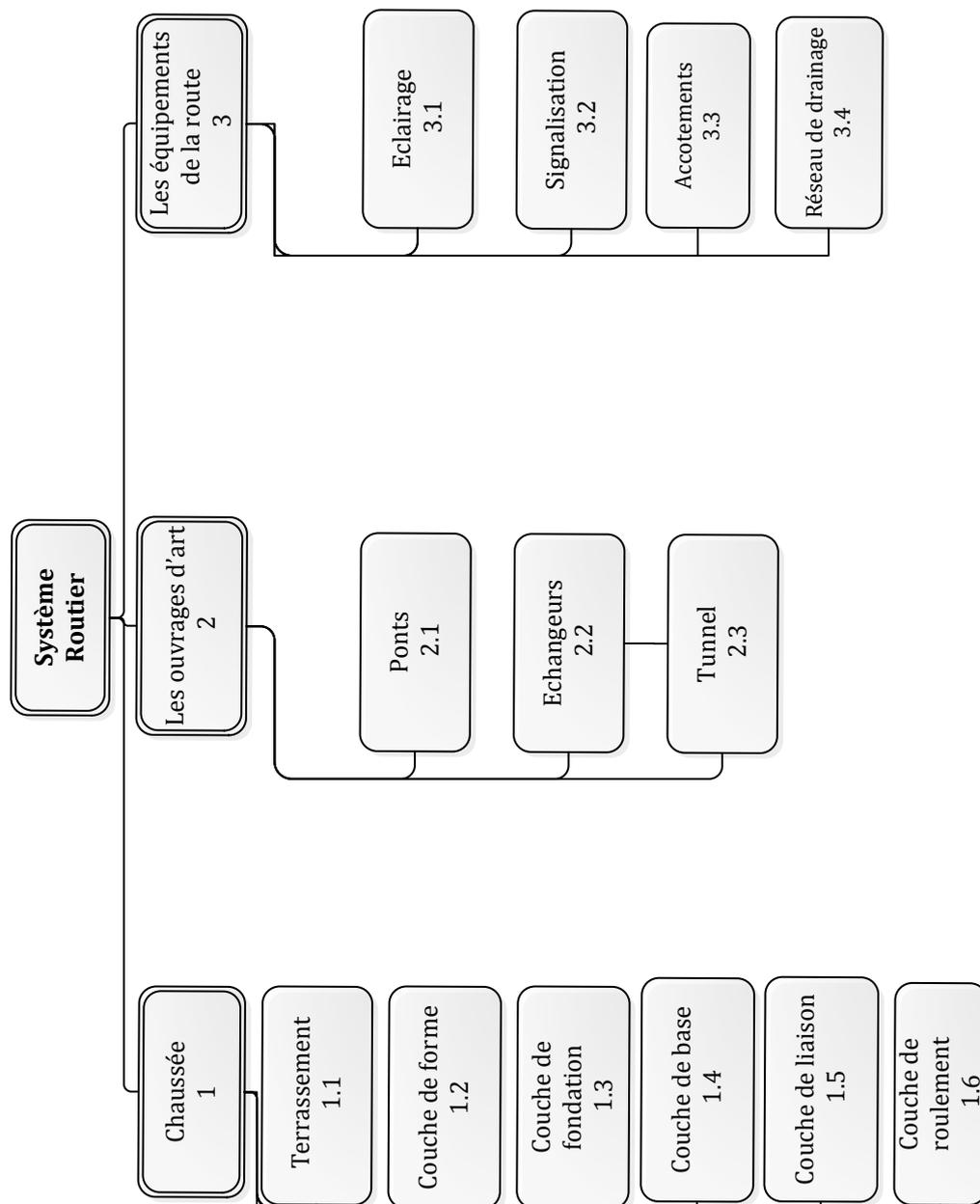


Figure 3.4 Approche systémique du projet routier

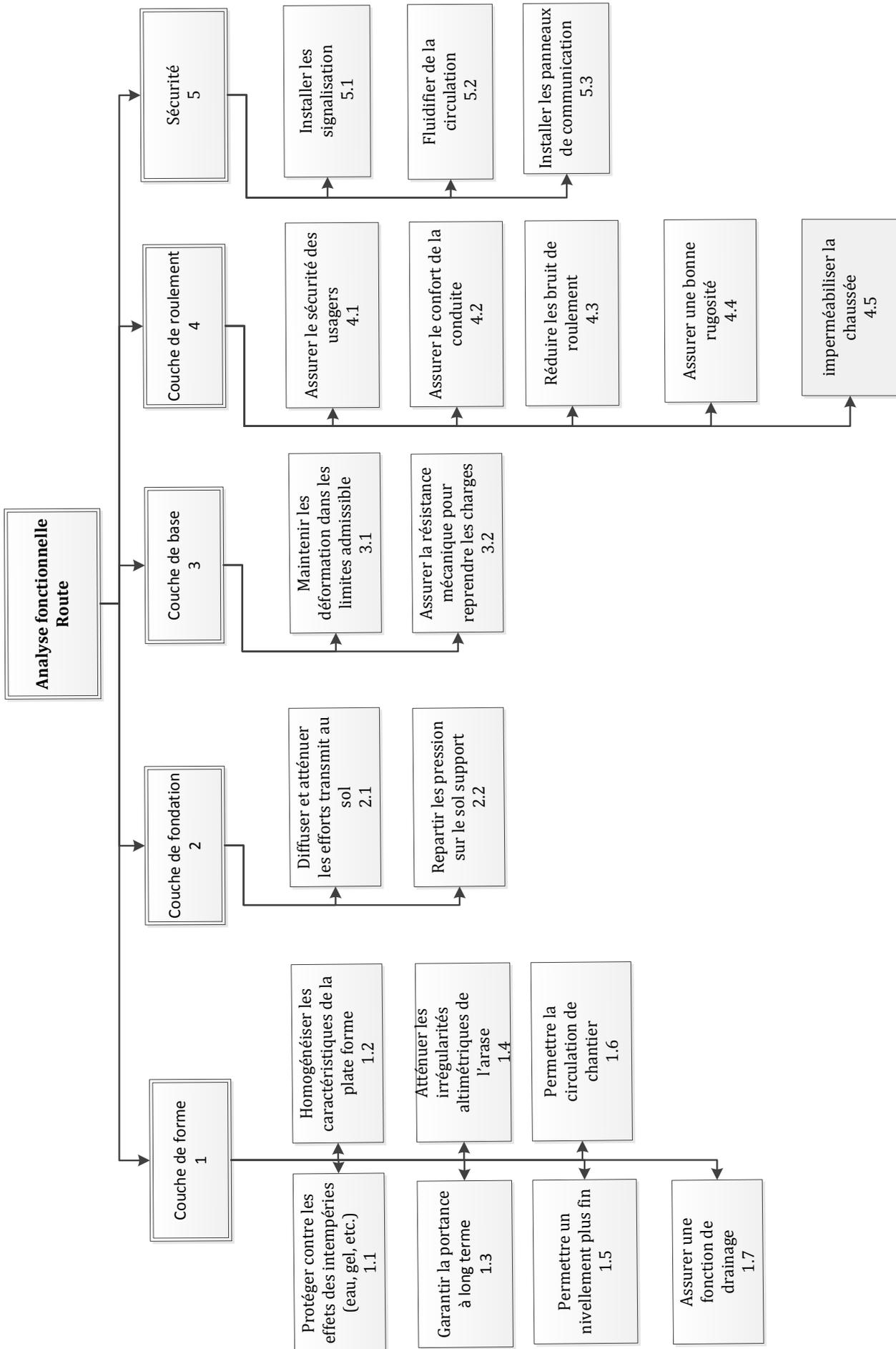


Figure 3.5 Analyse fonctionnelle du projet routier

4. LES RISQUES ET LES PROJETS ROUTIERS

Une approche de gestion du risque est un outil de prise de décision qui permet de concrétiser ce qui est souvent un processus intuitif. L'approche de gestion du risque devrait être conçue de manière à répondre aux questions du genre :

- Quels sont les risques qui peuvent avoir une incidence sur le réseau routier ?
- Qui est responsable de la gestion du risque ?
- Quelle protection ou mesures peuvent être prises pour faire face à ces risques ?
- Dans quelle mesure la gestion des risques est-elle prise en compte dans les grands projets routiers ? à quelle étape du projet ?
- Quels sont les impacts de la non-gestion des risques ?
- Quels sont les éléments vulnérables qu'il est essentiel de protéger ?

La première des choses à faire est une classification des risques. Ces derniers peuvent être décomposés en deux catégories : risques statiques et risques dynamiques. Les risques dits statiques sont inhérents partout et ne présentent que des possibilités de perte, sans contrepartie correspondante spécifique et avec un statu quo en cas de non-survenance. Une route inondée ne peut pas être compensée ou non inondée par une autre route. Des risques dynamiques peuvent être compensés en ce sens qu'une perte peut être contrebalancée par un autre gain. Par ailleurs, certains risques statiques sont assurables.

La figure ci-dessous donne des exemples de risques statiques et risques dynamiques (figure 3.6).

Les risques statiques peuvent être classés selon deux catégories : naturels et anthropogéniques (voir tableau 3.1 ci-dessous). Cela dit, plusieurs classifications existent et on fait le choix de la classification ci-dessous (figure 3.7) :

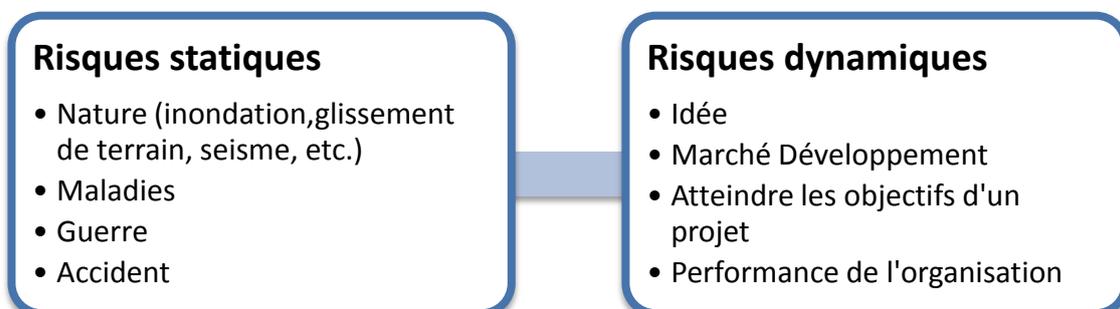


Figure 3.6 Exemple de risques statiques et de risques dynamiques

Tableau 3.1 Exemples de risque naturels et risques anthropogéniques

Risques naturels	Risques anthropogéniques
Glissement de terrain	Risques de sécurité informatique
Tremblement de terre	Accident de travail
Inondations	Transport de produits dangereux
Avalanches	Surcharge de poids, dépassement de hauteur
Feux de forêts/de broussailles	Accident d’avion, de train, de voiture, d’un bateau
Chute de pierres	Incendie
Tempête/forte précipitations	Accident industriels
Brouillard	Grèves
Eruption volcanique	Terrorisme/vandalisme
Sécheresse	Embouteillage

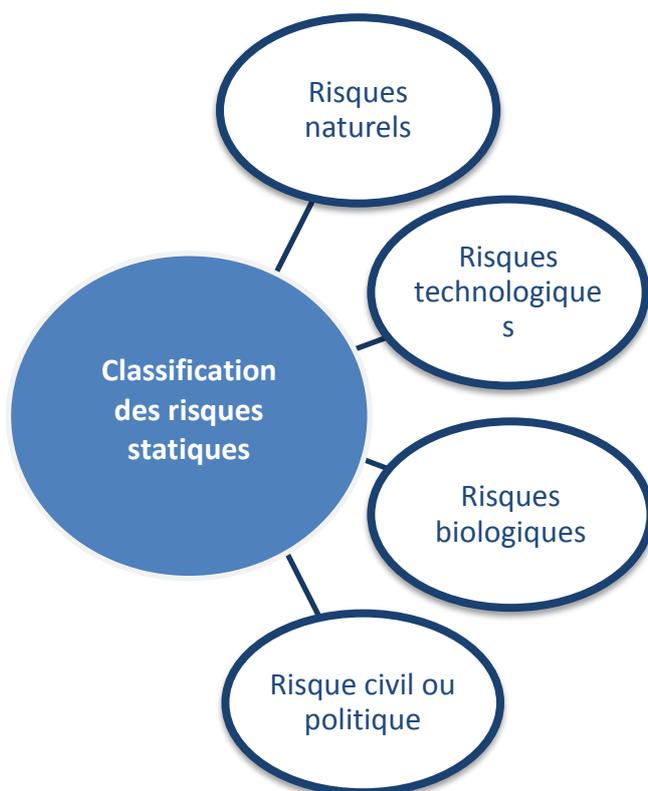


Figure 3.7 Classifications des risques statiques (AIPCR, 2010)

5. QUEL SONT LES RISQUES GEOTECHNIQUES QUI PEUVENT AFFECTER LE PROJET ROUTIER ?

Dans un projet de construction, le risque géotechnique est l'un des risques majeur. Mal ou tardivement estimé, il a un impact sur les coûts, les délais et peut porter sur la pérennité des ouvrages. Pour cela, Les études géotechniques pour la mise au point du projet et son exécution doivent être réalisées par des missions types d'ingénierie géotechniques définie par la norme AFNOR NF P 94 500 : 2006.

En effet les sols présentent toujours un risque pour tout projet de construction, donc une identification de ces risques est prioritaire pour le démarrage de projet.

5.1 Les mouvements de terrains

Les mouvements gravitaires de terrain sont des événements qui peuvent être très lents ou extrêmement rapides, plus ou moins spectaculaires, souvent dommageables et parfois dangereux, généralement regardés comme exceptionnels et isolés ; presque tous ne sont en réalité que des épisodes normaux de la phase externe d'un cycle géologique ou dus à des causes d'erreur humaine lors de projet de construction. Il s'en produit quotidiennement d'innombrables, un peu partout dans le monde ; toujours uniques, leurs localisations, leurs types, leurs évolutions et leurs effets sont extrêmement variés. Ils peuvent être subdivisés en deux catégories (figure 3.8) :

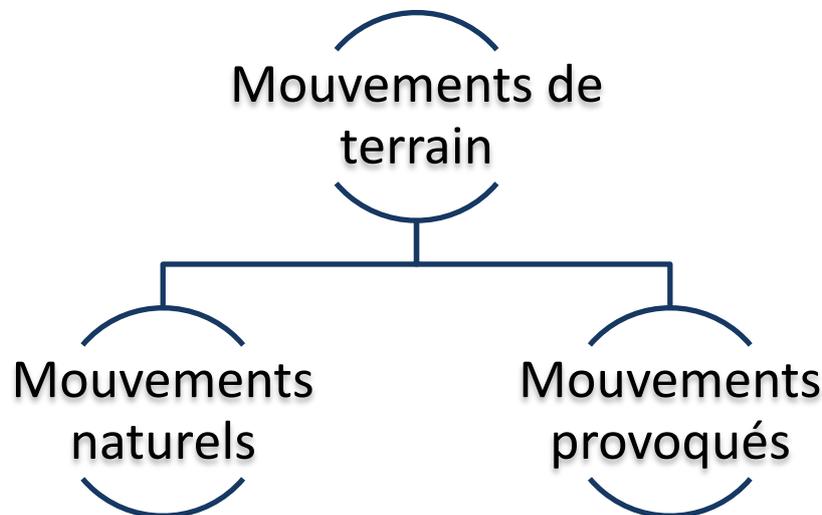


Figure 3.8 Catégorie de mouvements de terrain

Les mouvements naturels : sont ceux qui se créent naturellement, sans l'intervention humaine.

Les mouvements provoqués : sont dus à l'homme comment les constructions d'ouvrage ou le changement du relief naturel (déblais, remblais).

Pour se produire, un mouvement gravitaire de terrain doit être sollicité par une action extérieure initiale, naturelle ou artificielle, car il va affecter un massif rocheux et/ou sol meuble apparemment stable.

5.2. Classification des mouvements de terrain

Il existe presque autant de classements que d'auteurs, géologues, géomorphologues, géo mécaniciens, de lieux et de cas : trop subjective, la systématique des mouvements gravitaires de terrain est loin d'être fixée et ne le sera sans doute jamais (P. Martin, 2007).

En matière de risque naturel, on peut toutefois distinguer trois grands types génériques de mouvements gravitaires de terrain, naturels et/ou induits.

Le premier groupe concerne les déplacements obliques vers des surfaces libres inclinées, à partir de ruptures sur des surfaces prédéterminées par les structures ou créées par les contraintes ; ils affectent les pentes naturelles ou terrassées, écroulements, glissements, coulées, etc.

Le second groupe concerne les déplacements verticaux sans rupture des surfaces horizontales, qui correspondent à la consolidation de matériaux meubles, affaissements, éventuellement chargés par des ouvrages, tassements.

Le troisième est constitué par les effondrements de toits de cavités naturelles ou creusées qui sont des écroulements subverticaux aboutissant en surface à des cuvettes ou des fontis.

5.2.1 Mouvements de pente

Les mouvements de pente sont des déplacements obliques plus ou moins étendus et rapides, de matériaux généralement meubles, plastiques ou fragmentés constituant un versant, une falaise, une pente, un escarpement, un talus, etc. (P. Martin, 2007).

5.2.1.1 Causes des mouvements de pente

Ces mouvements ont des causes nombreuses, multiples et généralement liées pouvant avoir des causes hydrogéologiques (dont les effets peuvent être statiques ou dynamique), ou mécaniques. Elles peuvent être activées par un séisme, des précipitations excessives, une crue, une tempête, des ruptures de canalisations d'eau ou d'assainissement, un défaut de drainage, un dégel rapide, un terrassement mal étudié ou intempestif, une construction mal implantée ou mal conçue, un soutènement inadapté, etc.

L'eau tant superficielle que souterraine a toujours un rôle déterminant dans la plupart des mouvements de pentes ; elle agit par sa pression interstitielle, sa pression de courant, en altérant les matériaux qu'elle baigne, en facilitant le déblayage des débris, et en érodent les sols en pente.

Il est rare que la modification d'un seul facteur d'équilibre d'un massif provoque un mouvement de pente ; la plupart se produisent à la suite de changements hydrologiques, précédés de changements mécaniques. Ainsi, sauf imprudence caractérisée en cours de terrassement, qui reçoit presque à coup sûr une sanction quasi immédiate, la majeure partie des mouvements de pentes se produisent sur des versants peu stables ou des talus mal protégés, au cours d'afflux d'eau inhabituels, naturels ou provoqués. On a alors tendance à considérer l'eau comme seule cause du mouvement, alors qu'en fait, elle n'est souvent que le révélateur de l'instabilité latente du massif. Mais quoi qu'il en soit par ailleurs, le volet hydrogéologique de l'étude géotechnique et le volet drainage des travaux de prévention/protection sont donc essentiels (P. Martin, 2007).

La figure qui suit (figure 3.9) schématise synthétiquement l'ensemble des mouvements de pente qu'on peut trouver :

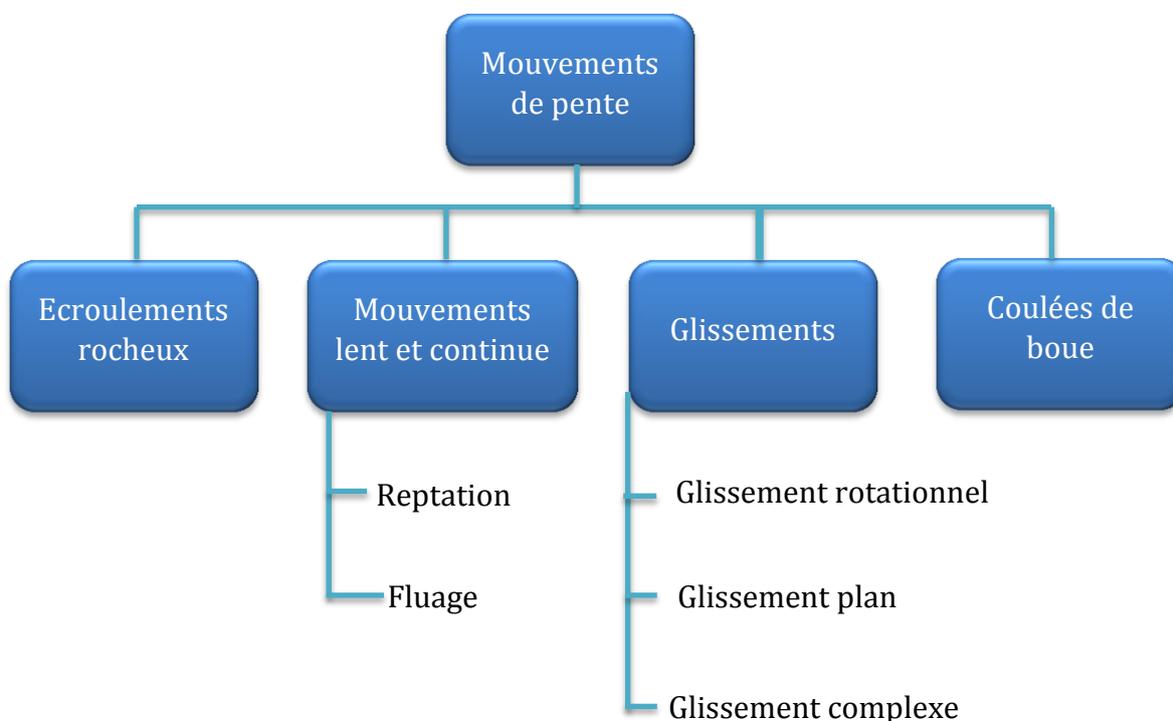


Figure 3.9 Types de mouvements de pente

5.2.1.2 Écroulements rocheux

Le versant à forte pente ou la falaise qui limite un massif de roche fissurée peut s'écrouler suivant divers processus généralement rapides et intermittents, enchaînés ou non, chutes de pierres et blocs, etc.

5.2.1.3 Mouvements lents et continus

Les mouvements lents et continus affectent soit la couverture meuble de talus, soit l'altérité et/ou le substratum plus ou moins décomprimé de versants montagneux, au fil

des années voire des siècles, ils peuvent demeurer lents et continus, accélérer puis ralentir, s'arrêter puis repartir, le volume instable peut augmenter ou diminuer ; par une lente accélération ou brusquement.

On peut les subdiviser en deux catégories :

Reptation

Dans ce premier cas, le mouvement affecte la couche superficielle peu épaisse de débris rocheux, dans une matrice argileuse plus ou moins humide mais non saturée, principalement dans des zones plus ou moins dénudées ou de prairies. Quand il y a des ouvrages dans de telles zones, ils subissent des dommages, généralement mineurs, que s'ils sont fragiles et/ou mal fondés ; il est donc facile de les conforter par des renforcements de structure et/ou des reprises en sous-œuvre qui ne sont jamais très difficiles.

Fluage

Dans ce deuxième cas, le mouvement affecte profondément une masse de matériaux divers, dont le volume peut atteindre des millions de mètres cubes ; il s'agit d'une déformation lente qui peut causer un glissement en cas d'une augmentation de la vitesse.

5.2.1.4 Glissements

Les glissements sont des phénomènes complexes, mouvements obliques qui affectent des pentes limitant des massifs plus ou moins structurés, constitués de matériaux meubles, plus ou moins argileux et sensibles à l'eau, dont la stabilité n'est qu'apparente. Ils sont généralement qualifiés de rapides ; effectivement, ils peuvent se produire brusquement, sans prévenir, pour qui n'y regarde pas de très près. Dans les régions au sous-sol argileux et à la surface accidentée, de nombreux coteaux glissent à peu près en même temps, après une longue période de stabilité apparente ; l'époque de ces glissements quasi simultanés, correspond toujours à une pluviosité, sinon exceptionnelle, du moins très forte et continue.

On distingue 3 types de glissements :

- Le glissement rotationnel est le cas d'école classique simplifié, sur lequel on suppose la surface de rupture circulaire. Ceci concerne surtout les terrains homogènes (remblais, digue de barrage, etc.)
- Les glissements plans se produisent généralement sur une surface structurale préexistante, plus ou moins plane, banc, faille, toit du substratum, etc. séparant une formation supérieure meuble, prédisposée à être instable, généralement aquifère, d'une formation inférieure compacte, stable, le plus souvent imperméable.
- Les glissements complexes qui regroupent tous les glissements autres que les précédents, c'est-à-dire une grande majorité de ceux qui se produisent dans la nature.

5.2.2 Mouvements verticaux

Les mouvements verticaux de terrain ont aussi des formes, des causes et des effets variés. Ceux qui dépriment plus ou moins la surface du sol sont des affaissements ; ceux qui la trouent sont des effondrements.

La figure qui suit (Figure 3.10) schématise synthétiquement l'ensemble des mouvements verticaux rencontrés :

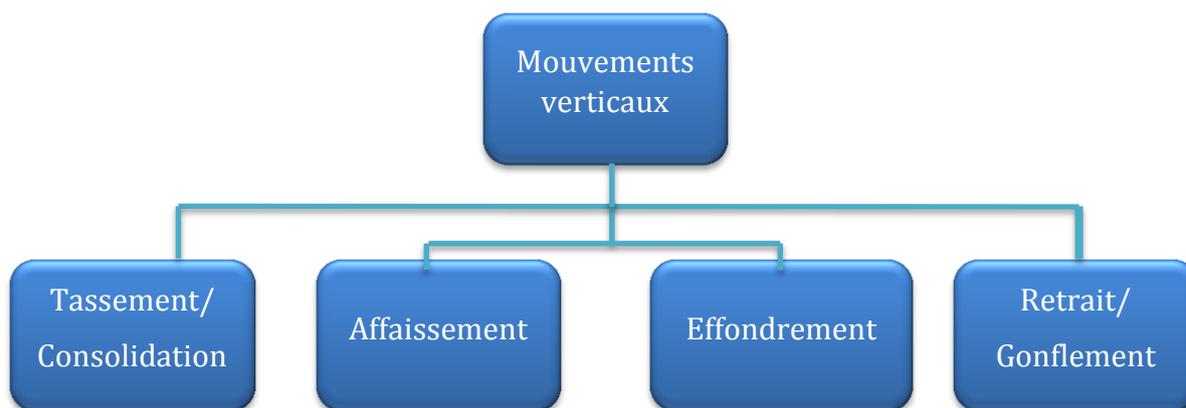


Figure 3.10 Types de mouvements verticaux

5.2.2.1 Affaissements

Les affaissements sont des mouvements verticaux de terrain qui abaissent lentement et sans rupture, la surface du sol ; ils produisent des cuvettes et dépressions parfois très vastes et des tassements d'ouvrages. Les effondrements de cavités profondes comme les mines peuvent produire de vastes zones d'affaissements en surface. Les mouvements provoqués par le dégel ou la sécheresse sont des cas particuliers plus limités mais néanmoins souvent dommageables.

5.2.2.2 Effondrements

Les effondrements sont des écroulements subverticaux entraînés par des ruptures brusques de toits de cavités naturelles résultant de dissolutions de roches, calcaire ou gypse, ou creusées, tunnels, carrières souterraines ou mines ; souvent limités par des fractures coniques, ils aboutissent en surface à des dépressions, des cuvettes, des avens, des gouffres ou des fontis, après s'être propagés à travers toutes sortes de matériaux, entre la cavité et le sol, en les fracturant et en les faisant foisonner. Ils peuvent être dangereux dans les zones urbaines denses, et c'est malheureusement là que le risque qu'il s'en produise est le plus grand.

5.2.2.3 Retrait-gonflement

Les phénomènes de retrait-gonflement de certains sols sédimentaires sont des mouvements de terrain lent et continu. Ce phénomène, qui est prépondérant dans les matériaux argileux, dépend des caractéristiques minéralogiques des minéraux argileux et se déclenche lorsque leur teneur en eau se modifie. Ce phénomène peut s'exprimer soit par une augmentation de volume, soit par une réduction de volume (J. Wakim, 2005).

5.3 Erreurs et incertitudes sur les sols

5.3.1 Les erreurs d'observation

On distingue trois types d'erreurs d'observation (J.L. Favre, 2004) :

5.3.1.1 Les erreurs de mesure proprement dites

Avec les progrès de la métrologie, on a considérablement réduit les erreurs d'imprécision et avec l'acquisition automatique, les erreurs d'opérateur (encore faut-il avoir fait un étalonnage et un tarage corrects). Mais il reste les erreurs de reproductibilité liées au caractère destructif de la plupart des essais de géotechnique et les erreurs d'opérateur liées à la difficulté de certains essais (le triaxial, le pressiomètre, qualité du trou, etc.).

Enfin, chaque essai représentant le « coup de main » de l'opérateur, on constate des différences systématiques plus ou moins grandes d'un laboratoire ou d'un bureau de reconnaissance à l'autre.

5.3.1.2 Les erreurs de représentativité

Elles proviennent de la transformation de la mesure physique. On ne mesure guère directement que des longueurs, des masses et des températures et la plupart des appareils sont basés sur des mesures de déplacement. Il faut donc transformer la mesure. On procède alors à un étalonnage de l'appareil et à son tarage.

5.3.1.3 Les erreurs de l'instant

Elles proviennent de la variation de la propriété entre le moment où on la mesure et le moment où le matériau est mis en œuvre. Le cas typique est celui des propriétés du béton. Pour les sols, le remaniement relève de ce type d'erreur en particulier pour tous les essais mécaniques de laboratoire et pour l'essai pressiométrique.

5.3.2 Les erreurs d'enquête

5.3.2.1 Les erreurs d'enquête proprement dit

Ce sont les erreurs liées à une mauvaise conduite des reconnaissances. C'est-à-dire que les mesures effectuées ne sont pas représentatives du problème, par exemple, ne pas reconnaître un remblai récent au droit de chaque appui qui le sollicite, un remblai ancien en biseau pouvant exister sous certains appuis, ou bien reconnaître à moins de 1,5 à 2 fois sa largeur sous une fondation, ignorant ainsi une couche faible qui peut piloter les tassements (J.L. Favre 2004).

5.3.2.2 Les erreurs d'échantillonnage

Les erreurs d'échantillonnage découlent du fait que les inférences que l'on tire au sujet de l'ensemble de la population à partir de l'enquête sont fondées sur l'information que l'on a recueillie auprès d'un échantillon de la population et non pas auprès de toute la population. Outre le plan de sondage et la méthode d'estimation, la taille d'échantillon ainsi que la variabilité de chaque caractéristique sont des facteurs déterminants de l'erreur d'échantillonnage. Les caractéristiques qui sont rares ou qui sont distribuées de façon très différente dans la population auront une erreur d'échantillonnage plus grande que les caractéristiques qu'on observe plus fréquemment ou qui sont plus homogènes dans la population (J.L. Favre 2004).

5.3.2.3 L'erreur humaine

En France, une étude sur les sinistres de construction expertisés par le bureau Veritas (société de services d'évaluation, de conformité et de certification appliqués aux domaines de la qualité), a montré que 82% des désordres résultent d'une méconnaissance des sols. Dans la quasi-totalité des cas, les sinistres mettant en cause le terrain proviennent beaucoup plus de l'ignorance du comportement des sols, de l'absence de reconnaissances, d'erreurs de conception, que des incertitudes inhérentes aux paramètres mécaniques eux-mêmes. On entend souvent l'expression de « vice géotechnique », mais le sol n'est pas vicieux par nature. C'est la méconnaissance de ses propriétés, soit par incompetence, soit par souci d'économie, soit parfois parce que les variations locales sont inattendues, qui le fait apparaître ainsi (J.L. Favre 2004).

Les accidents peuvent résulter de risques assumés consciemment (25% des cas, correspondant à des niveaux de protection que l'on accepte, soit parce que l'élimination de ces risques est techniquement impossible, soit parce qu'elle n'est pas viable économiquement ou d'erreurs humaines (75 % des cas) (J.L. Favre, 2004).

Trois familles de raisons expliquent la majorité des défaillances :

- Le manque de coordination entre spécialistes de différents champs disciplinaires,
- Le manque de communication entre concepteurs, constructeurs et clients,
- L'incapacité à résister de façon optimale aux pressions (on peut qualifier de pression l'environnement économique, social, politique, etc.).

Réduire de façon significative la fréquence et l'importance des défaillances requiert donc d'identifier, de maîtriser et de s'efforcer de réduire les risques liés aux facteurs humains.

5.3.3. L'importance de la qualité au laboratoire et la norme ISO 17025 : 2005

Le laboratoire est un système complexe, impliquant beaucoup d'étapes dans la réalisation des activités ainsi qu'un grand nombre de personnes. La complexité du système exige que tous les processus et procédures soient exécutés correctement. Par conséquent, un modèle de système de gestion de la qualité englobant le système dans son ensemble est primordial afin d'assurer un bon fonctionnement du laboratoire.

L'objectif de la norme ISO 17025 :2005 est de reconnaître qu'un laboratoire est compétent et fiable pour effectuer des étalonnages ou essais définis dans un programme et que l'on peut avoir confiance dans les résultats fournis. La norme ISO 17025 :2005 spécifie les exigences de qualité et de compétence propres aux laboratoires d'étalonnages et d'essais. Elle comprend deux grandes parties:

- Une partie qui intègre les exigences relatives au management du laboratoire. Cette partie est souvent appelée « partie qualité » ;
- Une partie « Exigences techniques » qui correspond au cœur de métier. C'est entre autre sur elle que se fonde l'aptitude technique du laboratoire.

Un laboratoire conforme aux exigences de la norme ISO17025 :2005, satisfait donc à la fois :

- Aux exigences techniques pour les essais ou étalonnages qu'il met en œuvre. ;
- Aux exigences relatives à son système de management.

Les deux sont nécessaires pour assurer des résultats d'essais ou d'étalonnage valides, des prestations conformes à leurs besoins et que le laboratoire est inscrit dans une véritable dynamique d'amélioration continue.

L'accréditation s'appuie sur un référentiel normatif définissant des exigences en termes de système qualité et de compétence technique. Un laboratoire doit s'engager dans la démarche d'accréditation au sens de la norme ISO 17025 :2005 pour assurer la constance des équipements utilisés sur le site ou dans les laboratoires, assurer une fiabilité des mesures et atténuer les risques liés aux mesures et incertitudes.

La norme ISO 17025 : 2005 permet en grande partie de minimiser les erreurs et incertitude de mesure ainsi que les risques les afférant.

5.4 Risques anthropiques

Il s'agit d'un autre facteur de déclenchement, qui n'est pas lié à un phénomène naturel imprévisible, mais à une action humaine. En effet, certaines modifications apportées par l'homme pendant les travaux de construction d'infrastructures routières suffisent à déclencher des mouvements de terrain.

Il peut s'agir :

- Des terrassements en déblais ou remblais qui modifient la topographie initiale et les équilibres de masse (compactage, cohésion, drainage des eaux, etc.) ;
- La création de fossés avec une concentration des écoulements et s'ils sont profonds, modification des pentes naturelles ;
- La création de surcharges en sommet d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice ;
- La modification de la pente du versant, les fouilles et affouillements au pied du versant, le déboisement du site, etc. ;
- La modification de la répartition des écoulements superficiels et souterrains de l'eau ;
- Le rejet ponctuel d'eau.

5.5 Dégradation des chaussées

Le schéma qui suit nous montre les principales dégradations de chaussée rencontrées (figure 3.11) :

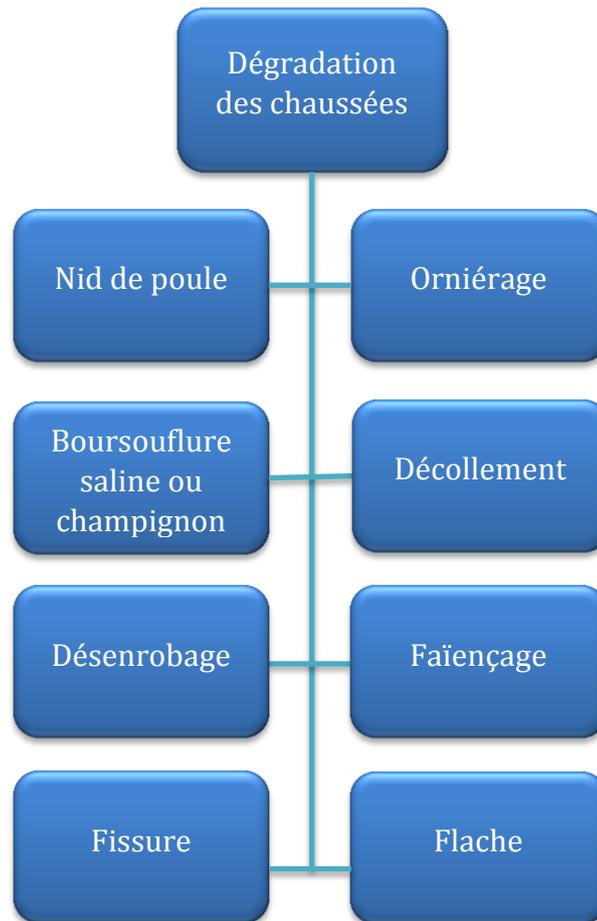


Figure 3.11 Principales dégradations de chaussée

- ❖ **Nid de poule** : cavité de forme arrondie, à bords francs, créée à la surface de la chaussée par enlèvement des matériaux ;
- ❖ **Orniérage** : déformation permanente longitudinale qui se développe sous passage des roues ;
- ❖ **Boursouffure saline ou champignon** : en climat désertique, renflement et soulèvement de la couche de roulement suite à la cristallisation de sel sous forme de cristaux fibreux entre la couche de roulement ;
- ❖ **Décollement** : rupture de l'adhésion entre revêtement et corps de chaussée ;
- ❖ **Désenrobage** : enlèvement de la pellicule de liant enveloppant partiellement ou totalement les granulats
- ❖ **Faïençage** : cassure en mailles du revêtement ;
- ❖ **Fissure** : cassure du revêtement suivant une ligne avec ou sans rupture du corps de chaussée ;
- ❖ **Flache** : dépression de formes arrondie.

6. Conclusion

En fin de ce chapitre, on peut conclure que les projets routiers sont sujets à des risques géotechniques multiples tout au long de leur cycle de vie.

Il n'existe pas de bon ou de mauvais sol ; ce sont les interactions entre le sol et l'ouvrage qui définissent un contexte, et un risque. Il faut savoir faire appel à des disciplines connexes pour améliorer les connaissances et réduire les aléas. Ainsi, il faut avant toute chose faire l'état des lieux, identifier et mesurer la non-conformité, pour définir les axes d'amélioration. Il nous faut donc « prendre connaissance » de notre système, qui pose problème, ou qui peut être sujet à amélioration.

La sensibilité des ouvrages géotechniques notamment les routes vis-à-vis des incertitudes et variabilités géotechniques, deviennent de plus en plus complexes. Et donc, l'obtention d'une route conforme aux exigences de réalisation routière repose sur des études géotechniques dès le début de la conception conformément à la norme NFP 94 500 : 2006.

Aussi, les risques sont liés aux mesures et incertitudes in-situ et/ou laboratoire dus à la variabilité intrinsèque des caractéristiques des matériaux et milieux naturels étudiés, et aux appareils de mesure, voire aux facteurs humains. Donc pour la maîtrise de ces risques liés aux mesures et incertitudes, les campagnes géotechniques doivent être accréditées par la norme ISO 17025 : 2005 afin de limiter ces risques en assurant la fiabilité des mesures.

CHAPITRE 04

« RIEN N'EST INEVITABLE
JUSQU'A CE QUE CELA ARRIVE »

A.J.P. TAYLOR

Chapitre 4

MISE EN ŒUVRE DES OUTILS DE MAITRISE DES RISQUES

1. INTRODUCTION

Les projets de route comportent plusieurs risques géotechniques. Ils ne peuvent être totalement évités, mais il est possible de diminuer leur probabilité d'apparition et/ou leur gravité. Ceci passe par des mesures préventives et/ou de protections pensées bien avant le déclenchement de l'événement à risque, et mises en place avant, lors et après le risque survenu.

Ainsi, l'organisation doit mettre en œuvre une démarche de management des risques pour l'identification, l'évaluation et le contrôle des défaillances et pour gérer la survenance d'événements perturbateurs en vue d'atteindre les objectifs du projet. A partir de là, les méthodes et outils cités précédemment font leur apparition.

L'objectif ce chapitre, serait de voir si MADS-MOSAR et les outils du précédent chapitre sont adaptables à la construction. Pour cela, on commencera par décomposer notre projet de route en sous-systèmes source de danger, puis d'utiliser la synthèse des risques géotechniques faite précédemment pour commencer les étapes de la méthode

MOSAR. Par la suite, les outils de maîtrise des risques viendront se greffer, au fur et à mesure de l'avancement, sur les 10 étapes de la méthode.

2. APPLICATION DE M.O.S.A.R DANS UN PROJET ROUTIER

Le système étudié sera la bretelle principale A sur une longueur 4km qui relie la ville de Tlemcen à l'autoroute est-ouest du PK 0.00 au PK 68-350 dans le cadre du projet de contournement de la ville de Tlemcen, La bretelle est composée d'une chaussée de 2x3.5m et d'accotements de 2x1.3m. L'application de la méthode se focalisera essentiellement sur la phase étude/réalisation.

L'application va concerner les dix étapes de la méthode MOSAR seul, car elle est jugée plus facilement adaptable par son formalisme de deux modules (A et B) ; la méthodologie MADS s'appliquera dans ce cas, principalement au module A.

2.1 Décomposition du système étudié et des systèmes environnement et opérateurs en sous-systèmes

Il existe plusieurs manières de décomposer une installation en sous-systèmes:

- Décomposition hiérarchique en fonction des relations des éléments entre eux ;
- Décomposition topologique en fonction de la position des éléments dans l'espace ;
- Décomposition fonctionnelle de par la situation des éléments de l'installation dans la chaîne de fonctionnement de cette dernière.

La décomposition du système étudié en sous-systèmes n'est pas obligatoire. Il existe des installations pour lesquelles une telle décomposition n'a pas d'intérêt, voire est impossible. (P. Perilhon 2012).

Dans notre cas, il ne s'agit pas d'installation industrielle mais de projet de construction, ceci conduit à 5 sous-systèmes source de danger (voir figure 4.1)

- SS1 – La chaussée ;
- SS2 – Les équipements de la route ;
- SS3 – Engins ;
- SS4 – L'environnement ;
- SS5 – La ressource humaine ;

En ce qui concerne l'environnement on considère que celui-ci est constitué d'un ensemble emboîté (environnement spécifique, environnement proche (ville, campagne), environnement lointain (Wilaya, régional)). On va s'intéresser qu'à l'environnement spécifique lié directement au projet.

Il est utile de préciser que la ressource humaine n'est pas un sous-système, cela dit dans la méthode MOSAR on prend des sous-systèmes source de danger pour la réalisation de la route et donc le facteur humain en fait partie.

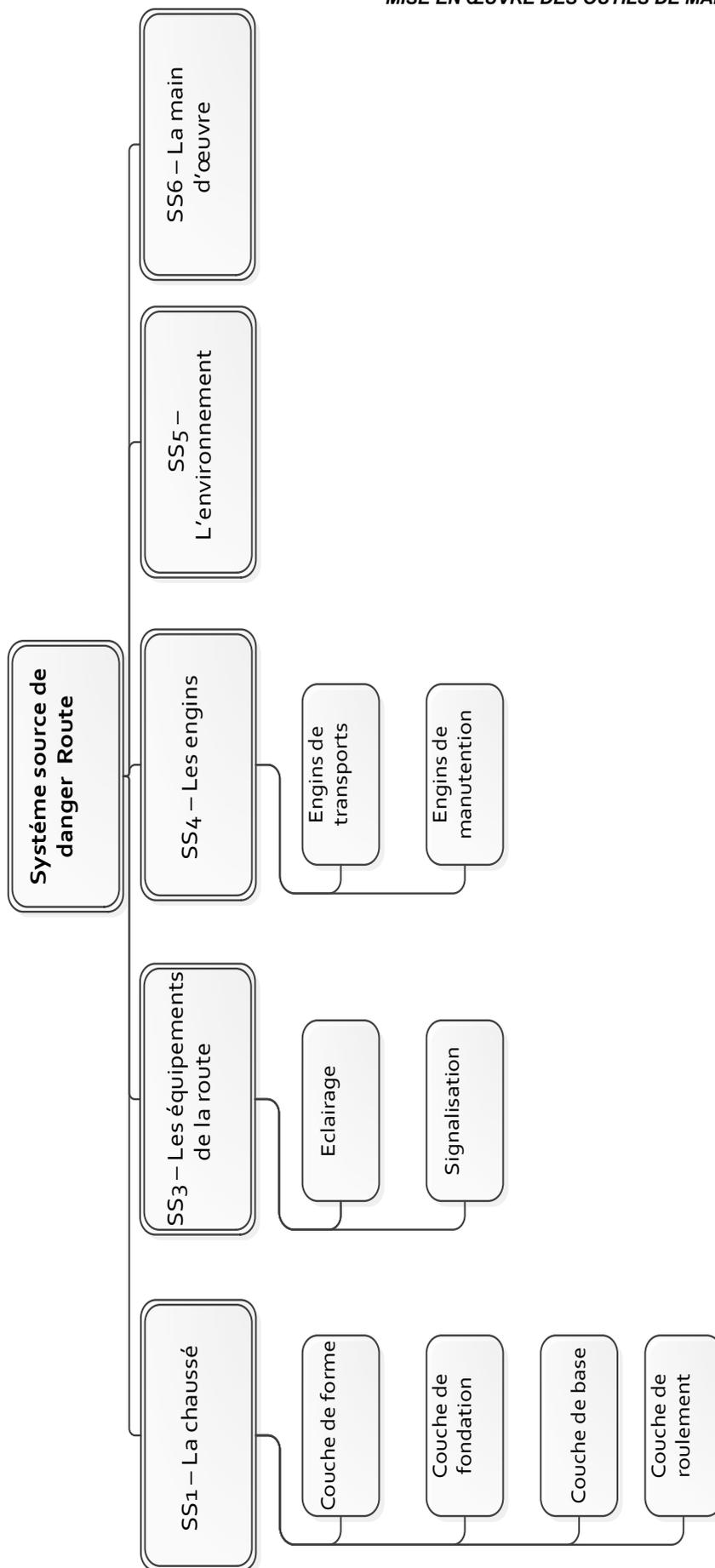


Figure 4.1 : Décompositions du système route en 5 sous-système source de danger

2.2 Le module A de la méthode et ses cinq étapes

2.2.1 Etape1 : Identification des sources et des processus de danger

Il s'agit d'identifier en quoi chaque sous-système peut être source de danger. Pour effectuer ce travail, on lie chaque sous-système à travers la grille de typologie des systèmes sources de danger (P. Perilhon 2012). Cette grille est adaptée pour les systèmes sources de danger dans la fabrication, le stockage, le transport de matière, d'énergie et d'information. On va donc essayer de recréer une grille spécifique au danger lié à la construction et plus particulièrement au projet routier (tableau 4.1). En faisant cette identification pour tous les sous-systèmes, on obtient donc une liste exhaustive des dangers du projet.

L'identification des processus de danger se fait ligne par ligne en recherchant les événements qui constituent les processus de danger. On utilise les tableaux ci-dessous en commençant par la colonne des événements initiaux. Ces derniers peuvent provenir soit du contenant, c'est-à-dire de l'enveloppe du système source, soit de son contenu.

On recherche ensuite les événements initiateurs qui peuvent engendrer les événements initiaux et on les note dans la colonne correspondante des tableaux. Ces événements peuvent être d'origine interne ou externe au système source de danger.

La chaîne événements initiateurs–événements initiaux génère des événements principaux que l'on note dans la dernière colonne à droite.

La colonne phases de vie permet de préciser certains dangers. Il est donc possible de faire l'analyse soit phase par phase, soit en cherchant à identifier les principaux dangers apparaissant dans les différentes phases.

Cette première étape va nous donner 5 tableaux correspondant au sous-système source de danger de la figure 4.1 (voir les tableaux 4.A)

Tableau 4.1 Systèmes sources de danger dans la construction

A - Systèmes sources de dangers d'origine mécanique	A - 1. Systèmes sources de chute de hauteur (éléments en hauteur et accès en hauteur) A - 2. Systèmes sources de chute de plain-pied (encombrement au sol, dénivellations...) A - 3. Autres systèmes sources de blessures (objets coupants, piquants, etc.) A - 4. Système source de danger lié au dysfonctionnement des engins
B - Systèmes sources de danger de nature biologique	B - 1. Systèmes sources de dangers liés au comportement humain ; B - 2. Systèmes sources de dangers liés aux micro-organismes (virus, bactéries).
C - Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif	C - 1. Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif artificiel • Barrages ; • Ponts ; • Tunnel. C - 2. Systèmes sources de danger d'origine naturelle • Géologiques (séismes, mouvements de terrain, volcanisme) • Climatiques (avalanches, tempêtes, cyclones, tornades, ouragans, coups de vent, brouillard, sécheresse, inondations, feux de forêts, foudre, gel, irradiation solaire)
D - Systèmes sources de dangers liés à l'étude de l'ouvrage	D - 1. Systèmes sources de dangers liés aux erreurs de calculs D - 2. Systèmes sources de dangers liés aux erreurs d'interprétations des résultats.
E- Systèmes sources de dangers liés à la réalisation de l'ouvrage	E - 1. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de terrassement E - 2. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de compactage E - 3. Systèmes sources de dangers liés aux travaux de nivellements
F - Systèmes sources de dangers des équipements de la route	• Systèmes sources de dangers des équipements de la route (signalisation, éclairage, etc.)
G - Systèmes sources de danger d'origine économique et sociale	• Finances ; • Conflits ; • Sabotage/ terrorisme ; • Grèves.

Tableau 4.A1 : établissement des processus de danger du sous-système chaussée

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
Système source de danger (c.f Tableau 4.1)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
C.2	<ul style="list-style-type: none"> - Couche de forme - Couche de fondation - Couche de base - Couche de roulement 	Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilité du sol - Les massifs avoisinant sont instable - Forte pluviométrie 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais compactage des couches ; - Nivellement mal fait. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mouvements de terrains - Inondation de la chaussée - Séisme 		<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de chantier Glissement de terrain Eboulement rocheux
E.1	Couche de forme	Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> - Incompétence de la main d'œuvre - Mauvaise maintenance de l'engin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur humaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Disfonctionnement d'engins 		<ul style="list-style-type: none"> Tassement; Retrait/Gonfl ement
E.2	Couches de fondation, de base, de liaison et de roulement	Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> - Incompétence de la main d'œuvre - Mauvaise maintenance de l'engin 	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur humaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Disfonctionnement d'engins 		<ul style="list-style-type: none"> Tassement ; Retrait/Gonfl ement Fissuration de la chaussée
E.3	<ul style="list-style-type: none"> - Couche de forme - Couche de fondation - Couche de base - Couche de roulement 	Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> - Incompétence de la main d'œuvre - Mauvaise maintenance de l'engin 	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur humaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Disfonctionnement d'engins 		<ul style="list-style-type: none"> Décollement de la chaussée Nid de poule

Tableau 4.A2 : établissement des processus de danger du sous-système équipements de la route

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
Système source de danger (c.f Tableau 4.1)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
A.1	Equipements de signalisation en hauteur	Réalisation	- Mauvais assemblage. Au niveau de la base	- Equipement en mauvaise état a la livraison sur chantier	- Choc - Corrosion		Chute des panneaux en hauteur Détérioration (panneau invisible)
F	Signalisation	Réalisation	- Personnel non qualifié	- Equipement en mauvaise état a la livraison sur chantier	- Dégradation des équipements ; - Mauvaise installation de l'équipement.		

Tableau 4.A3 : établissement des processus de danger du sous-système Engins

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
Système source de danger (c.f Tableau 4.1)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
A.2	Engins et mains d'œuvres	Réalisation	- Mauvaise organisation de chantier.		- Encombrement au sol		Renversement de l'engin.
A.4	Engins	Réalisation		- Pas de maintenance de l'engin.	- Engins ne démarre pas ;		Panne de l'engin.
B.1	Conducteur d'engins	Réalisation	- Conducteur incompetent.	- Fatigue ; - Stress ;			Accidents ; Blessures ; Destruction du matériel.
G	Engins et mains d'œuvres	Réalisation			- Sabotage ;	- Conflit ; - Finances	Arrêt de chantier

Tableau 4.A4 : établissement des processus de danger du sous-système Environnement

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
Système source de danger (c.f Tableau 4.1)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
C.1	La route	Réalisation	- Forte pluviométrie -		- Inondation - Affaissement - Mouvement de pente		Arrêt de chantier Eboulement
C.2	le terrain avoisinant	Réalisation	- Massif instable - Forte pluviométrie	- Sol instable	- Mouvements de terrains - Inondation - Séisme		Glissement de terrain Arrêt de chantier

Tableau 4.A5 : établissement des processus de danger du sous-système ressource humaine

Types de systèmes sources de danger Application de la grille		Phases de vie	Événements initiateurs		Événements initiaux		Événements principaux
Système source de danger (c.f tableau 4.1)	Cible des systèmes sources de danger		Externes (environnement actif)	Internes	Liés au contenant (Externes)	Liés au contenu (Internes)	
A.1	Manœuvre	Réalisation	- Maladresse - Pression - Absence de consignes	- Fatigue	- Inconscience		- Blessure
A.2	Manœuvre	Réalisation	- Maladresse - Mauvaise organisation de chantier - Absence de consignes - Pression	- Fatigue	- Inconscience		- Geste maladroit - Blessure
A.3	Manœuvre	Réalisation	- Maladresse - Pression	- Fatigue	- Inconscience		- Blessure
B	Manœuvre	Réalisation	- Conflits - Incompétence - Pression		- Manœuvre non formé		- Action non conforme - Geste maladroit
D.1	Ingénieurs	Etude	- Incompétence - Essaie géotechnique mal fait	- Erreur humaine.	- Inconscience		- Erreur dans les calculs de l'ouvrage
D.2	Ingénieurs	Etude/ Réalisation	- Incompétence - Mauvaise interprétation des résultats du laboratoire	- Erreur humaine.	- Inconscience		- Erreur dans la réalisation - Construction non conforme
G	Mains d'œuvre	Réalisation	- Conflits ; - Sabotage.		- Grèves		- Arrêt de chantier

2.2.2 Etape2 : Identification des scénarios de danger

Dans le domaine de la construction, notamment celles présentant des risques de nature géotechnique, on admet que les scénarios d'accidents majeurs sont connus notamment grâce au retour d'expérience. Quelques exemples peuvent être cités:

- Glissement de terrain ;
- Eboulement rocheux ;
- Tassement;
- Retrait/Gonflement.

Il est intéressant, voire indispensable de pouvoir générer des scénarios d'accidents possibles [ou plus généralement des scénarios d'événement non souhaité(ENS)] et notamment de faire apparaître les principaux (P. Perilhon 2012). Ceci permet en effet :

- De démontrer leur genèse ;
- D'identifier leurs multiples variantes ;
- D'identifier des scénarios insoupçonnés ;
- D'en faire par la suite l'ossature des arbres logiques montrant l'enchaînement de tous les événements conduisant à un ENS.

La technique développée ci-après permet de faire ce travail.

2.2.2.1 Mettre chaque sous-système sous forme d'une boîte noire

En reprenant chaque sous-système dans les tableaux 4.A, on les représente sous forme de boîtes noires dont les entrées sont les événements initiateurs d'origine interne ou externe et les sorties sont les événements principaux. Ce travail est une simple compilation des tableaux 4.A colonne 3 et dernière colonne à droite.

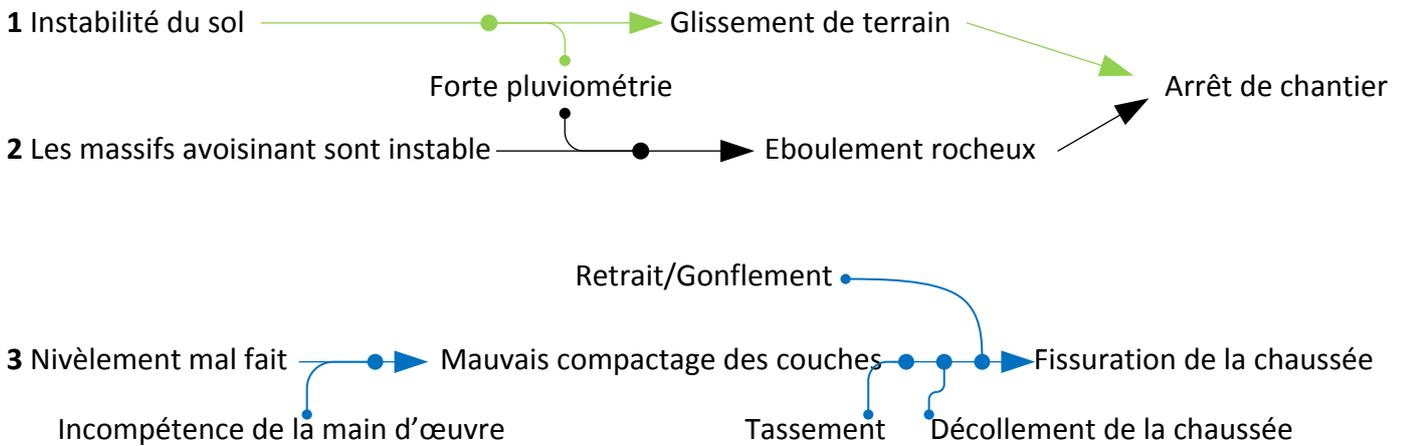
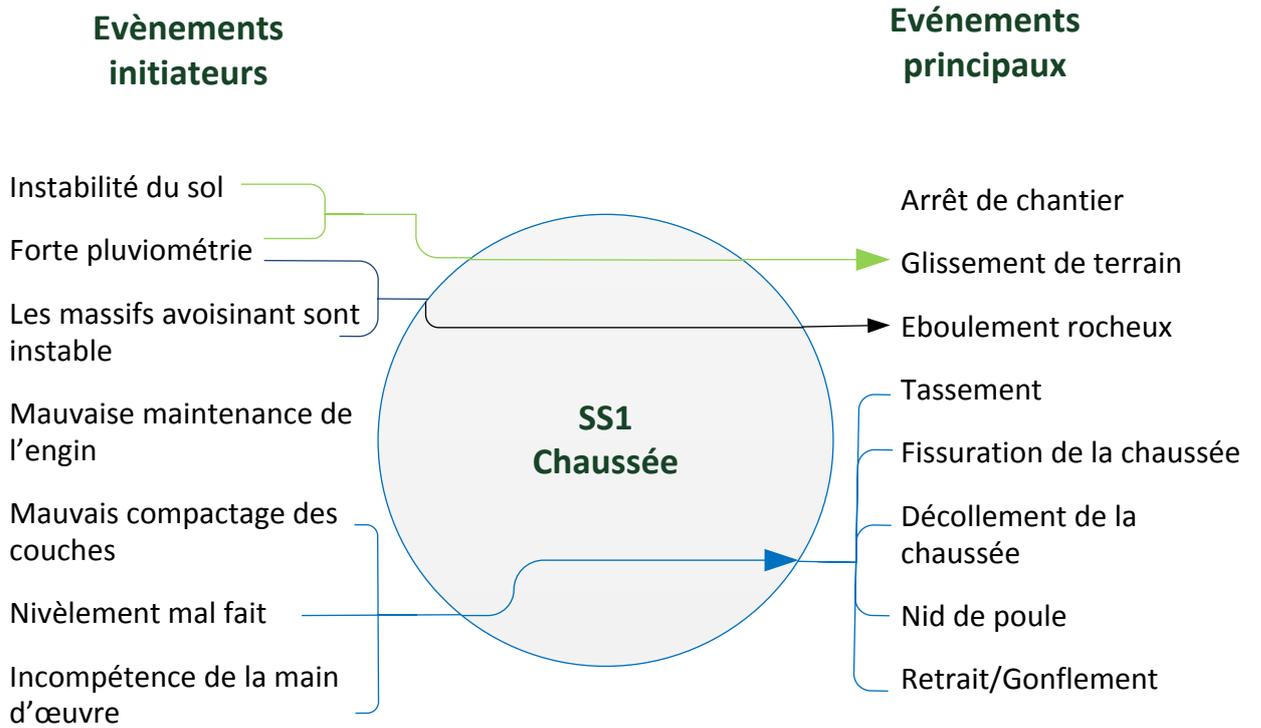
2.2.2.2 Génération de scénarios courts et de scénarios d'autodestruction

Pour l'instant nous n'avons, dans la génération de processus des tableaux 4.A, fait apparaître que des liaisons directes entre les événements d'entrée et de sortie des boîtes noires. Il faut maintenant combiner les événements d'entrée entre eux, les événements de sortie entre eux et identifier les retours en bouclage des événements de sortie et des événements d'entrée.

Les deux premières opérations mettent en évidence des scénarios courts et la dernière des scénarios qui entraînent une autodestruction du sous-système.

N.B : Pour éviter de se perdre très rapidement dans un fouillis de flèches et par soucis de visibilité, il est nécessaire d'écrire les scénarios au fur et à mesure qu'ils sont construits ainsi que de mettre chaque scénario par couleur.

Les figures qui suivent (figure 4.2 à 4.6) schématisent les processus des boites noirs ainsi que la genèse des scénarios court et d'autodestruction.



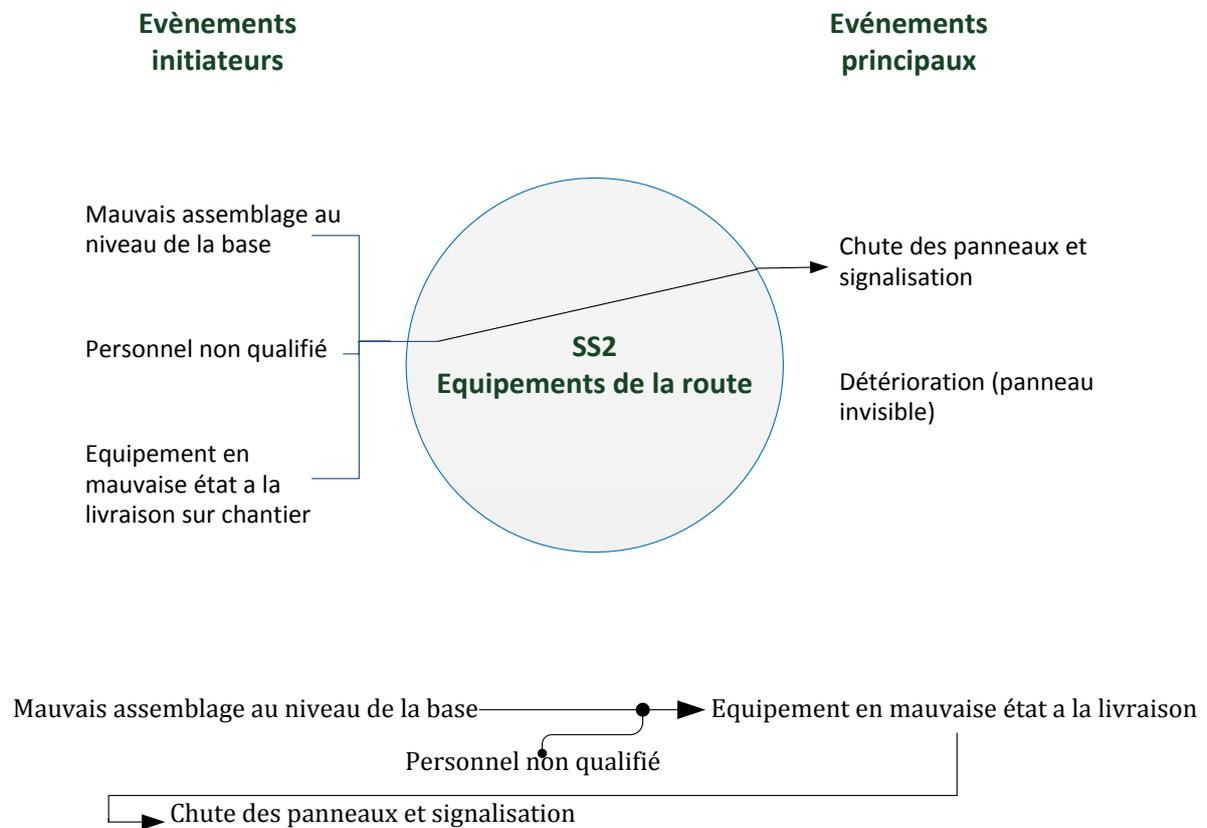


Figure 4.3 Scénario court du SS2 équipements de la route

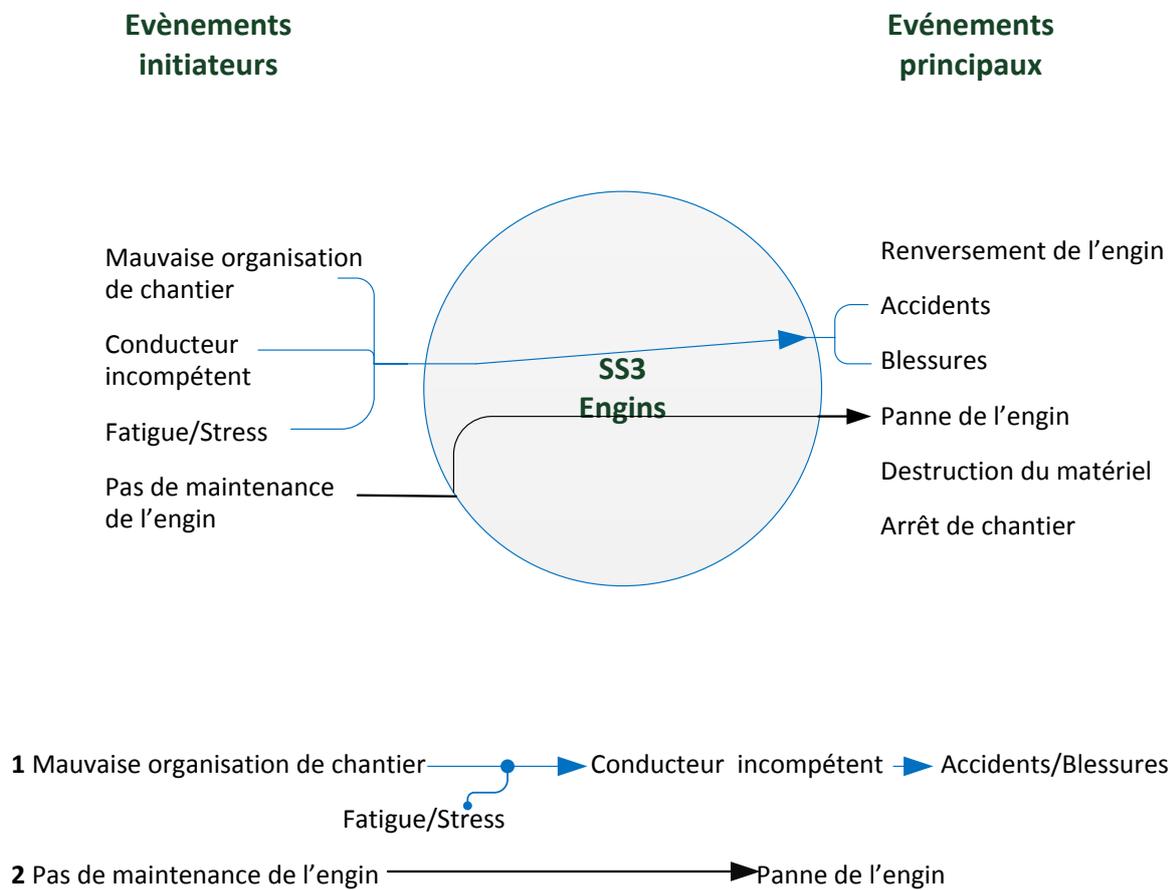


Figure 4.4 Scénario court du SS3 Engines

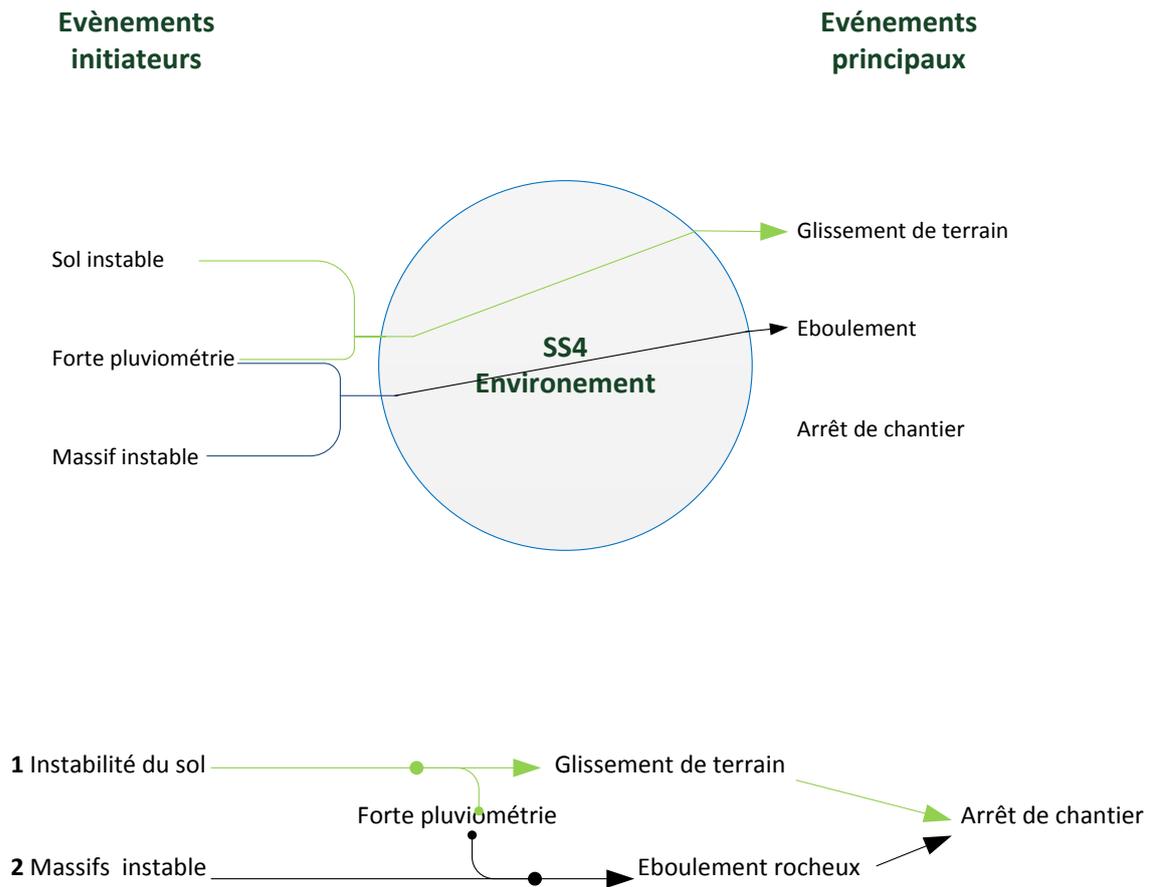


Figure 4.5 Scénario court du SS4 Environnement

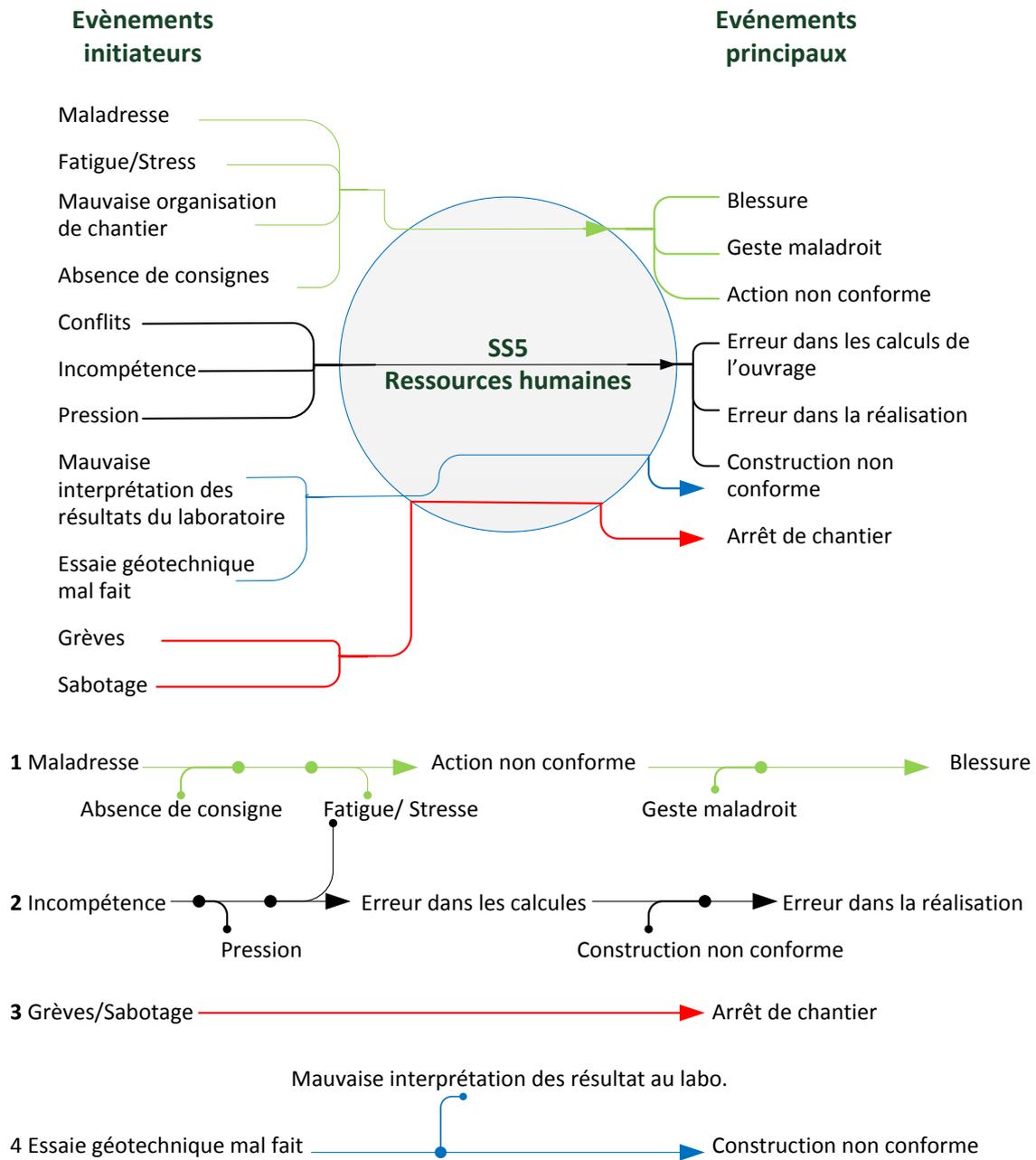


Figure 4.6 Scénario court du SS5 Ressources humaines

2.2.2.3 Génération et validation de scénarios longs, construction d'arbres logiques sur les accidents principaux identifiés

Si l'on met toutes les boîtes noires sur une même page, il est possible de relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature (repérées en principe par les mêmes mots) que les entrées d'autres boîtes (voir Figure 4.7). On obtient ainsi des scénarios longs d'enchaînements d'événements ou scénarios de proximité ou aussi scénarios principaux d'ENS (accidents) (P. Perilhon 2012).

À partir des scénarios longs et des scénarios courts on peut construire, en les rassemblant sur un même événement, un arbre logique qui est la première représentation des événements s'enchaînant pour générer un ENS. Pour notre système route on rassemble les scénarios longs et courts qui conduisent aux scénarios créés précédemment ; les arbres logiques vont comprendre chacun, ces trois principaux événements (figure 4.8 à 4.10) :

- Arrêt de chantier ;
- Dégradation de la route ;
- Accident/Blessure.

Par exemple pour « dégradation de la route », on retient :

- Le scénario long S1 ;
- Le scénario court S3 issue du système source de danger chaussée ;
- Le scénario court S3 issue du système source de danger environnement ;
- Le scénario court S2 issue du système source de danger ressources humaines.

Le principe sera le même pour tous les autres événements.

Remarques

L'événement initiateur considéré peut conduire à plusieurs, voire à une multitude de processus. On est donc placé devant l'incertitude et la difficulté de prévisibilité des risques. Nous pouvons distinguer l'incertitude paramétrique liée à une imprécision des paramètres des processus, et l'incertitude systémique liée à l'identification des processus possibles et à l'ambiguïté des enchaînements et des combinaisons possibles de ces processus.

Le nombre de scénarios construits avec les boîtes noires n'est pas infini mais il peut être très grand. Pour éviter une explosion combinatoire et guider le travail on peut choisir les événements majeurs qui apparaissent à la sortie des boîtes noires en tant qu'événements principaux, et rechercher quels sont les scénarios qui aboutissent à ces événements. On raisonne alors par déduction.

On obtient des scénarios plausibles, pour décider s'ils sont possibles il est nécessaire de vérifier si les enchaînements sont possibles. Pour cela il faut évaluer quantitativement ou qualitativement les distances qui peuvent être franchies par les événements, les impacts entre les sous-systèmes et leurs effets. Ceci fait appel à l'évaluation des scénarios que nous verrons plus en détail au paragraphe suivant (etape3). Il faut aussi évaluer si la probabilité des enchaînements d'événements est possible. Cependant il faut se méfier des scénarios qui pourraient apparaître comme fantasques parce que très peu probables.

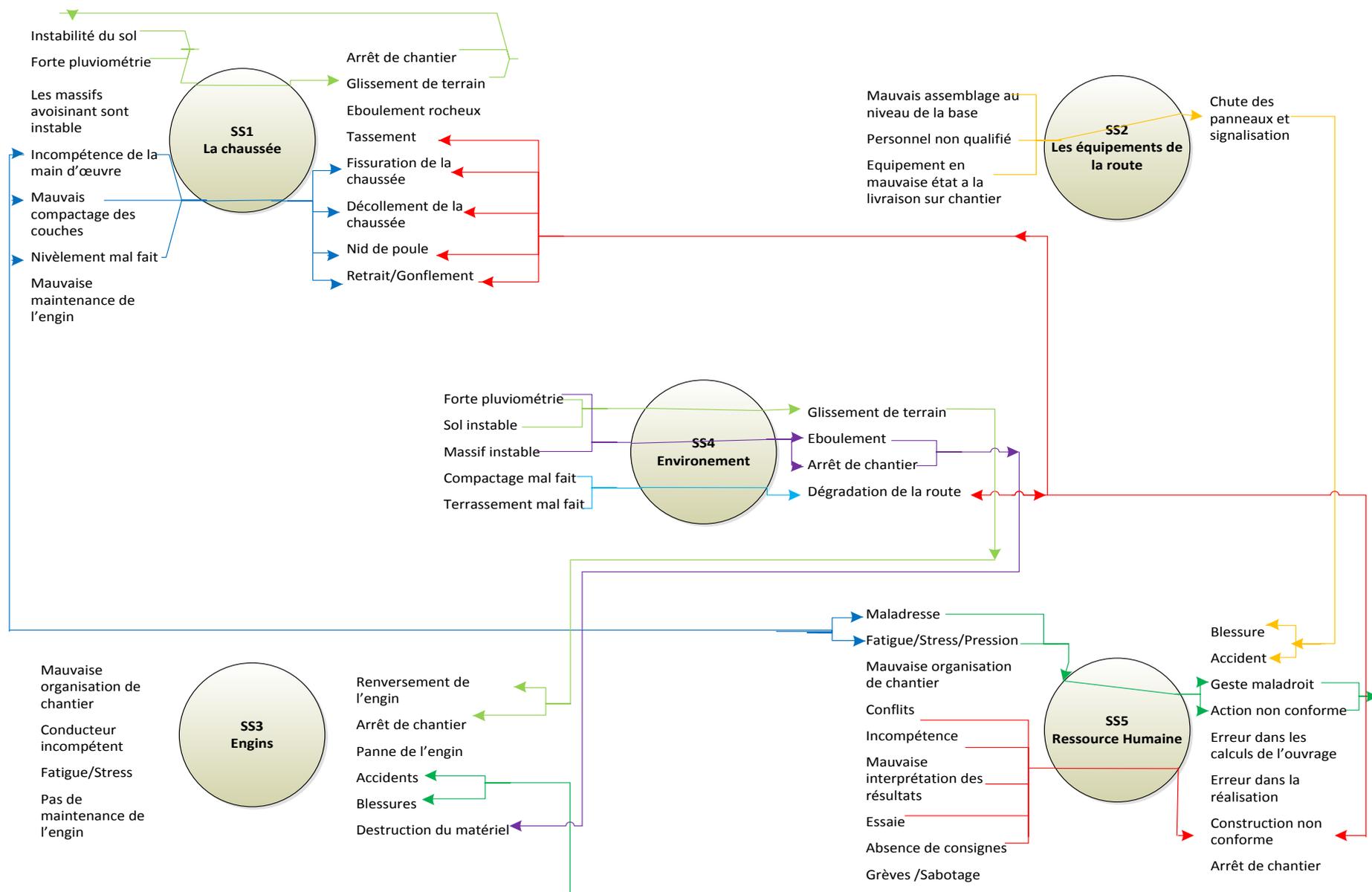
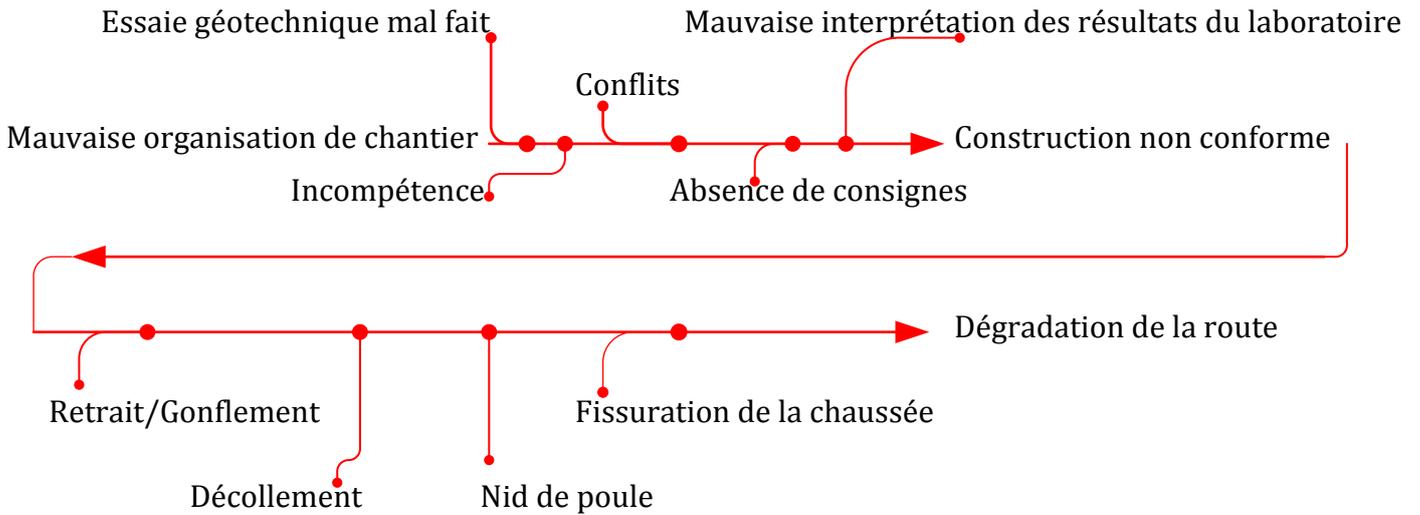
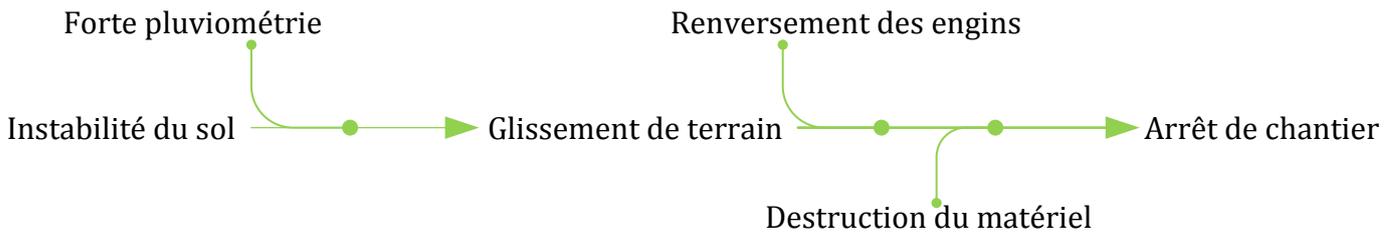


Figure 4.7 Scénario long du système route

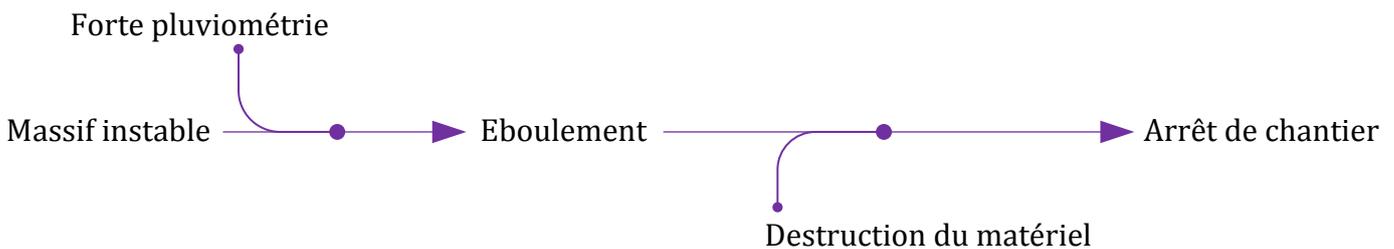
Scénario S1



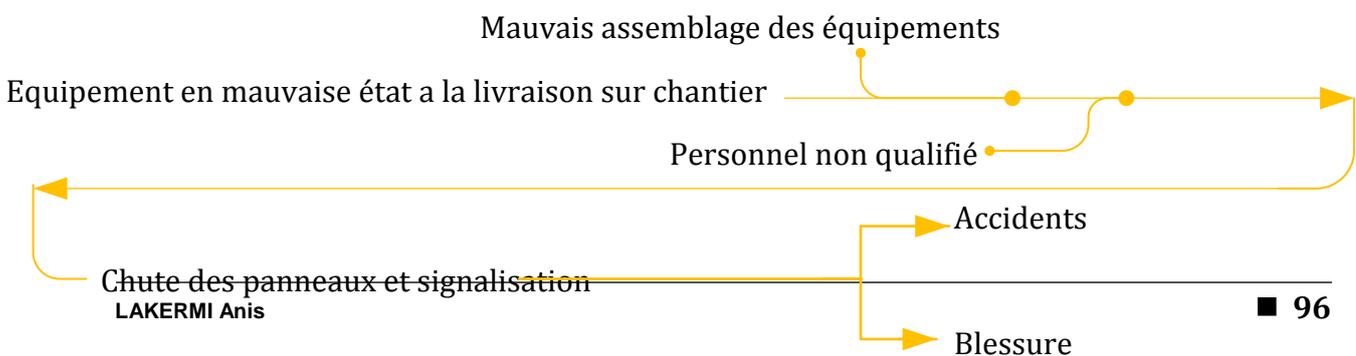
Scénario S2



Scénario S3



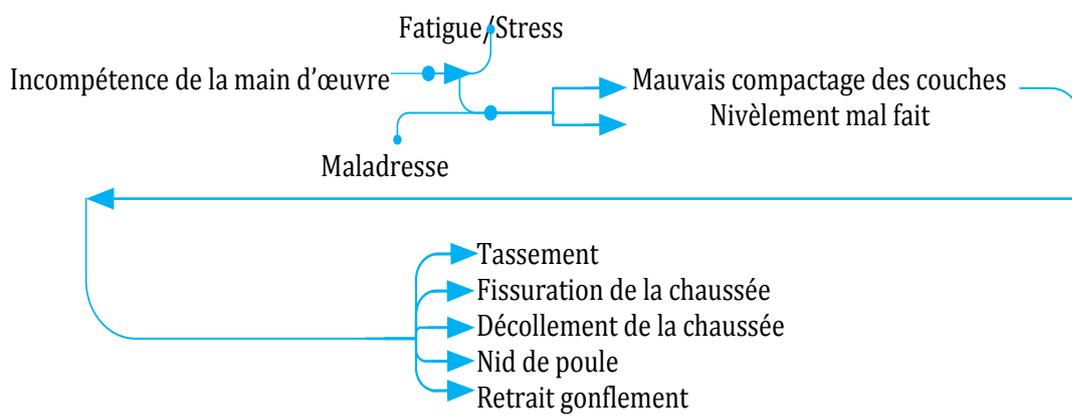
Scénario S4



Scénario S5



Scénario S6



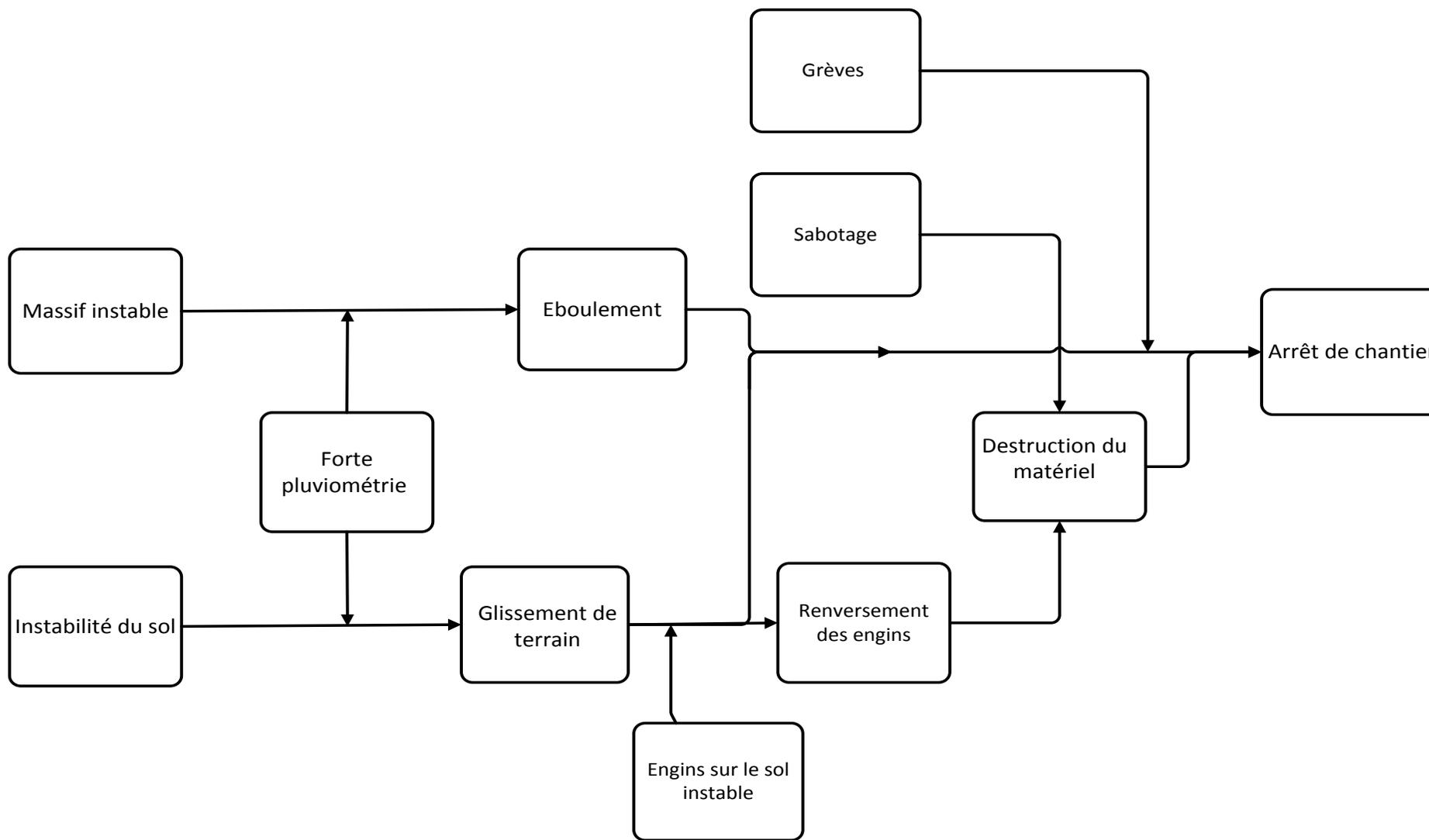


Figure 4.8 : Arbre logique arrêt de chantier

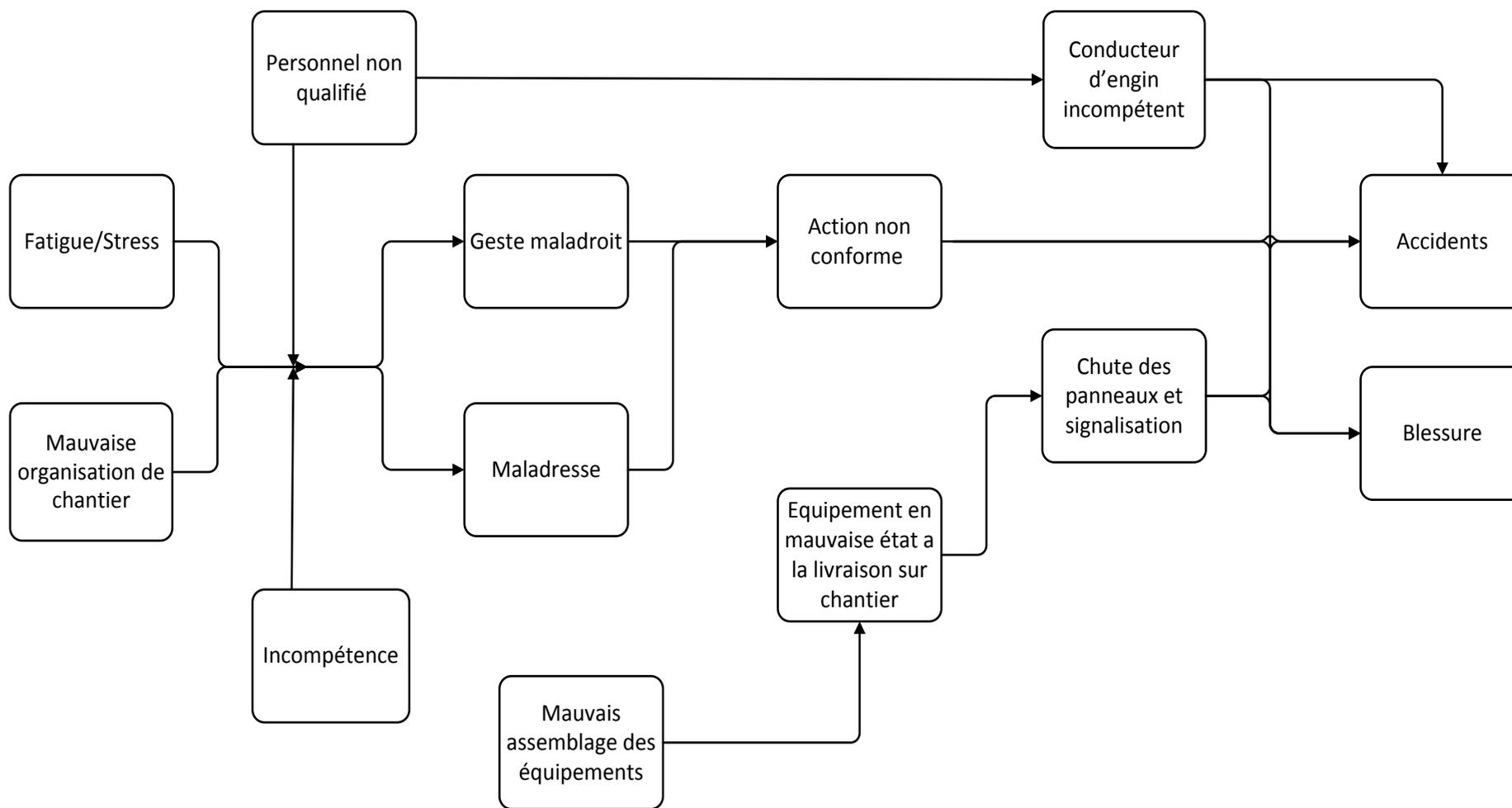


Figure 4.9 : Arbre logique Accident/Blessure

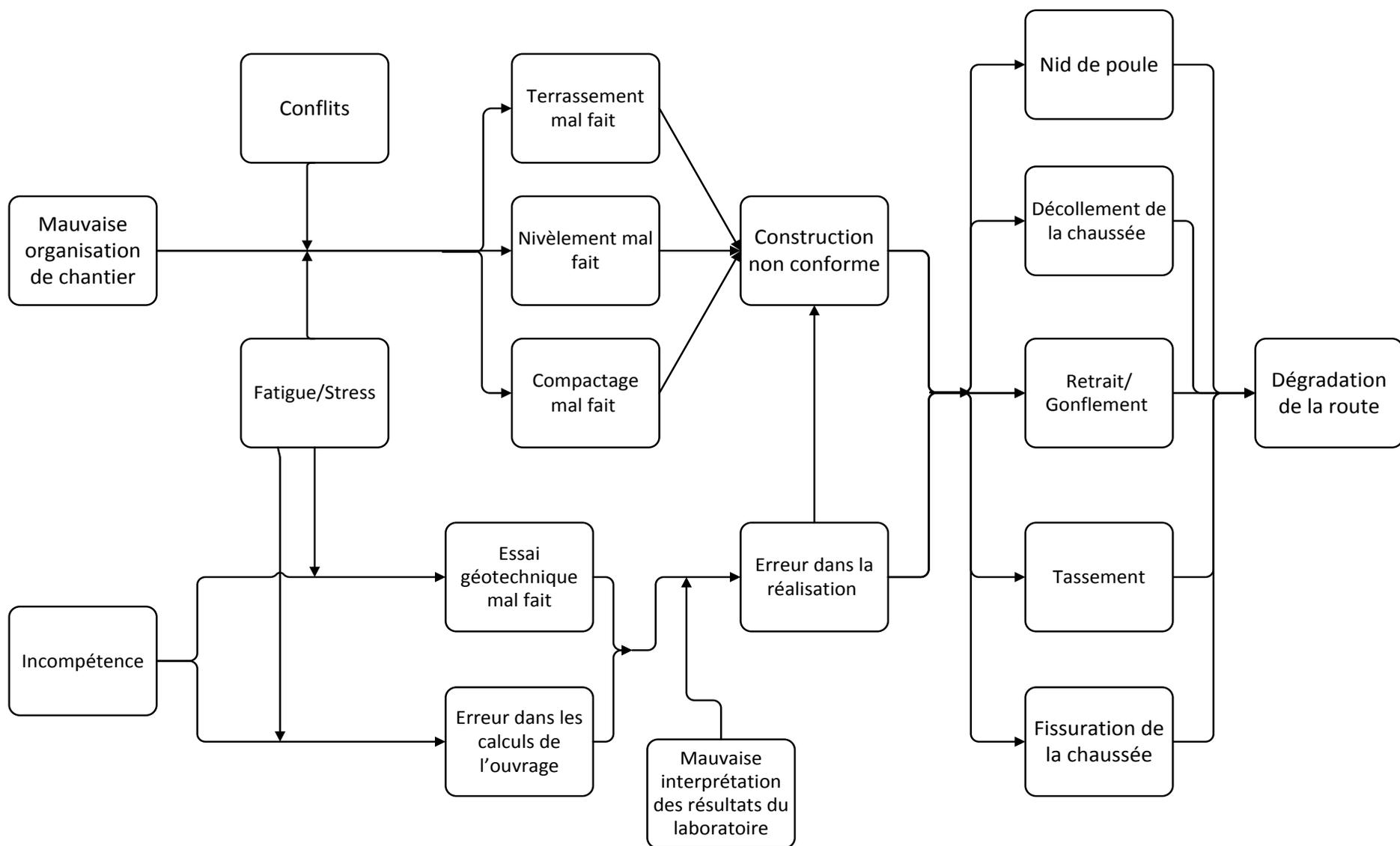


Figure 4.10 : Arbre logique dégradation de la route

2.2.3 Etape3 : Évaluation des scénarios à risques

Comme nous l'avons vu en partie au paragraphe précédent, cette étape permet d'évaluer quantitativement ou par le calcul éventuellement (à l'aide de logiciels, qualitativement par travail de groupe, jugement d'experts, etc.) Les caractéristiques des différents événements et leurs interactions avec les sous-systèmes.

Il est aussi nécessaire d'évaluer quelles cibles les événements principaux vont pouvoir atteindre et quel sera leur impact sur ces cibles. L'atteinte des cibles ainsi que leur nature dépend des caractéristiques évaluées des scénarios et de leurs distances par rapport aux événements finaux (P. Perilhon 2012).

Dans certains cas la gravité est fonction du scénario ; les scénarios se distinguent les uns des autres par leur probabilité différente. À ce niveau de l'analyse, on ne peut pas cependant calculer ces probabilités. D'où l'intérêt de pouvoir disposer d'une grille permettant de hiérarchiser les scénarios, ce que nous allons voir dans l'étape suivante.

2.2.4 Etape 4 Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios

Jusqu'ici nous n'avons pas situé le travail d'analyse par rapport à des objectifs, La mise en évidence de scénarios de risques et leur évaluation permet de mieux définir ces objectifs. Dans un premier temps, il est nécessaire de construire un outil qui permettra de concrétiser ces objectifs. Celui choisi est la grille «Gravité × Probabilité (G ×P) ».

La première chose à faire est de négocier les niveaux des deux axes de la grille, cette négociation peut se faire de différentes manières (calcul, jugement d'expert, brainstorming, etc.), en principe on construit des axes à 4, 6 ou 8 niveaux (toujours en nombre pair pour éviter la tendance à se situer dans un niveau médian). La deuxième chose à faire est de situer dans la grille la frontière entre ce qui est considéré comme acceptable et ce qui est considéré comme inacceptable. Ceci constitue un deuxième niveau de négociation (admettons bien sûr qu'elle ait été négociée par les acteurs concernés).

On construit ainsi une matrice pour chaque sous-système source de danger et on y introduit les scénarios trouvés précédemment (scénarios courts de chaque sous-système). La même chose sera faite pour les événements majeurs (scénarios longs) (figure 4.11 à 4.16).

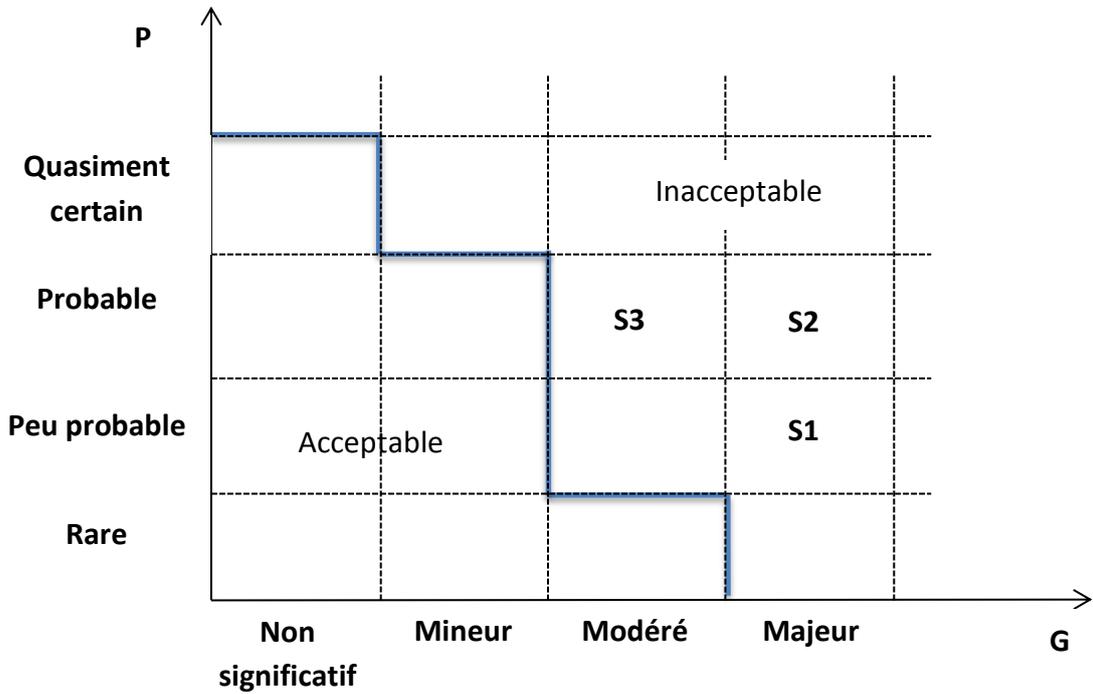


Figure 4.11 Grilles Gravité x Probabilité pour le SS1 Chaussée

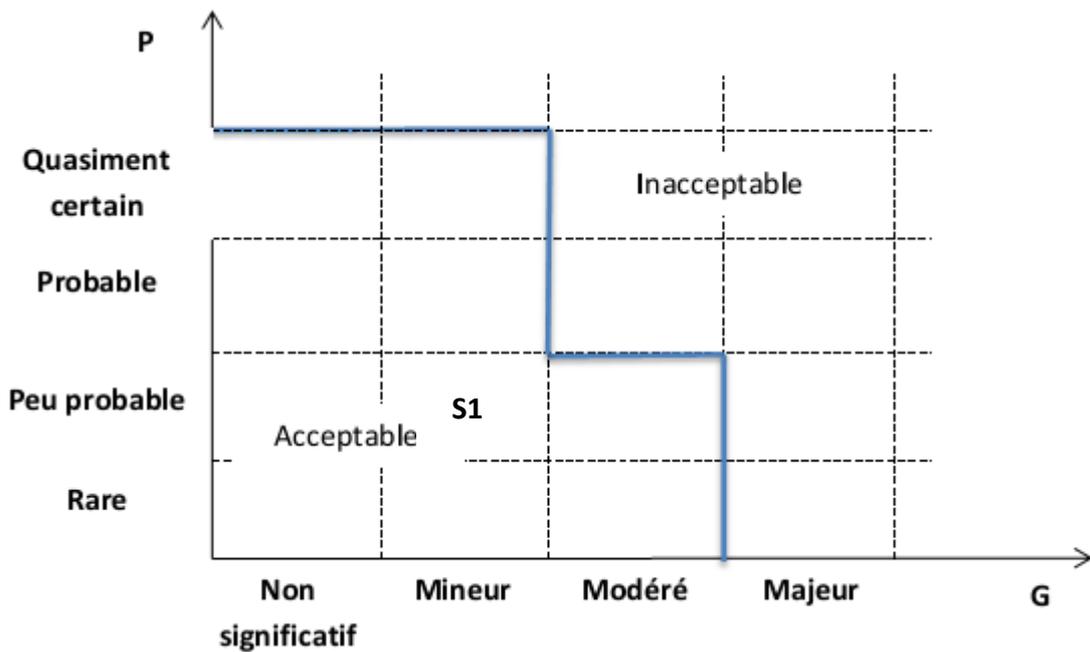


Figure 4.12 Grilles Gravité x Probabilité pour le SS2 équipement de la route

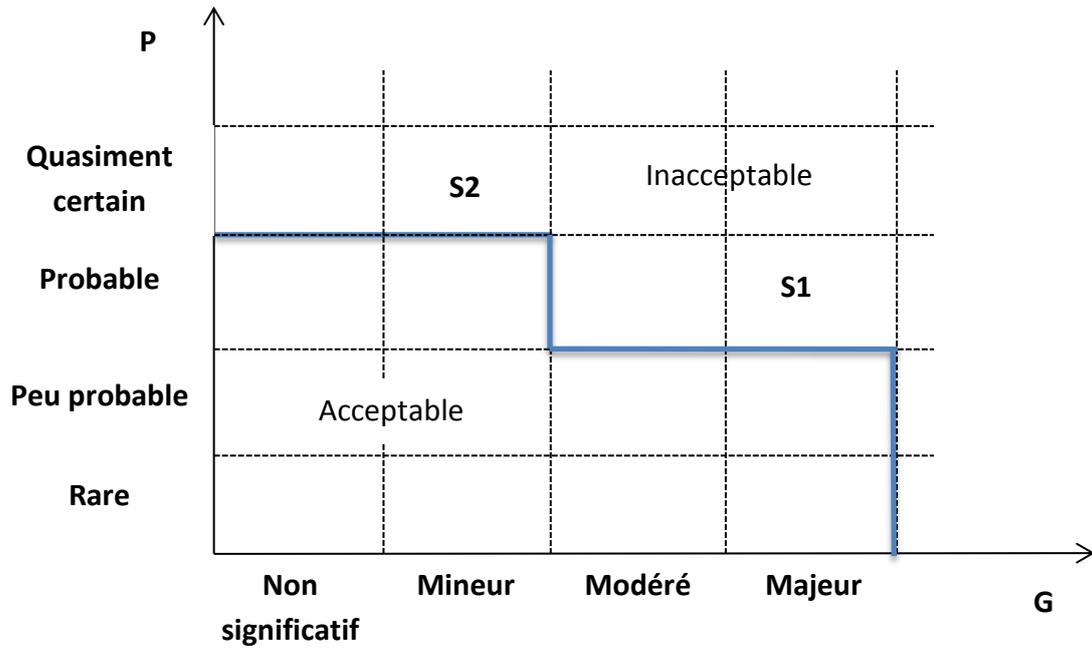


Figure 4.13 Grilles Gravité x Probabilité pour le SS3 Engines

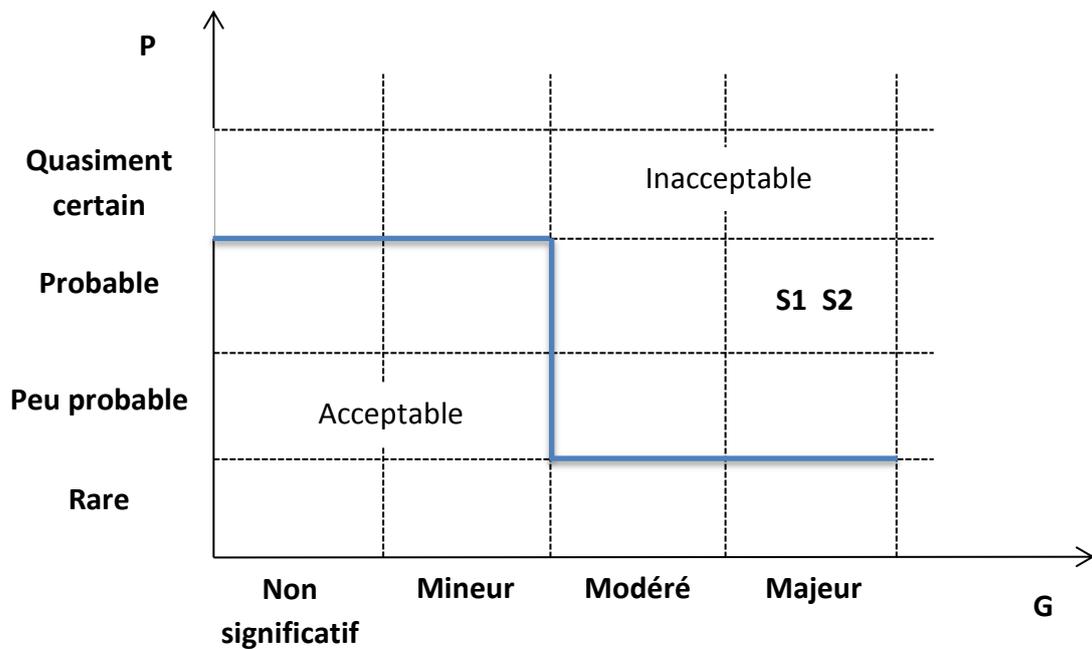


Figure 4.14 Grilles Gravité x Probabilité pour le SS4 Environnement

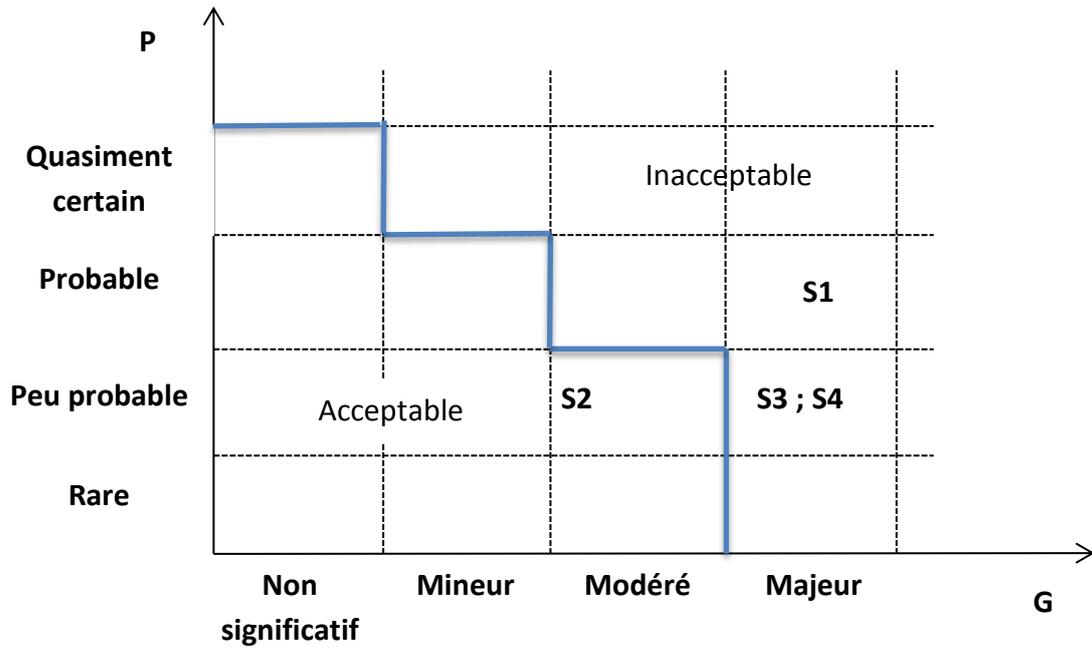


Figure 4.15 Grilles Gravité x Probabilité pour le SS5 Ressources humaines

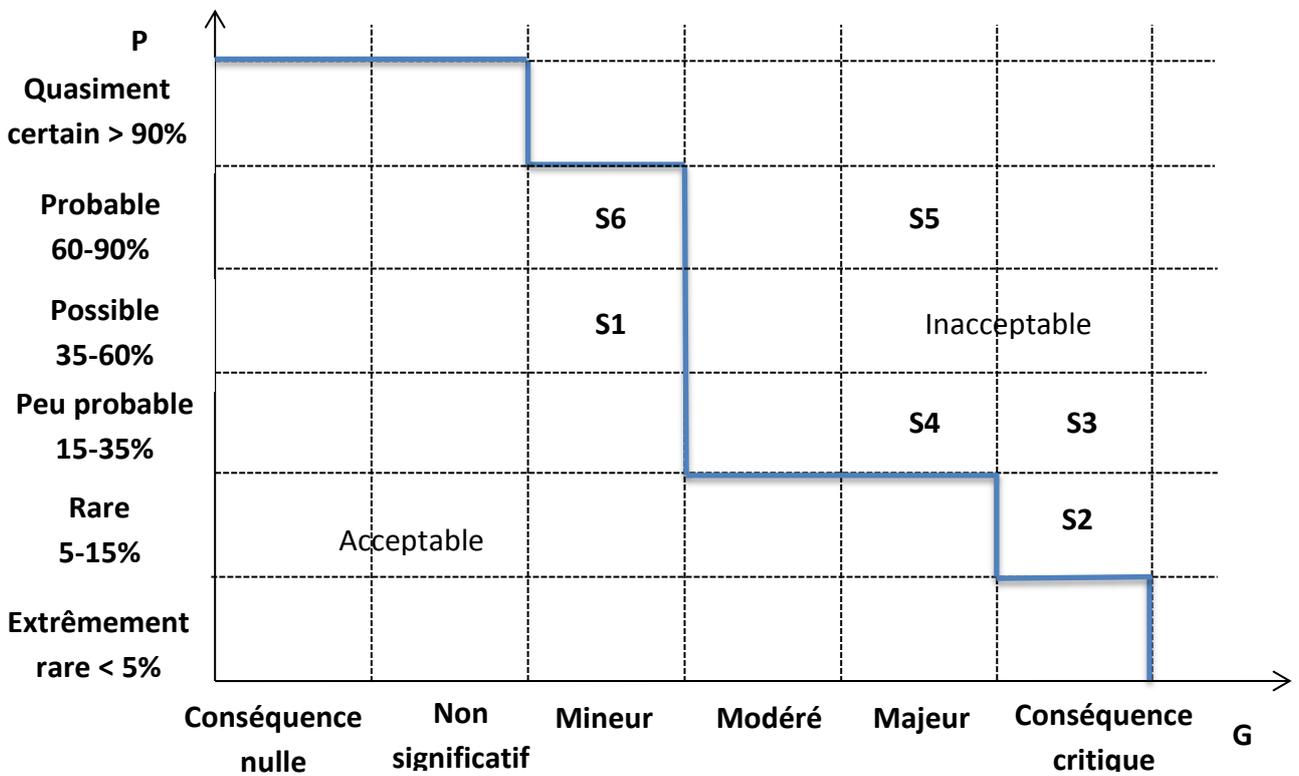


Figure 4.16 Grilles Gravité x Probabilité pour les scénarios longs

2.2.5 Etape 5 : Définition et qualification des moyens de prévention et de protection

2.2.5.1 Identification des barrières de prévention et de protection

Ces barrières vont permettre de neutraliser les scénarios identifiés. L'arbre logique montre, qu'en principe, il suffit de neutraliser les événements primaires (ceux qui apparaissent les premiers) pour que le scénario correspondant n'ait pas lieu.

Pour renforcer la prévention on recherche aussi les barrières possibles tout le long du scénario aussi bien sur les événements que sur leurs enchaînements (P. Perilhon 2012).

La figure qui suit ne montre qu'on a 2 type de barrière a utilisé (figure 4.17)

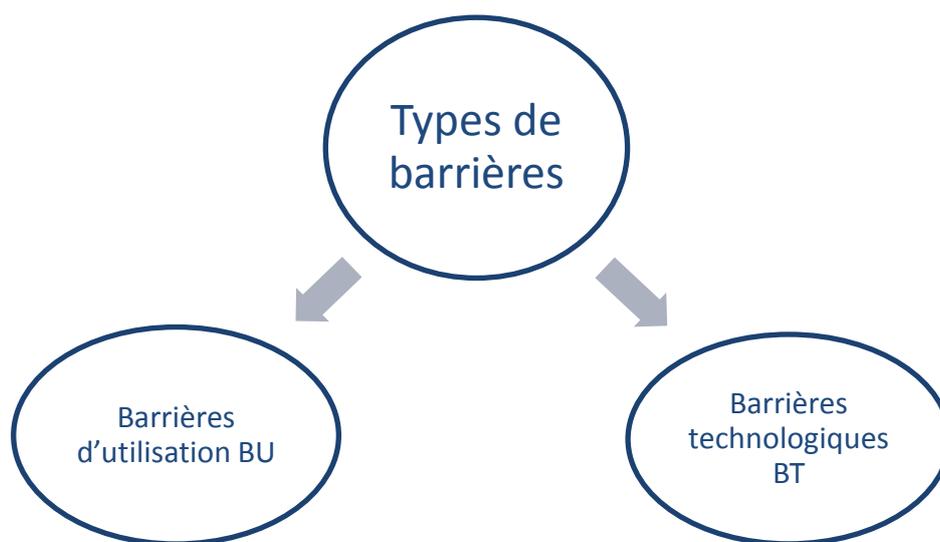


Figure 4.17 Types de barrières

Barrière technologique (BT)

Il s'agit d'un élément ou ensemble technologique faisant partie intégrante de l'installation, qui s'oppose automatiquement à l'apparition d'un événement préjudiciable à la sécurité et qui ne nécessite pas d'intervention humaine.

Barrière opératoire ou d'utilisation (BU)

Il s'agit d'une action nécessitant une intervention humaine, reposant sur une consigne précise, activée ou non par un élément ou un ensemble technologique (procédure, application de règles, protections individuelles...etc.)

Les BU sont souvent considérées comme étant plus faibles que les BT. Elles sont en fait très sensibles à la formation, et notamment à la formation sécurité, de la ressource humaine (P. Perilhon 2012).

L'identification des barrières se fait à l'aide d'un tableau : le tableau 4.B qui facilite le travail. Ce tableau peut être construit en fonction du contexte.

Remarque

Les premières barrières recherchées sont les barrières de conception. En effet on commence toujours par travailler la prévention et la protection collectives, la protection

individuelle n'intervenant que si la protection collective est insuffisante car elle introduit des nuisances.

2.2.5.2 Qualification des barrières de prévention et de protection

Une fois les barrières définies, il faut s'assurer qu'elles ne présentent ou ne génèrent pas de risques, et il faut les qualifier dans le temps c'est-à-dire s'assurer de leur pérennité, pour cela on constate que si l'on introduit chaque barrière dans le tableau B, le tableau obtenu baptisé alors tableau C, comporte un certain nombre de rubriques qui permettent de répondre aux deux contraintes définies ci-dessus. Cela dit, ce dernier tableau ne sera pas fait dans notre cas en raison de contrainte d'un projet de fin d'étude, car il faut d'abord les installer, et observer si elles ne génèrent pas de risque.

2.2.5.3 Nouvelles situations des scénarios dans les grilles G×P

Il est possible de vérifier comment les barrières font évoluer la position des scénarios dans les grilles G ×P, on peut admettre, compte tenu des barrières envisagées, que gravité et probabilité seront diminuées et que certains ENS deviendront peu probables et avec des conséquences mineures. Cette décision sera prise par le groupe de travail après discussion d'évaluation.

Prenons maintenant l'exemple du glissement de terrain, après mise en place des barrières il garde le même niveau de gravité car, s'il arrive, aucune barrière ne peut en diminuer les effets mais sa probabilité est fortement diminuée. Il s'agira alors d'un Risque résiduel.

2.3 Conclusion sur le module A

Le module A est terminé. C'est en fait la partie la plus originale de MOSAR. Dans la plupart des cas, cette analyse est suffisante mais il peut être nécessaire d'aller plus loin soit parce qu'on le décide pour parachever l'analyse et aller jusqu'à la mise en place d'une culture de sécurité, soit parce qu'une réglementation l'impose. On entrera alors dans le module B de la méthode.

Synthétisons cette partie de l'analyse en examinant les découpages et remises en relations développées :

- Notre projet est tout d'abord découpée en sous-systèmes source de danger ;
- Chacun de ceux-ci est combiné avec la grille 4.1 pour donner un découpage en dangers et en processus de danger ;
- Les sous-systèmes source de danger et leurs processus de danger sont ensuite, par la technique des boîtes noires, recombinaison entre eux pour faire apparaître les différents types de scénarios ;
- Ceux-ci sont rassemblés dans les arbres logiques;
- Après négociation d'objectifs avec les acteurs (qui n'est pas le cas dans ce travail), les scénarios des arbres logiques sont combinés avec le tableau 4.B pour donner un découpage en barrières ;
- La combinaison des éléments du tableau B donne le tableau 4.C ;
- En combinant les barrières avec le tableau 4.C, on les qualifie.

2.4 Le module B de la méthode et ses cinq étapes

2.4.1 Etape 1 : Identifier les risques de fonctionnement

Nous allons nous intéresser aux dysfonctionnements techniques et aux dysfonctionnements opératoires qui constituent les événements initiaux des 3 arbres logiques créés précédemment. Dans un premier temps, dans le module A, nous n'avons pas cherché à détailler et avons traité de manière globale.

2.4.1.1 Identifier les dysfonctionnements opératoires détaillés

Pour ce qui concerne les dysfonctionnements opératoires, le travail se fera par une analyse d'activité, le principe général de cette analyse d'activité consiste à comparer l'activité prescrite et l'activité réelle et donc à observer la main d'œuvre sans le perturber. L'activité réelle de la main d'œuvre, qui possède des savoir-faire et sa propre image mentale, est différente de celle prévue par les concepteurs qui ont leur image mentale de cette activité (P. Perilhon 2012).

Afin d'illustrer cette étape, nous schématiserons les opérations nécessaires pour la réalisation d'une route, et qui peuvent induire des accidents ou des blessures (figure 4.18). Il est à noter que sont mis en évidence des dysfonctionnements de nature opératoire mais aussi de nature technique. Ces dysfonctionnements seront représentés sous la forme d'un premier arbre de défaillances de fonctionnement qui sera fait à partir de l'arbre logique accident (figure 4.19).

Opération	Dysfonctionnement possible	Conséquences
1. Implantation des axes	Erreurs dans Implantation	Réalisation non conforme
2. Implantation des panneaux de travaux	Maladresse, fatigue, stress	Dégradation de la chaussée
3. Travaux d'excavation et de déboisement	Incompétence de la main d'œuvre	
4. Travaux de déblais et de remblais	Pas de vérification ou de contrôle	
5. Travaux de terrassement et de nivellement		
6. Réalisation de la couche de forme		
7. Réalisation de la couche de fondation		
8. Réalisation de la couche de base		
9. Réalisation de la couche de liaison		
10. Réalisation de la couche de roulement		
11. Assurer le drainage		
12. Compactage des couche une par une		

Figure 4.18 Opérations nécessaires pour la réalisation d'une chaussée

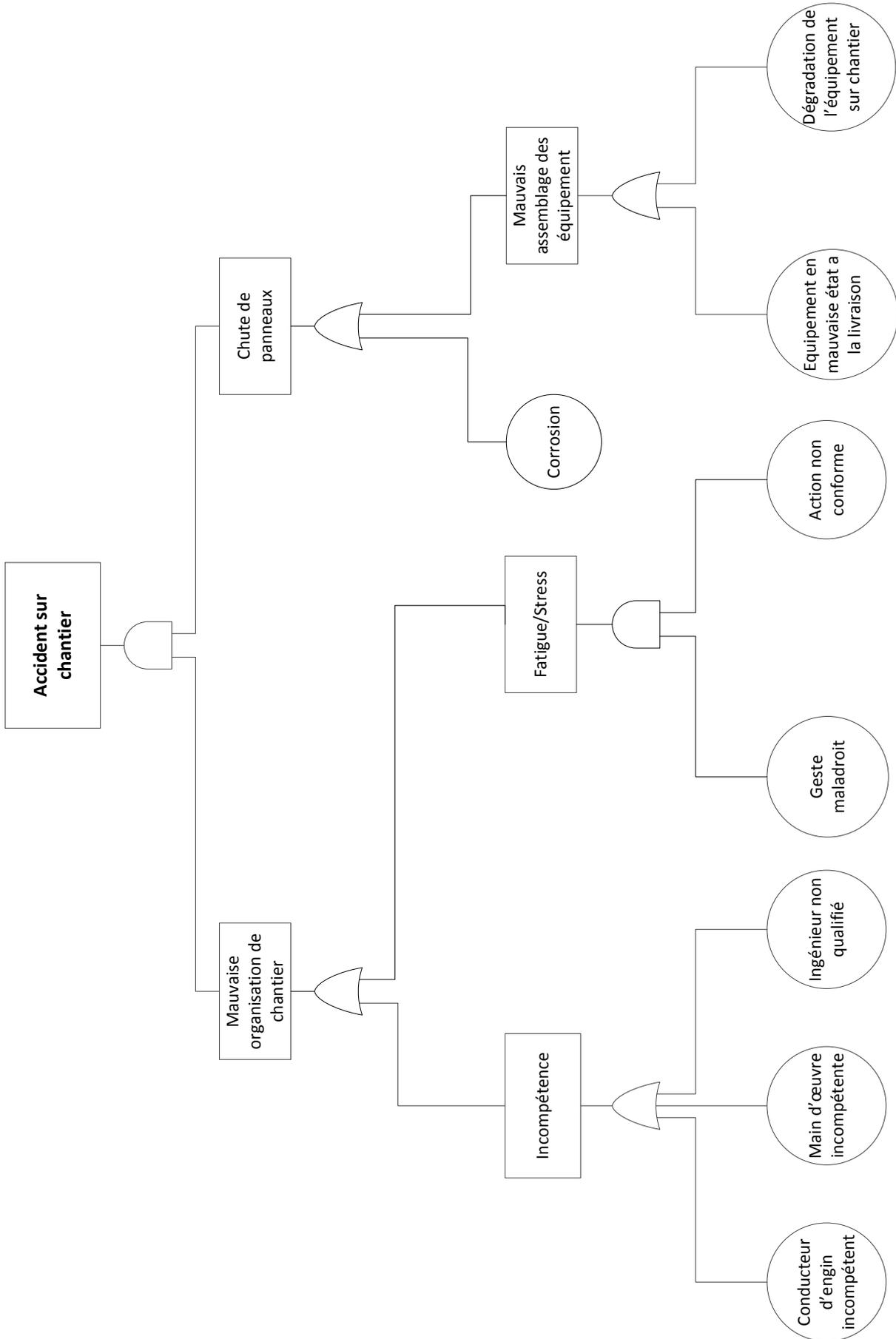


Figure 4.19 Arbre de défaillance accident

2.4.1.2 Identifier les dysfonctionnements techniques détaillés

Cette étape se fait en réalisant des AMDEC ou des HAZOP (dans notre cas l'AMDEC sera utilisés), sur les éléments techniques des sous-systèmes. AMDEC (ou HAZOP) seront fait sur la réalisation de la chaussée ainsi que l'arrêt de chantier (arbres logiques) ce qui permettra de construire les autres arbres de défaillance de fonctionnement (figure 4.20 et 4.21).

Remarques

L'analyse d'activité et l'analyse des dysfonctionnements techniques est un travail de spécialistes long et coûteux. Il se couple bien avec une analyse de défaillances qui rejoint la qualité et la maintenance (P. Perilhon 2012).

En raison des contraintes qu'a un projet de fin d'étude, l'analyse sera surement incomplète mais donnera une idée globale de la situation.

2.4.1.3 Réalisation des tableaux AMDEC

L'AMDEC exploite une connaissance complète et précise du système. La démarche va donc devoir réunir autant de personnes que nécessaire pour disposer de toute la connaissance du système, il faut donc disposer de spécialistes capables de décrire les modes de défaillance susceptibles d'affecter chaque composant et il faut réunir ces spécialistes pour faire circuler l'information et que chacun puisse imaginer l'impact, sur la partie qu'il connaît bien, des modes de défaillance d'un composant décrits par un spécialiste de ce composant.

Cela dit ceci ne pourra être fait dans notre cas en raison de contrainte de temps et de ressource et donc le tableau AMDEC va être fait selon mes connaissances sur le domaine (tableau 4.2 et 4.3).

2.4.2 Etape2 : Évaluer les risques en construisant des arbres de défaillances et en les quantifiant

2.4.2.1 Construire des arbres de défaillance sur les risques principaux

À ce niveau de l'analyse, nous avons toute l'information pour construire des arbres de défaillance sur les ENS principaux identifiés dans le module A. En effet :

- Les arbres logiques du module A sont les squelettes de ces arbres ;
- Les ADD construits sur les dysfonctionnements techniques et opératoires développent les événements primaires des arbres logiques.

En construisant l'ADD on combine verticalement les événements qui ne l'étaient que linéairement et on fait apparaître, dans les combinaisons, des événements nouveaux qui n'étaient pas encore apparus.

Tableau 4.2 AMDEC Cause d'arrêt de chantier du projet

Date : 01/05/2013		Version : 1.0				Analyste : A.Lakermi			
Système étudié : Réalisation de la route national 02									
Désignation	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	P	G	Criticité	Moyen de prévention	
Engins de production	Excavation ; Arasement des sols ; Nivèlement.	Pannes de/des engins ; Dégradation de la chaussée ; Destruction du matériel.	Aucune maintenance ; Travaux mal fait ; Conducteur non qualifié ; Sabotage.	Arrêt de chantier	3	4	12	Contrôle des travaux régulier Engager un personnel qualifié Suivre correctement les procédures Maintenance hebdomadaire des engins Assurer la sécurité contre le sabotage (engager des gardiens)	
Engins de transport	Ensemble des opérations de transports	Pannes de/des engins ; Destruction du matériel.	Aucune maintenance ; Sabotage.	Ralentissement des travaux	2	3	6	Maintenance hebdomadaire des engins Assurer la sécurité contre le sabotage (engager des gardiens)	
Sols support	Base de la chaussée	Tassement ; Glissement de terrain ;	Forte pluviométrie ; Compactage des remblais et déblais mal fait ; Effondrement des cavités ; Escarpement de faille ; Fluage ; Pente des terrains.	Arrêt de chantier et ralentissement des travaux Accident/blessure	4	4	16	Terrassement Drainage Végétation Soutènement Durcissement Renforcement	
Massif avoisinant		Eboulement Chute de blocs	Circulation de l'eau ; Affouillement ; Abondance ou absence de végétations ; Variation de température ; Nature des terrains.	Arrêt de chantier et ralentissement des travaux Accident/blessure	4	4	16	Grillages, filets, béton projeté. Plantation des arbres, piège à cailloux. Abatage à l'explosif de la masse rocheuse instable.	

Tableau 4.3 AMDEC Réalisation d'une chaussée

Date : 02/05/2013		Version : 1.0					Analyste : A.Lakermi	
Système étudié : Réalisation de la route national 02								
Désignation	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	P	G	Criticité	Moyen de prévention
Couche de forme	Permettre le compactage efficace de la couche de fondation Homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante	Retrait/ gonflement	Terrassement mal fait Nivèlement mal fait Compactage mal fait Fatigue/Stress	Déformation de la chaussée	3	4	12	Contrôle des travaux régulier Engager un personnel qualifié Suivre correctement les procédures
Couche de fondation	Rigidité Elasticité	Fissuration	Nivèlement mal fait Compactage mal fait Fatigue/Stress	Dégradation de la chaussée	2	3	6	Contrôle des travaux régulier Engager un personnel qualifié Suivre correctement les procédures
Couche de base	Rigidité Elasticité	Fissuration	Compactage mal fait Fatigue/Stress	Dégradation de la chaussée	2	3	6	Contrôle des travaux régulier Engager un personnel qualifié Suivre correctement les procédures
Couche de liaison	Durabilité ; Etanchéité ; Confort ; Sécurité.	Tassement Fissuration Décollement Nid de poule Ecaillage Orniérage Désenrobage	Personnel non qualifié Compactage mal fait Fatigue/Stress	Dégradation de la chaussée	2	4	8	Contrôle des travaux régulier Engager un personnel qualifié Suivre correctement les procédures
Couche de roulement	Durabilité ; Etanchéité ; Confort ; Sécurité.	Tassement Fissuration Décollement Nid de poule Ecaillage Orniérage Désenrobage Faïençage	Compactage mal fait Personnel non qualifié Fatigue/Stress	Dégradation de la chaussée	2	4	8	Contrôle des travaux régulier Engager un personnel qualifié Suivre correctement les procédures

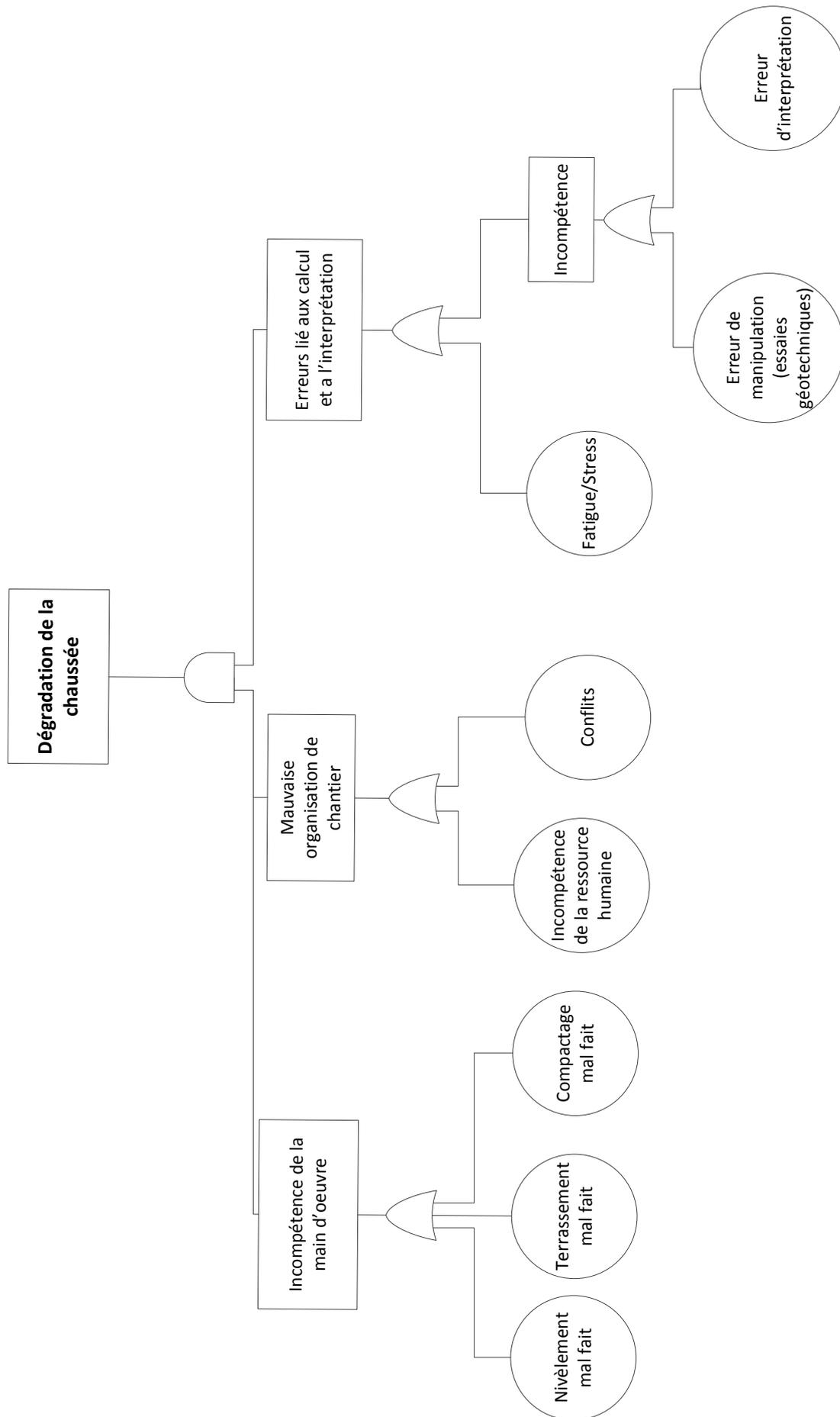


Figure 4.20 Arbre de défaillance dégradation de la chaussée

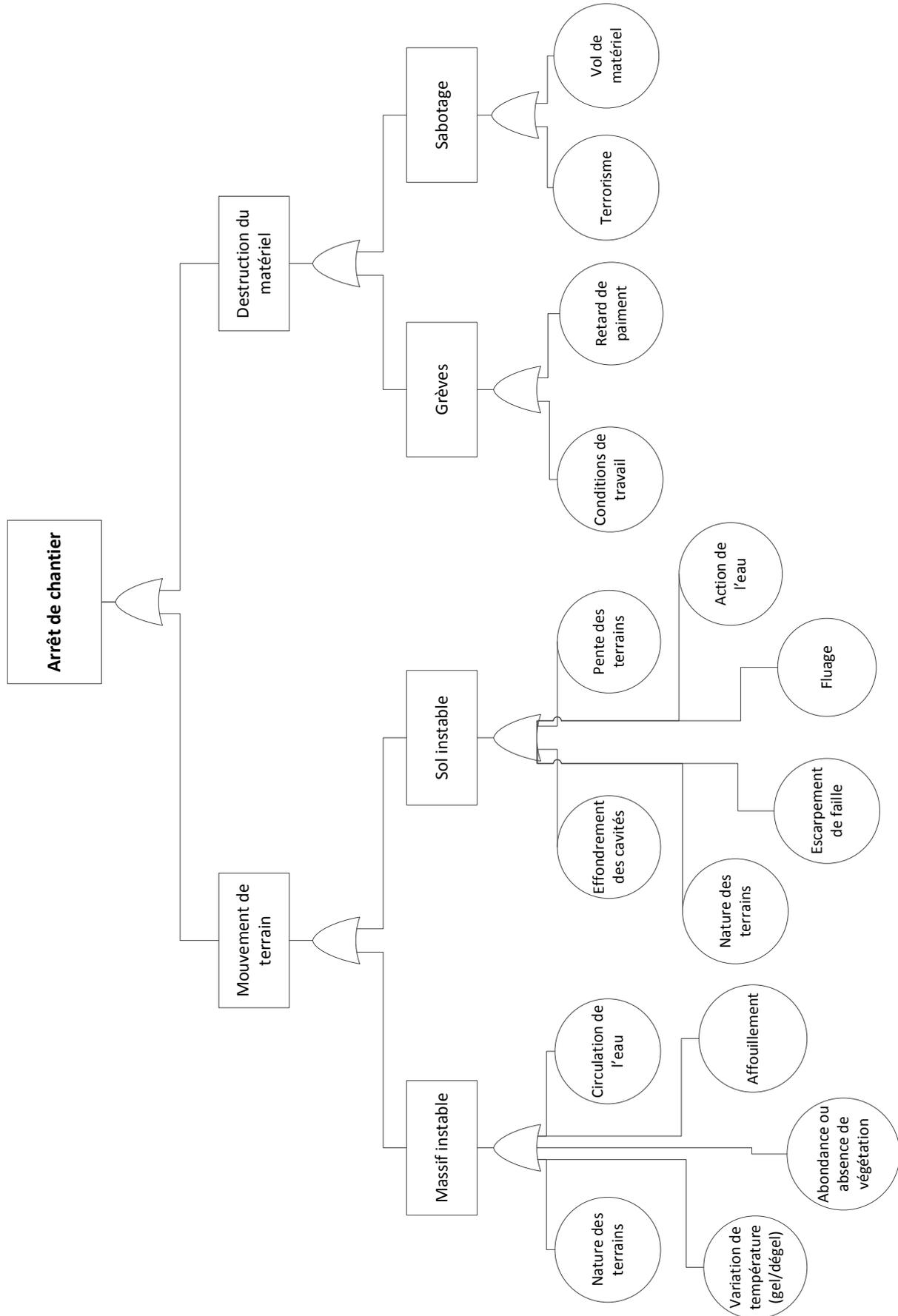


Figure 4.21 Arbre de défaillance Arrêt de chantier

2.4.3 Etape 3 : Négocier des objectifs précis de prévention

À ce niveau de l’analyse, il est possible d’utiliser la logique des arbres de défaillances pour allouer une répartition d’un nombre de barrières de prévention sur les ENS. Il sera alors nécessaire de pratiquer une deuxième négociation pour fixer le nombre de barrières en fonction de la gravité des ENS (P. Perilhon 2012).

2.4.3.1 Négocier une allocation de barrières

Pour ce faire on construit une grille négociée entre les acteurs, qui fait correspondre un nombre de barrières à chaque niveau de gravité défini dans la quatrième étape du module A. Le tableau 4.4 ci-dessous montre le nombre de barrière par niveau de gravité

Tableau 4.4 Tableau correspondance Gravité / Nombre de barrières

Gravité G	Objectifs en nombre de barrières	
	Technologiques	D’utilisation
1	0 à 1	0 à 1
2	1 à 2	1 à 2
3	1 à 4	1 à 2
4	2 à 4	1 à 3
5	3 à 4	2 à 3
6	3 à 5	2 à 4

À chaque niveau, le choix entre les deux possibilités n’est pas innocent. L’un privilégie les BT et considère donc qu’on ne peut pas trop faire confiance aux opérateurs ; l’autre met une égale confiance dans la technique et dans les opérateurs, ce qui sous-entend que ces derniers sont bien formés notamment à la connaissance et à la maîtrise des risques

2.4.3.2 Répartir les barrières sur les ADD

À partir de l’allocation de barrières choisie sur l’ENS, on utilise la logique de l’arbre pour remonter à une allocation sur les événements primaires de ce dernier. L’objectif, dans ce cas, c’est de trouver au moins deux configurations possibles.

Chaque fois que l’on franchit une porte ET dans le sens de la lecture inductive de l’arbre, les barrières des événements précédant la porte (événements amont) s’additionnent sur l’événement suivant la porte (événement aval), et chaque fois que l’on franchit une porte OU dans le même sens, le nombre de barrières reste le même sur l’événement suivant la porte (P. Perilhon 2012).

Les figures 4.22 à 4.27 schématise les ADD avec l’allocation des barrières suivant deux configuration différentes chacune.

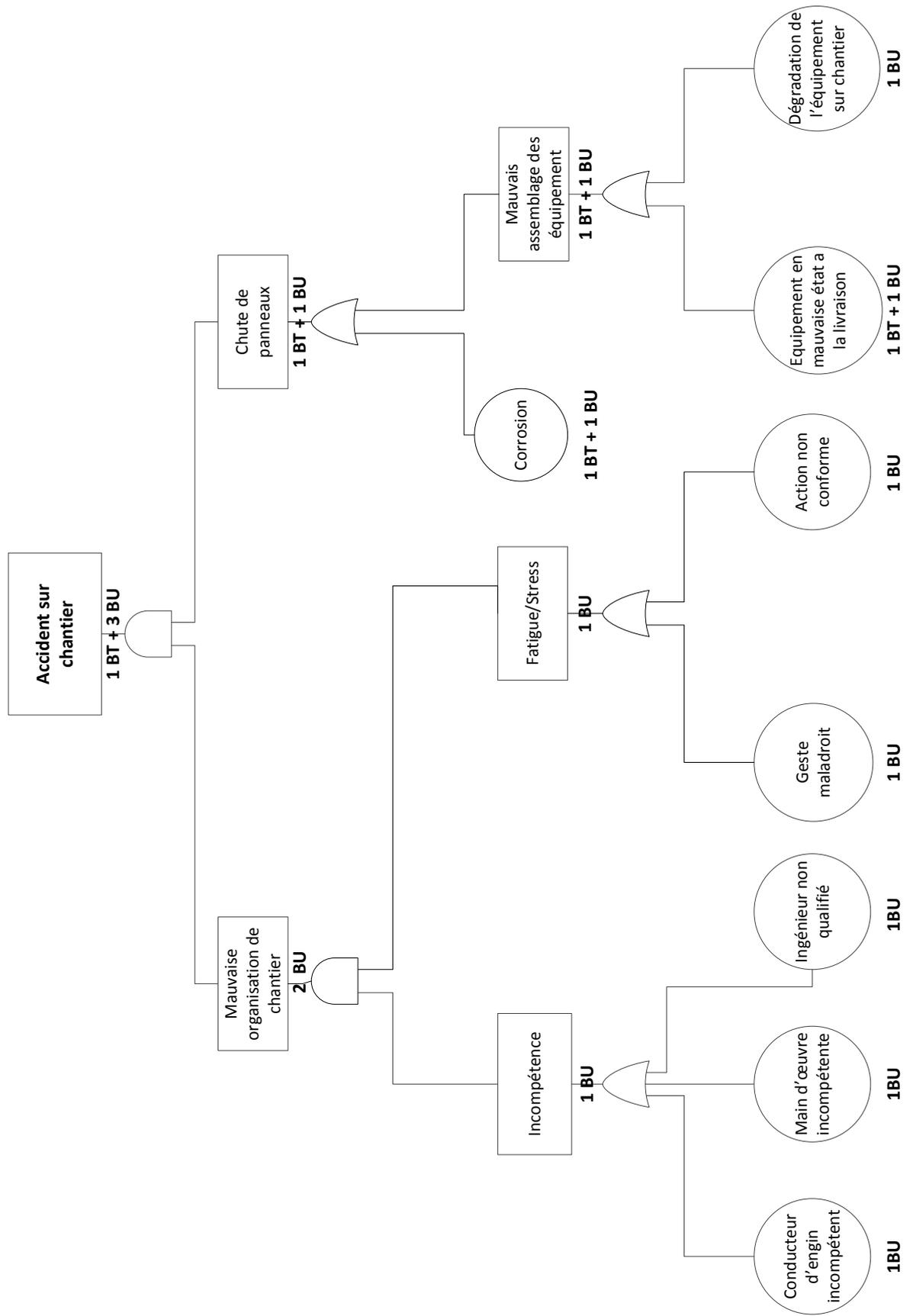


Figure 4.22 : Arbre de défaillance Accident de chantier avec Allocation de barrières Configuration 1

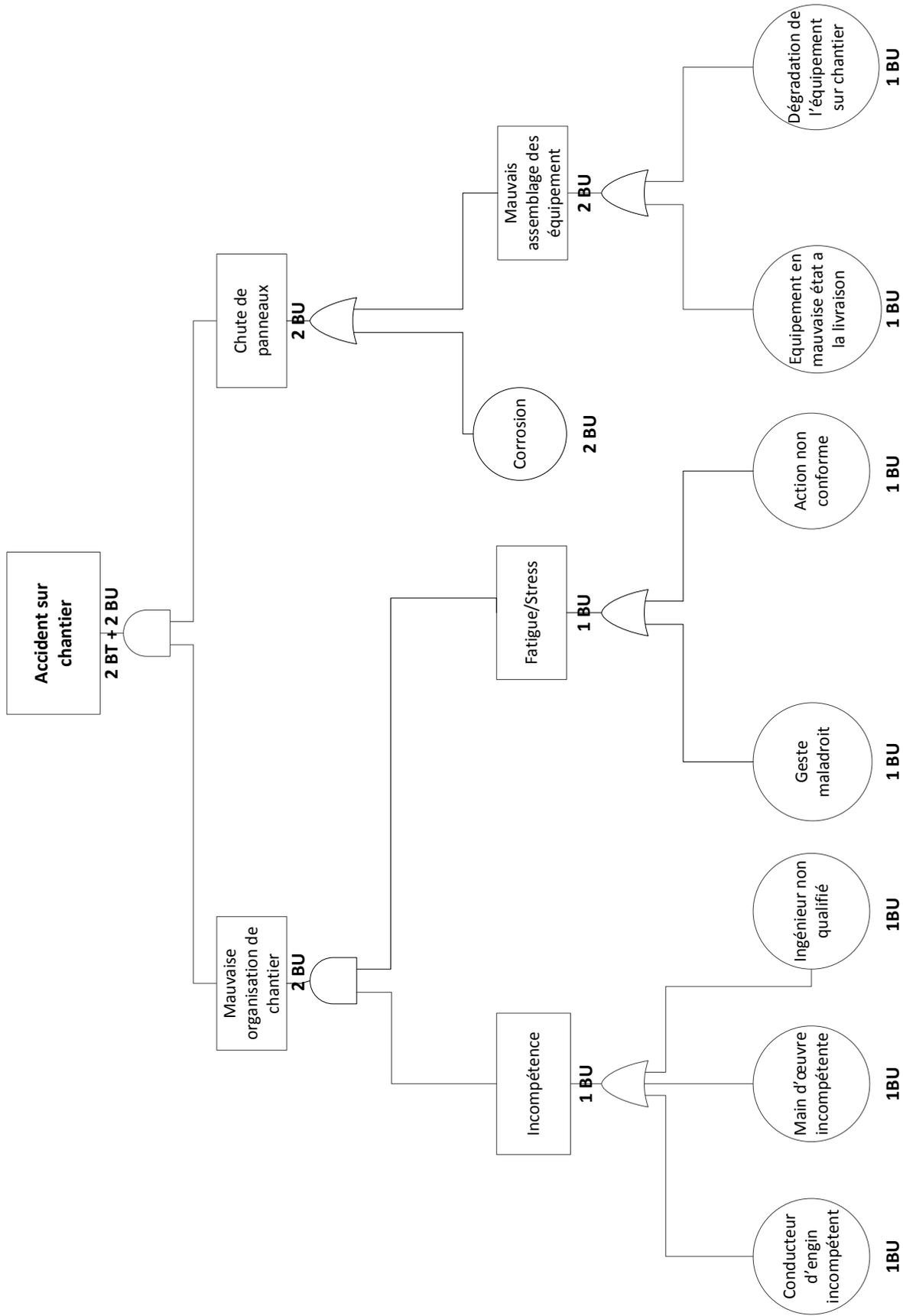


Figure 4.23 : Arbre de défaillance Accident de chantier avec Allocation de barrières Configuration 2

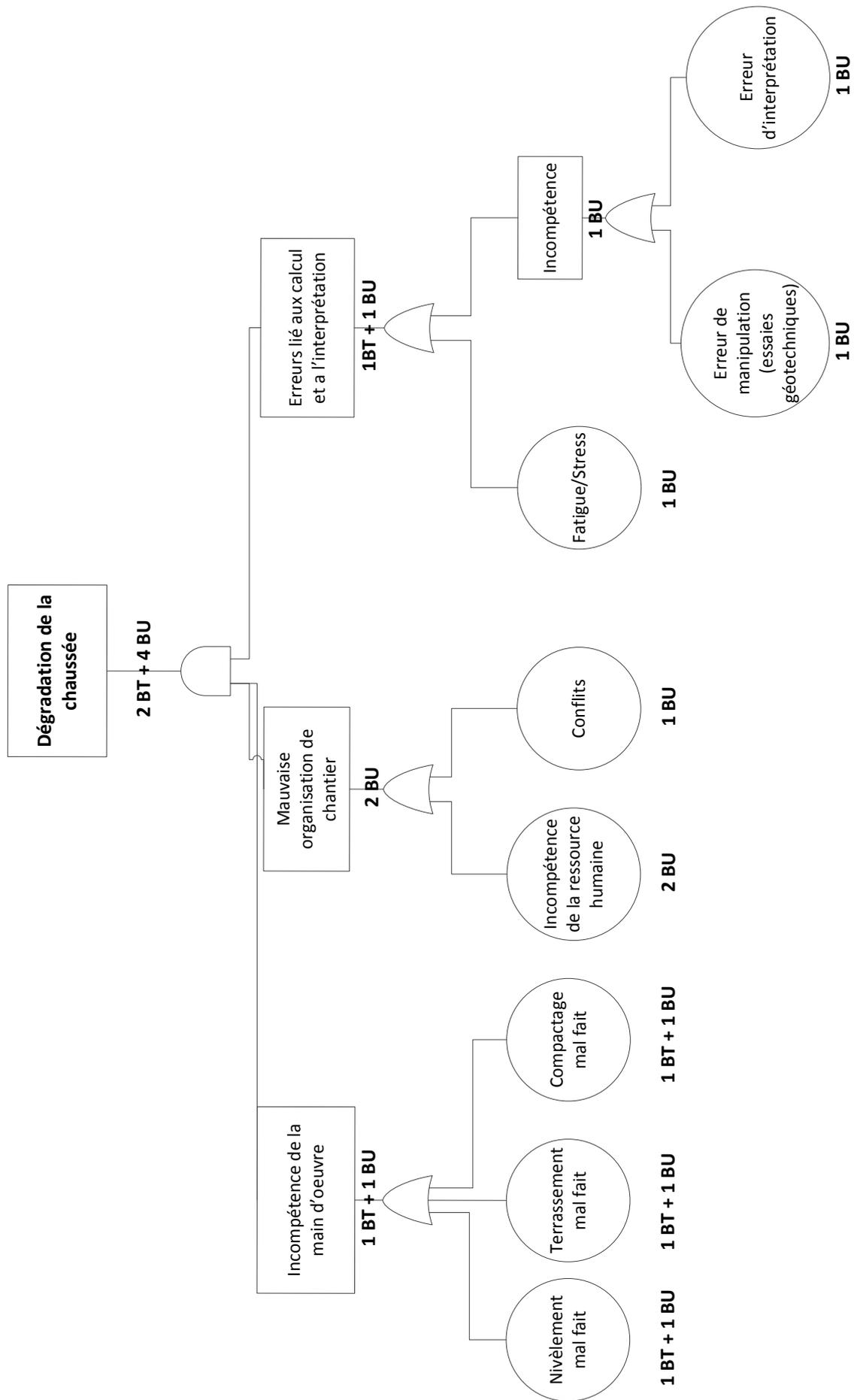


Figure 4.24 : Arbre de défaillance Dégradation de la chaussée avec Allocation de barrières Configuration 1

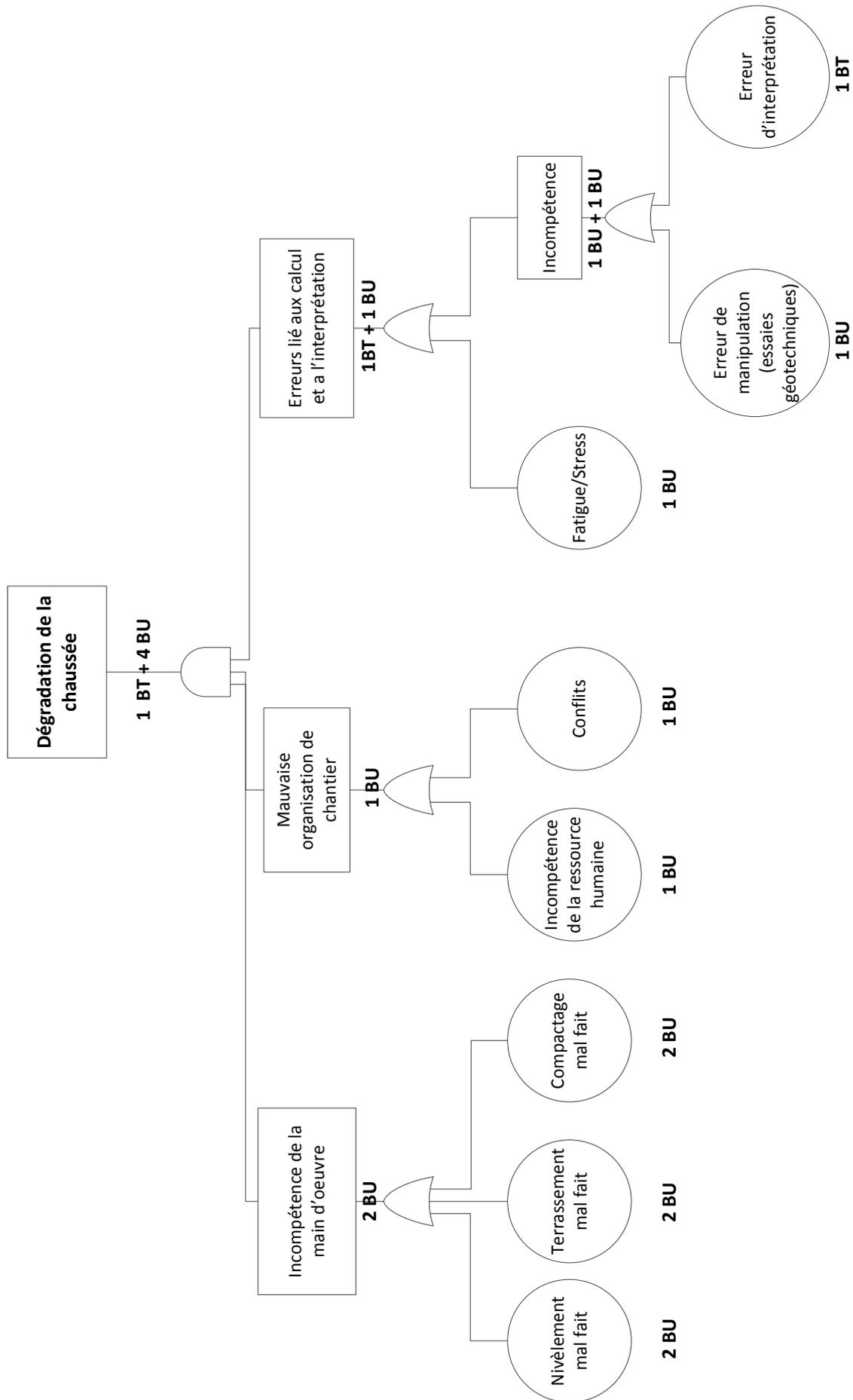


Figure 4.25 : Arbre de défaillance Dégradation de la chaussée avec Allocation de barrières Configuration 2

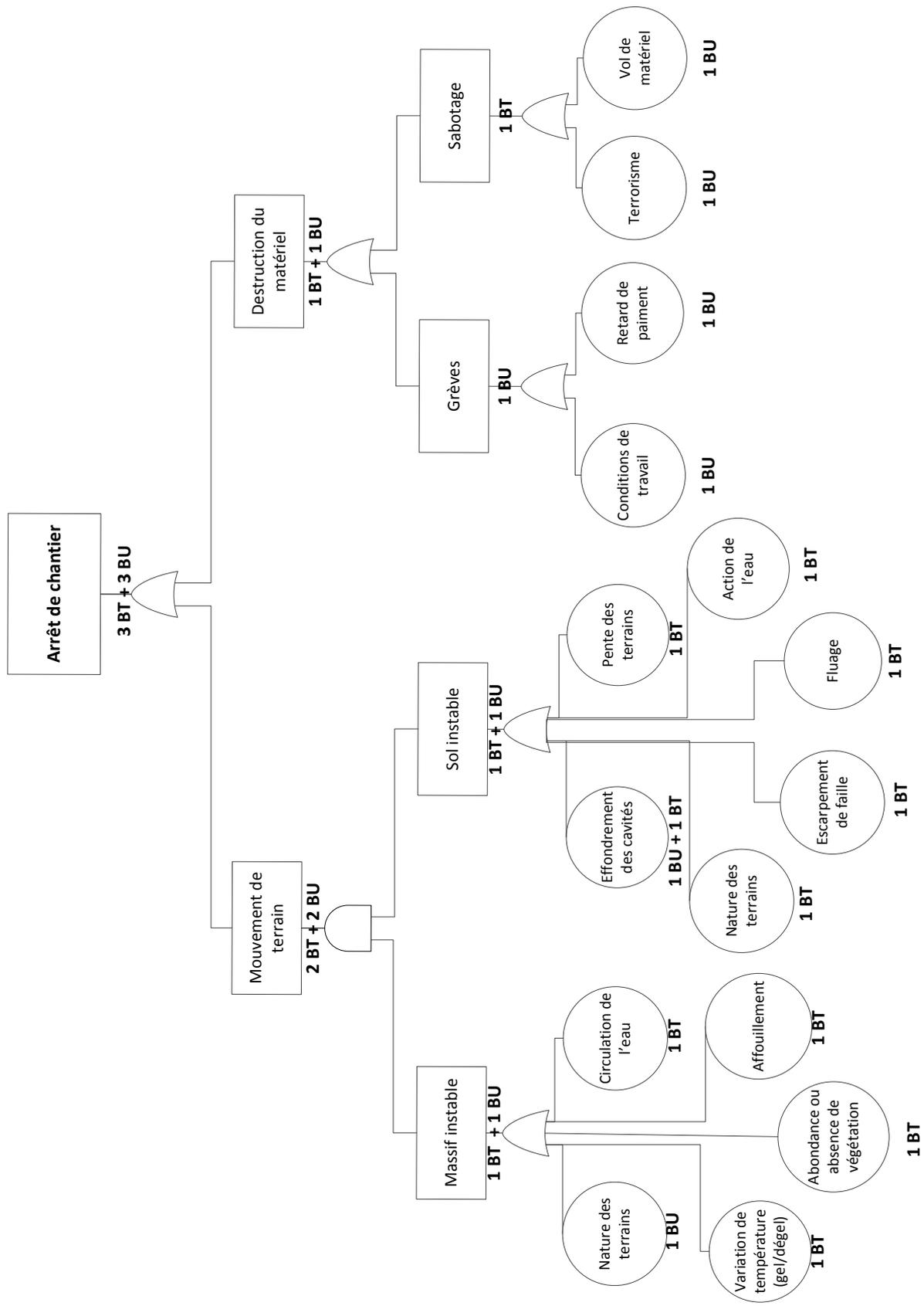


Figure 4.26 : Arbre de défaillance Arrêt de chantier avec Allocation de barrières Configuration 1

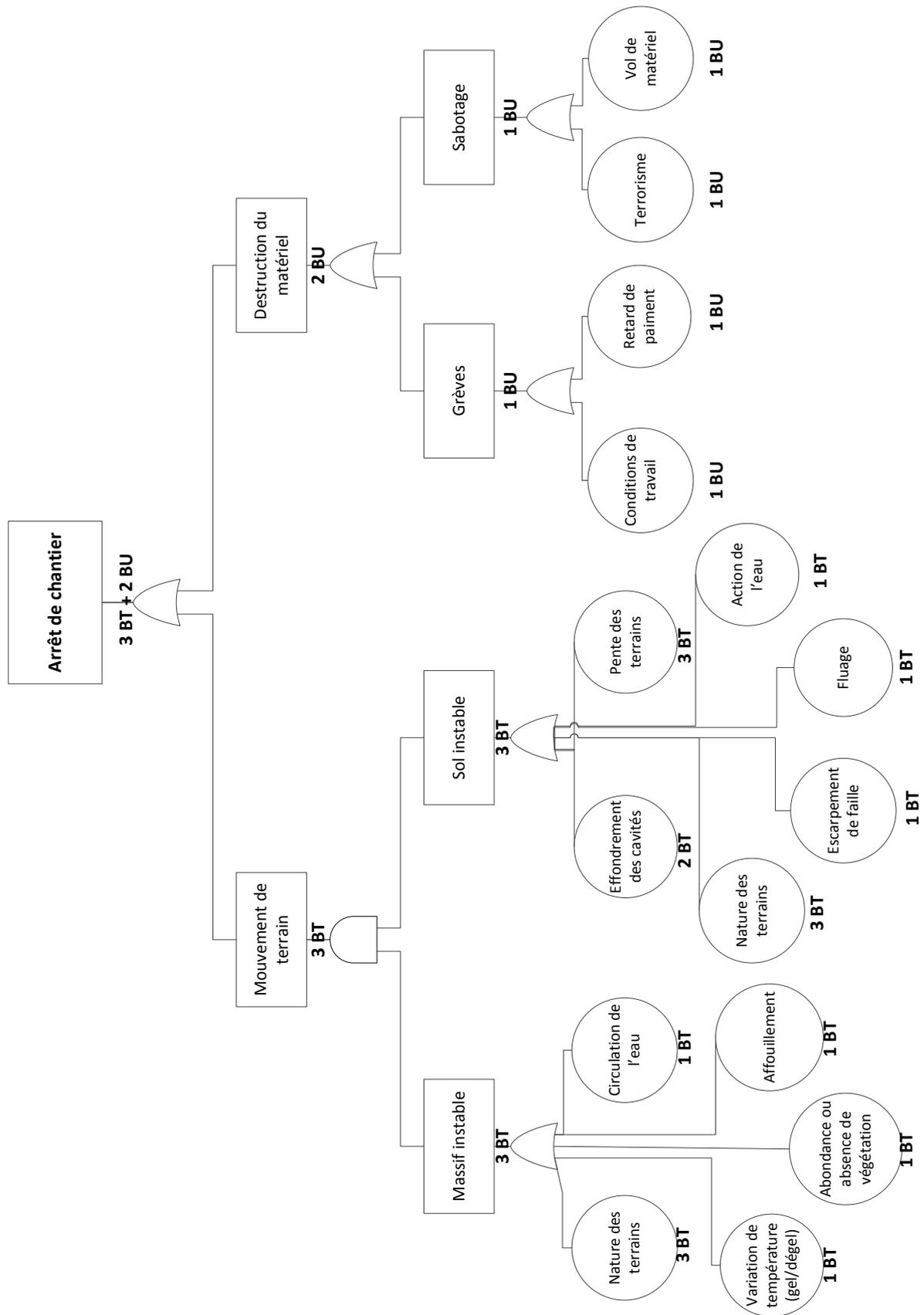


Figure 4.27 : Arbre de défaillance Arrêt de chantier avec Allocation de barrières Configuration 2

2.4.4 Etape 4 : Affiner les moyens de prévention

À partir des différents modes de répartition des barrières, on construit un tableau 4.D, où l'on recense toutes les barrières qu'il est possible de mettre sur les événements primaires. Il est évidemment fait appel aux barrières identifiées dans le module A, complétées avec celles trouvées dans le module B.

On peut s'arrêter là et vérifier simplement que les barrières permettent de neutraliser tous les événements, sinon on fait apparaître des risques résiduels.

On peut aussi évaluer (ou on calcule si cela est possible) le coût des barrières. On évalue l'avantage en matière de sécurité des configurations en nombre de barrières et leur avantage en matière de coût. Il reste à trancher entre les deux lorsque les résultats sont contradictoires.

La lecture du tableau 4.D fait apparaître les points suivants :

- Quelle configuration est la meilleure sur le plan de la sécurité ;
- Laquelle est optimale pour satisfaire les objectifs ;
- Quelle est son coût, est-elle surdimensionné ?

On retiendra au final la première configuration des 3 arbres de défaillance jugée plus rentable point de vue coûts.

Remarque

Cette partie de l'analyse est encore peu développée et assez rarement mise en œuvre. Elle met bien en évidence les choix implicites ou explicites faits entre BT et BU. Elle nécessite que l'on s'assure pour chacun des types de barrières (BT ou BU) que les barrières sont homogènes en efficacité (P. Perilhon 2012).

2.4.5 Etape 5 : Gérer les risques

Pour terminer l'analyse, avec les scénarios identifiés et en recensant les moyens d'intervention et leur mise en œuvre à travers l'organisation, on crée les plans d'intervention en cas d'accidents. Ces plans sont destinés à montrer qu'il est possible de faire face aux ENS, s'ils surviennent, et qu'il est possible d'en limiter les effets.

On peut à ce niveau sur chacun des ENS ayant fait l'objet d'un ADD, construire un arbre d'événement (causes-conséquences), qui aide à identifier les conséquences de cet événement suivant l'efficacité des moyens mis en place pour en limiter les effets s'il survient.

Il est aussi possible de placer des barrières sur cet arbre pour neutraliser ou limiter les conséquences des événements qu'il fait apparaître. Ces barrières sont du type barrières de protection, procédures en cas d'accident, procédures ultimes en bout de l'arbre.

Cet arbre est donc symétrique de l'ADD par rapport à l'ENS, par soucis de lisibilité les arbres d'évènement seront divisés, cela dit cette étape va se focaliser exclusivement sur les risques géotechniques qui ne vont concerner que les phénomènes qui induisent les mouvements de terrains (figure 4.28 et 4.29).

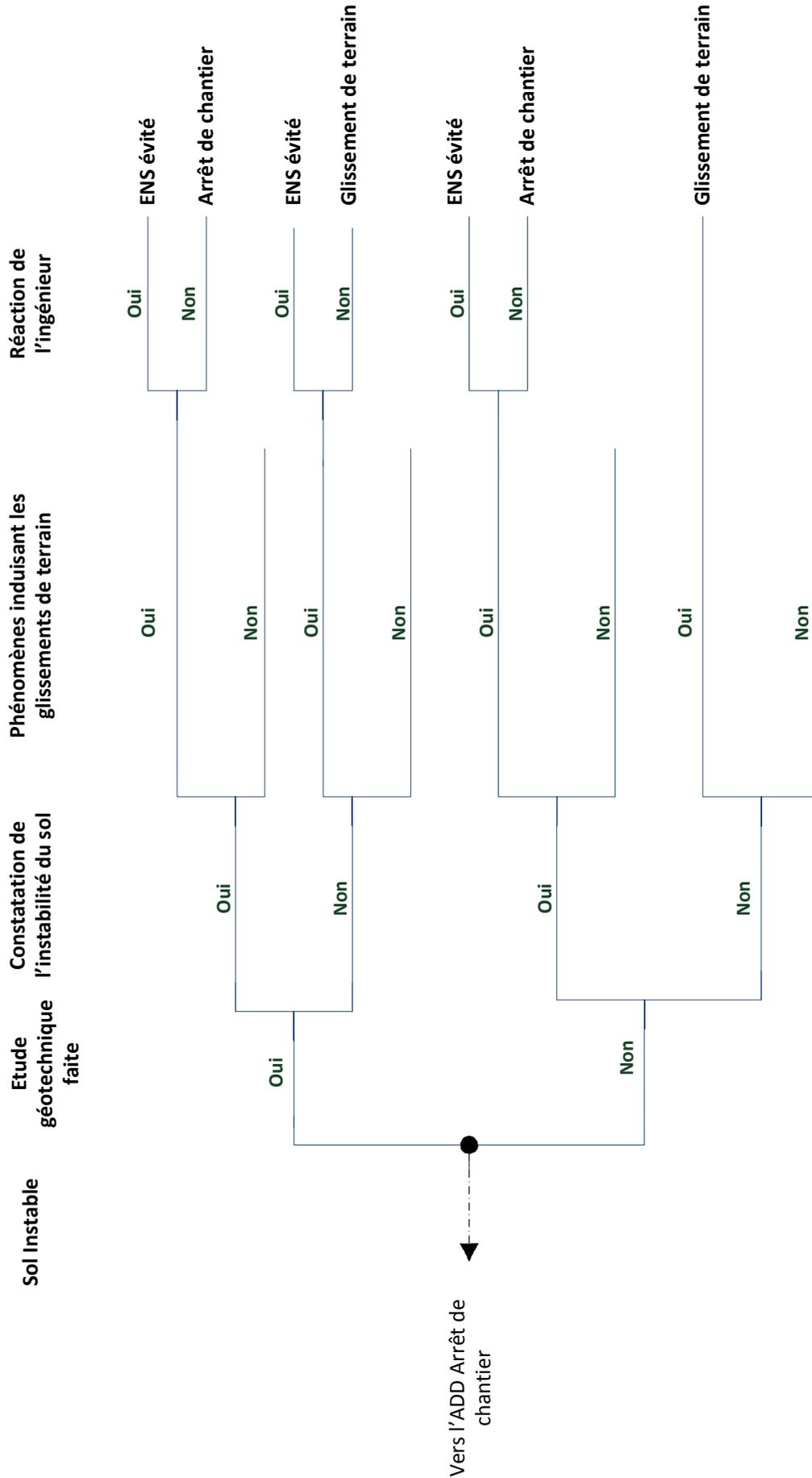


Figure 4.28 : Arbre d'événement Arrêt de chantier 1 (Glissement de terrain)

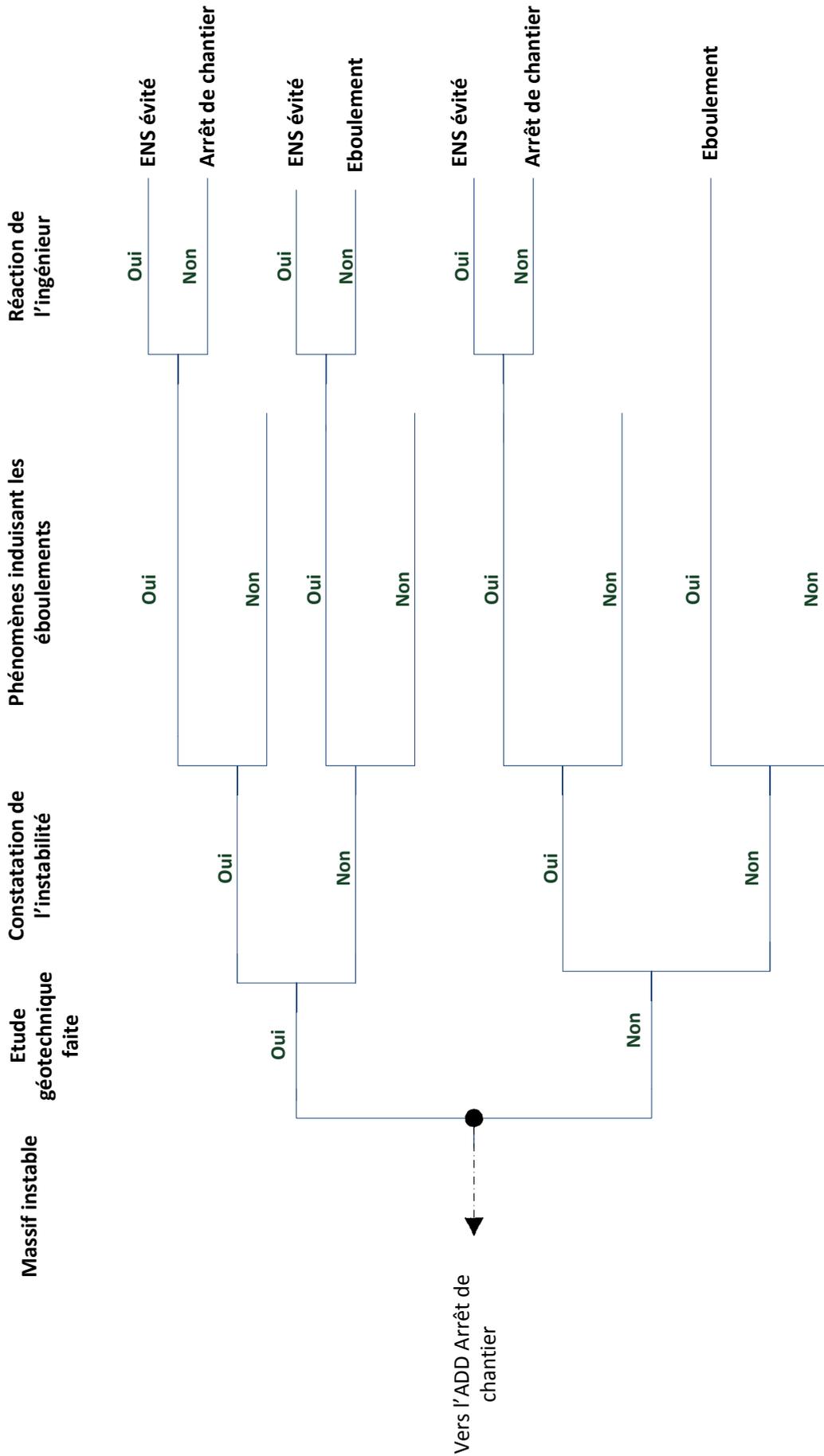


Figure 4.29 : Arbre d'événement Arrêt de chantier 1 (Eboulement)

2.5 Conclusion sur le module B

Le module B est à présent terminé. Synthétisons maintenant cette partie de l'analyse:

- On va tout d'abord identifier les dysfonctionnements technique et opératoires suivant les arbres logiques du module B ;
- Les dysfonctionnement opératoire seront fait à partir d'une analyse d'activité, c'est-à-dire comparer l'activité prescrite et l'activité réelle à partir d'une série d'observations de la ressource humaine ;
- Les dysfonctionnements techniques sont fait à partir de tableau AMDEC (ou HAZOP, suivant les cas) ;
- L'analyse d'activités et les tableaux AMDEC (ou HAZOP) vont nous donner les arbres de défaillances ;
- Après ça, on quantifie les ADD ;
- On négocie des objectifs précis de de prévention en négociant les allocations de barrières et en les répartissant sur les ADD, suivant au moins deux configurations différentes ;
- On crée le tableau D qui regroupe l'intégralité des barrières ;
- Pour finir, on crée les plans d'intervention en cas d'accidents grâce aux arbres d'évènements.

3. CONCLUSION

Au terme de chapitre on voit bien que les principes de la systémique nous démontrent que quel que soit le projet (industrie ou construction), il est tout à fait possible d'utiliser la méthode MOSAR (ou MADS-MOSAR) en y apportant les modifications nécessaires. En effet le module A nous donne une vision macroscopique, ce qui nous permet de définir les sources de danger, les interactions entre les scénarios et l'identification des barrières pour neutraliser les scénarios identifiés.

Le module B affine notre analyse en y ajoutant les autres outils de maîtrise des risques tels que l'AMDEC et les arbres de défaillance pour donner une liste exhaustifs des barrières à mettre en place pour prévenir tous les risques répertorié dans notre projet routier.

CONCLUSION

« LA COMPREHENSION EST LE
DEBUT DE L'APPROBATION. »

ANDRE GIDE

CONCLUSION

Ce travail d'initiation à la recherche effectué à la faculté de la technologie de l'université de Tlemcen, en plus des apprentissages effectués, nous a permis de mettre en évidence la nécessité et l'importance de la mise en œuvre d'un système de gestion des risques dans tout projet de construction en général, et particulièrement pour les projets routiers.

Afin d'aboutir à un ouvrage routier durable, et techniquement et qualitativement inséré dans le paysage, la mise en place des études géotechniques dès le début de la conception de tous les éléments constitutifs du projet apparaît comme primordiale. La géotechnique est indispensable à l'art de construire ; l'ignorer conduit presque toujours au dommage, à l'accident, voire à la catastrophe. Ainsi, les études géotechniques doivent être nécessairement mises en œuvre conformément aux exigences, documents techniques réglementaires et normes spécifiques.

Le projet routier comme n'importe quel autre projet nécessite donc un management des risques. Malgré leurs importances économiques et sociales, malheureusement on remarque l'absence quasi-totale de cette notion au niveau de ces projets. Pour la réalisation d'un projet routier les risques géotechniques peuvent être acceptés en mettant tous les moyens pour les gérer, les transférer en une assurance, les partager ou bien les éviter.

Le projet routier est souvent soumis à des risques géotechniques, multiples, pouvant influencer son bon avancement et sa planification. Quel que soit le type de risques, ces derniers ont un impact très fort sur les coûts, les délais, le contenu du projet, ainsi que sur la pérennité de l'infrastructure routière.

Il existe en effet différents risques géotechniques impactant le projet routier.

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle (glissement de terrain, éboulement, coulée de boue, affaissement et effondrement, retrait et gonflement) ou anthropique (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.). Par leur diversité et leur fréquence, ils sont néanmoins responsables de dommages et de préjudices importants et coûteux.

Les risques liés aux mesures et incertitudes in-situ et/ou au laboratoire, qui sont dus, à la variabilité intrinsèque des caractéristiques des matériaux et milieux naturels étudiés, et aussi aux appareils de mesure, voire aux facteurs humains sont à prendre en considération dans le management des risques géotechniques. Il est à noter que pour, maîtriser les risques liés aux mesures et incertitudes, les laboratoires géotechniques devraient être accrédités par la norme ISO 17025 afin d'assurer la qualité (justesse, fidélité et précision) des mesures.

Il existe aussi d'autres familles des risques impactant le projet routier, qui sont les phénomènes de dégradations de la chaussée. La gestion des risques doit prendre en considération la particularité de chaque type de dégradation, par exemple, le plus important pour la fissuration, est de prévoir le moment où la fissuration va se déclencher avant qu'elle n'apparaisse en surface ; mais, pour les autres dégradations, les déclenchements commencent dès la mise en circulation de la chaussée, et donc la gestion des risques doit mettre en œuvre les mesures nécessaires pour faire face aux phénomènes de dégradations avant et après le déclenchement. Ainsi, une bonne compréhension et une bonne connaissance du risque sont nécessaires quant à l'application des méthodes d'analyse.

Dans la partie théorique de ce projet ; la présentation des outils, les généralités sur les risques, ainsi que le recensement des risques géotechniques dans les projets routier nous ont permis l'acquisition des connaissance indispensable à l'utilisation des outils par la suite ; d'autre part l'utilisation de l'analyse fonctionnelle et de l'approche systémique a permis de mieux voir les risque de chaque sous-système de la route et par conséquent, faciliter l'analyse des risques par les outils et méthode (AMDEC, MADS-MOSAR, etc.)

L'utilisation de MOSAR (ou MADS-MOSAR) nous montre que les risques géotechniques les plus importants sur le projet de route sont les glissements de terrain et les éboulements. Aussi les phénomènes de dégradation de la chaussée sont très présents sur chaque étape de la méthode et sont principalement dûs à l'erreur humaine. On notera aussi que l'utilisation de la méthode par son formalisme fait ressortir d'autre risque qui ne sont pas lié à la géotechnique et induisent presque à chaque fois l'arrêt du chantier. Le recensement final des barrières donne une liste exhaustive de solutions à mettre en place pour prévenir tous les risques répertoriés dans la méthode. La question sera alors, est-ce que le traitement de ces risques est techniquement et/ou économiquement faisable ou non ?

Enfin, on peut dire que l'analyse des résultats obtenus dans ce travail pouvait, être plus rigoureuse. En effet, l'utilisation de ces méthodes n'est pas l'affaire d'une seule personne, mais bel et bien d'un groupe pluridisciplinaire réunissant des experts qui donnent chacun leurs avis sur les risques qui concernent leur domaine de compétences. Aussi les données sur le cas de la bretelle A on était insuffisante pour mener avec exactitude la méthode. Cela dit, les objectifs sont atteints, on voit bien à travers notre travail, qui s'est principalement concentré sur la phase étude/réalisation en raison des risques géotechniques qui y apparaissent, que les méthodes MOSAR (ou MADS-MOSAR) ainsi qu'AMDE (ou AMDEC) sont parfaitement adaptables au domaine routier.

Cependant, plusieurs interrogations survenues pendant le développement et la réalisation de ce modeste travail ont suscité chez nous quelques problématiques qui pourraient faire objet de futurs axes de recherche :

- Peut-on utiliser MADS-MOSAR ainsi que les autres outils dans tout le cycle de vie d'un projet routier ?
- Mesure de l'impact de la méthode MADS-MOSAR sur le management des coûts, des délais ainsi que sur le management du contenu pour un projet de route.
- Analyse comparative des différentes méthodes et outils de gestion des risques dans un projet routier.

BIBLIOGRAPHIE

- ❑ **AIPCR (2010)** « *Vers le développement d'une approche de gestion des risques* », Comité technique AIPCR 3.2 Gestion des risques liés aux routes, (France).

- ❑ **ALAIN DESROCHES (2012)** « *Gestion des risques d'un projet* », Techniques de l'Ingénieur [se2040], (France).

- ❑ **ALAIN GOARANT** « *la norme NF ISO 31000 ; un texte unificateur* »,

- ❑ **ALLAL M. A., (2012)** « *Management des risques du projet* », Cours photocopié pour post graduation, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, (Algérie).

- ❑ **ANDREEWSKY E., (1991)** « *Systémique et cognition* », éd. Dunod, (France).

- ❑ **DURAND D., (2006)**, « *La systémique* », éd. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris, (France).

- ❑ **F. AUDRY (2010)** « *La démarche d'Analyse Fonctionnelle* », Guide pour le professeur », (France).

- ❑ **FELLAHI W. (2012)** « *Caractérisation et résilience des risques géotechniques dans un projet routier* » Mémoire de master en Génie civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).

- ❑ **GROUPE AFSCET (2003)** « *L'approche systémique : de quoi s'agit-il ?* » Synthèse des travaux du groupe AFSCET. (France).

- ❑ **GUIDE GERMA (2011)** « *La formation au management des risques dans les projets de génie civil et urbain, mallette pédagogique* » (France).

- ❑ **GUIDE GERMA (2012)** « *Management des projets complexes de génie civil et urbain Guide pratique pour la maîtrise et la gestion des risques* ». (France).

- ❑ **HAKIKI K.A. née BENACHENHOU (2010)** « *La conduite des missions géotechniques par la qualité : essai de modélisation systémique* » Mémoire de Magister en Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).

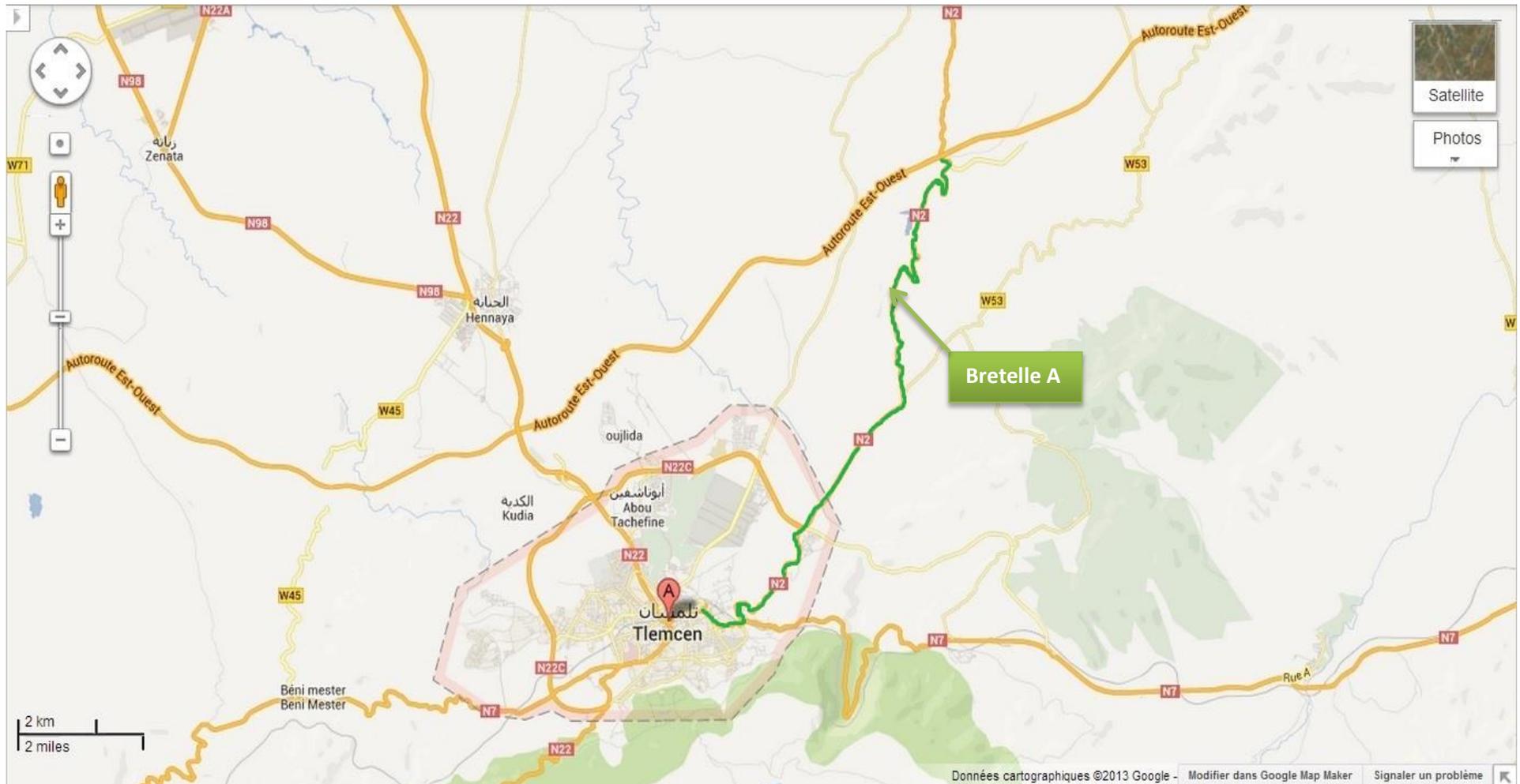
- ❑ **JEAN LE RAY (2012)** « *Organisation du management du risque et traitement des risques* », Techniques de l'ingénieur, [g9210], (France).
- ❑ **JEAN LE RAY (2012)** « *Référentiel de gestion du risque et cartographie globale des risques* », Techniques de l'ingénieur, [g9010], (France).
- ❑ **JEAN LE RAY (2012)** « *Premiers pas dans le management du risque* », Techniques de l'Ingénieur, [g9000]. (France)
- ❑ **JEAN LE RAY** « *Déploiement d'un système de management du risque* », Techniques de l'Ingénieur, [g9200]. (France).
- ❑ **KARA TERKI D. (2011)** « *L'approche systémique et l'analyse des risques. Cas des systèmes hydrauliques de la wilaya de Tlemcen* » Mémoire de Magister en Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).
- ❑ **LASRI Y. & HAMOUDI A. (2012)** « *Etude de la bretelle principale A de l'échangeur de la RN02 sur 4km avec un pont cadre* » Mémoire de master en Génie civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).
- ❑ **MEGNOUNIF A., (2012)** « *Ingénierie des systèmes* », Cours photocopié pour post graduation, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, (Algérie).
- ❑ **MICHEL RIDOUX (2012)** « *AMDEC - Moyen* », Techniques de l'Ingénieur [ag4220], (France).
- ❑ **NF EN ISO/CEI 17025, (2005)** « *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais* », Norme française, AFNOR, (France).
- ❑ **OLIVIER GRANDAMAS5 (2012)** « *Méthode MADS-MOSAR - Pour en favoriser la mise en œuvre* », Techniques de l'Ingénieur [se4062], (France).
- ❑ **PIERRE MARTIN (2005)** « *Géotechnique appliquée au BTP* », EYROLLES, (France).
- ❑ **PIERRE MARTIN (2007)** « *Ces risques que l'in dit naturels* », EYROLLES, (France).
- ❑ **PIERRE PERILHON (2012)** « *MOSAR-Cas industriel* », Techniques de l'Ingénieur [se4061], (France).
- ❑ **PIERRE PERILHON (2012)** « *MOSAR-Présentation de la méthode* », Techniques de l'Ingénieur [se4060], (France).
- ❑ **SAUVANT D.** « *Principes généraux de modélisation systémique* ».
- ❑ **THIERRY VERDEL** « *Méthodologie d'évaluation globale des risques, application potentielles au génie civil* », (France)

- ❑ **Tristan LORINO** « *autopsie d'une chaussée* », Laboratoire centrale des ponts et chaussées, (France).
- ❑ **WAKIM J., (2005)** « *Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses* », Thèse de doctorat en Technique et Economie de l'Exploitation du Sous-sol, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, (France).
- ❑ **YVES MORTUREUX (2012)** « *Arbres de défaillance, des causes et d'événement* », *Techniques de l'Ingénieur* [se4050], (France).
- ❑ **YVES MORTUREUX** « *AMDE (C)* », *Techniques de l'Ingénieur* [se4040], (France).

ANNEXES

Information sur la bretelle principale « A »

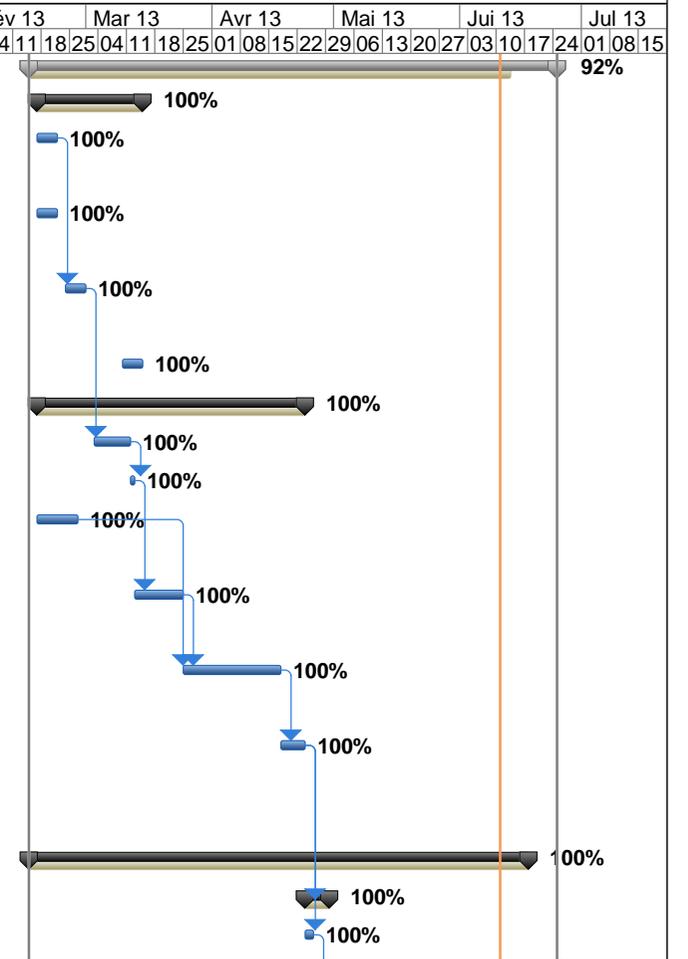
Profils en travers	<ul style="list-style-type: none"> - Chaussée : 2 x 3.5m ; - Accotement : 2 x 1.3m.
Nature du sol	<ul style="list-style-type: none"> - Argile peu plastique ; - Marne ; - Sable Argileux.
Couches de la chaussée	<ul style="list-style-type: none"> - Couche de roulement : 3,5cm ; - Couche de liaison : 5cm ; - Couche de base : 11cm ; - Couche de fondation : 20cm ; - Epaisseur Totale : 29,5cm.
Travaux de terrassement	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur max du remblai : 15.42m - Hauteur max du déblai : 23.49m
Situation géologique	<ul style="list-style-type: none"> - Existence d'un ravin en U ; - Le ravin est une rivière saisonnière ; - Eau souterraine : 3.5m à 4m en dessous du sol ;
Topographie	<ul style="list-style-type: none"> - Zone constitué de collines où le relief est peu accidenté ; - Altitude terrestre : 510m ; - Végétation développé.



Situation de la bretelle principale "A" de l'échangeur de la RN02

Sequencement PFE Final

N°	Nom de la tâche	Début réel	Fin réelle	% achevé	Durée réelle	Durée restante	Timeline						
							Fév 13	Mar 13	Avr 13	Mai 13	Jui 13	Jul 13	
0	Sequencement PFE 2010 Final	Ven 15/02/13	NC	92%	84,58 jours	7,42 jours	04 11 18 25 04 11 18 25 01 08 15 22 29 06 13 20 27 03 10 17 24 01 08 15 92%						
1	Recherche bibliographique	Dim 17/02/13	Jeu 14/03/13	100%	20 jours	0 jour	100%						
2	Generalité sur les risques geotechnique	Dim 17/02/13	Jeu 21/02/13	100%	5 jours	0 jour	100%						
3	Management des risques Geotechnique	Dim 17/02/13	Jeu 21/02/13	100%	5 jours	0 jour	100%						
4	Outils de maitrise des risques	Dim 24/02/13	Jeu 28/02/13	100%	5 jours	0 jour	100%						
5	Synthese de redaction	Dim 10/03/13	Jeu 14/03/13	100%	5 jours	0 jour	100%						
6	Etude de cas	Dim 17/02/13	Mar 23/04/13	100%	48 jours	0 jour	100%						
7	Description du cas	Dim 03/03/13	Lun 11/03/13	100%	7 jours	0 jour	100%						
8	cadrage du projet routier	Mar 12/03/13	Mar 12/03/13	100%	1 jour	0 jour	100%						
9	Approche systemique d'un projet routier	Dim 17/02/13	Mar 26/02/13	100%	8 jours	0 jour	100%						
10	Analyse Fonctionnelle d'un projet routier	Mer 13/03/13	Dim 24/03/13	100%	8 jours	0 jour	100%						
11	application des outils AMDEC et MADS-MOSAR	Lun 25/03/13	Mer 17/04/13	100%	18 jours	0 jour	100%						
12	validation de la pertinence des outils de maitrise des risques	Jeu 18/04/13	Mar 23/04/13	100%	4 jours	0 jour	100%						
13	Redaction du document	Ven 15/02/13	Lun 17/06/13	100%	87 jours	0 jour	100%						
14	Chaptire 01	Mer 24/04/13	Lun 29/04/13	100%	4 jours	0 jour	100%						
15	Generalite	Mer 24/04/13	Jeu 25/04/13	100%	2 jours	0 jour	100%						



Critique		Fin uniquement		Récapitulatif manuel	
Fractionnement critique		Durée uniquement		Récapitulatif du projet	
Avancement de la tâche critique		Planification		Tâches externes	
Tâche		Fractionnement planifié		Jalons externes	
Fractionnement		Jalon planifié		Tâche inactive	
Avancement de la tâche		Jalon		Jalon inactif	
Tâche manuelle		Récapitulation de l'avancement		Récapitulatif inactif	
Début uniquement		Récapitulative		Échéance	

RESUME

Ce travail fait partie d'une série de recherches consacrée au management des risques géotechniques dans les projets routiers, avec une mise en œuvre d'outils et de méthodes spécifiques de maîtrise des risques. Pour commencer, on définira les notions de base concernant les risques, en y abordant l'essentiel des activités relatives au management des risques conformément à la norme ISO 31000. Après avoir passé en revue ces généralités, nous nous étalerons sur les principaux outils de maîtrise des risques qui vont être utilisés. Ensuite, on reviendra sur les principales phases du projet routier ainsi que les risques géotechniques rencontrés dans les ouvrages de route, qu'ils soient d'origine naturelle, humaine ou liés aux essais. La partie la plus originale de ce travail sera d'utiliser des outils et les méthodes de maîtrise des risques (MADS-MOSAR et AMDEC), jusque-là employés essentiellement dans le domaine de l'industrie, à un cas concret d'ouvrage routier en faisant appel à la modélisation systémique et à l'analyse fonctionnelle. A la fin, on démontrera la pertinence de ces outils dans le domaine du management des risques géotechniques des ouvrages routiers.

Mots clé : Risque ; Géotechnique ; Systémique ; AMDEC ; MADS-MOSAR ; ISO 31000 ; Projet routier

SUMMARY

This work is part of a series of studies devoted to the management of geotechnical risks in highway projects with implementing specific tools and methods of risk control. To begin, we define the basics of risk, by approaching there the main part of the activities relating to the management of the risks in accordance with the standard ISO 31000. After reviewing these generalities, we will be spread out over the principal tools for control of the risks which will be used. Then, one will reconsider the principal phases of the road project the geotechnics risks met in the works of road, whether they are of natural, human origin or related to the tests. The most original part of this work is to use tools and methods of risk control (MADS-MOSAR and AMDEC), previously used mostly in the industry field,, in a concrete case of road work by calling upon systemic modeling and the functional analysis. At the end, we demonstrate the relevance of these tools in the field of geotechnical risk management road works.

Keywords: Risk, Geotechnical, systemic, AMDEC, MADS-MOSAR, ISO 31000, Highway Project

المخلص

هذا العمل جزء من مجموعة بحوث خاصة بالمناجمنت الاخطار التكنولوجية في مشاريع انجاز الطرقات ،مع وضع ادوات و مناهج خاصة للتحكم في الأخطار. في بداية المشروع، سنعرّف المعلومات الأساسية ذات علاقة بالأخطار ،مع احاطتها بأهم النشاطات المتعلقة بمناجمنت الأخطار طبق المرجع ISO 31000. بعد التعرّيج على هذه العموميات، تتوسّع في أهم الأدوات الازمة و المستعملة للتحكم. ثم نعود إلى المراحل الكبرى من مشروع إنشاء الطرقات و الأخطار التكنولوجية التي يتلقاها أثناء هذه المشاريع، سواء كانت طبيعية ،بشرية أو ذات صلة بالمحاولات. الجزء الأكثر استثناء في هذا العمل، هو استعمال الأدوات و المناهج الخاصة للتحكم في الأخطار (MADS MOSAR و AMDEC) لحدّ الآن ،المستعملة خاصة في الميدان الصناعي ،سنطبقها ميدانيا ،في مشروع انجاز طريق و ذلك بالمرجعية إلى تمثيل جهازي و تحليل لأهمية كلّ عنصر في جها و أخيرا، سنبرهن أهمية و مصدقيه هذه الأدوات في ميدان مناجمنت الأخطار التكنولوجية في مشاريع انجاز الطرقات.

الكلمات الرئيسية:

رطاخملا، ال ج يوت قذية ال نظامية، ، AMDEC، MADS-MOSAR ، ISO 31000 مشروع الطريق