

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCCEN



Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option Géotechnique

Thème

**Management Des Risques Géotechniques par la
méthode MADS-MOSAR : cas de la pénétrante
autoroutière GHAZAOUET-TLEMCCEN**

Par

HOUBAD Nour El Houda Saliha

CHELIHI Nawel

Soutenu en Octobre 2019 devant le jury composé de

BEKKOUCHE.A	Professeur	Université de Tlemcen	Président
ALLAL.M.A	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
BENACHENHOU.K.A	Maitre de conférences B	Université de Tlemcen	Encadreur
HAMZAOUI.F	Maitre de conférences B	Université de Tlemcen	Examineur

Remerciements

Au terme de notre projet de fin d'étude, mon gratitude et mes sincères remerciements s'adressent à ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Avant toute chose, Je remercie, Dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi qui nous a guidé jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus distinguées :

À Monsieur le Professeur ALLAL M. A. de nous avoir fait l'honneur d'assurer l'encadrement de notre travail, nous vous sommes très reconnaissants d'avoir veillé à son élaboration, et je vous présente ma profonde gratitude pour vos conseils judicieux.

À Madame BENACHENHOU K. A. ép. HAKIKI, Maître de conférence B à l'Université de Tlemcen qui n'a épargné aucun effort pour nous soutenir et orienter tout le long de la période du PFE, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement, sa disponibilité, son appui et ses conseils et le temps qu'elle a consacré pour nous.

Je tiens à remercier vivement messieurs les membres du jury d'avoir consacré leur temps à la lecture de ce manuscrit, d'accepter de juger et d'évaluer notre travail.

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel au niveau de la base CRCC en particulier monsieur DJELLIL Mohammed et monsieur SEKKAK Mustapha d'avoir accepté de répondre à nos nombreuses questions et d'expliquer tout ce qui est important par rapport au projet et le temps qu'ils nous ont alloué. Je vous remercie chaleureusement.

Je tiens à remercier :

Mes chers parents, en témoignage de leur gratitude de leur dévouement, et leurs soutiens et leurs prières permanant durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral, tout simplement je vous aime.

Mon marie HABCHI.A pour sa compréhension, son soutien et encouragement, tu es la source de mon inspiration et de mon courage.

Mes sœurs Wahiba, Fatima et ses petits-enfants Affaf, Abasse, Aicha, Sif islam

Ma belle sœur Nassima et son marie Soufwane.

Mon beau-père Hakim, Ghania, Nadir et Oussama.

A mon cher binôme Nour el houda saliha pour tous les moments de joie et de peines qu'on a passées ensemble, à sa famille aussi.

Nawel.

Remerciements

À travers ces lignes timides je vais m'exprimer ainsi qu'exprimer mes plus sincères gratitude.

J'aimerais commencer en remerciant les gens sacrés : tous mes enseignants tout le long de mes années d'études.

j'adresse mes vifs reconnaissances et respects à mes encadrants pour leurs précieux conseils leur compétences et leur disponibilité, à Mr ALLAL Mohammed Amine pour nous avoir pousser de faire mieux en mieux ,et à Mme BENACHENHOU Kamila Amel pour sa patience et pour ses remarques et conseils à la fois gentils et fermes. Je remercie aussi les membres de jury Mr BEKKOUCHE Abdelmalek et Mr HAMZAOUI Fethi, pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail. Je n'oublierai jamais que vous étiez aussi mes enseignants.

Je tiens à remercier Mr DJELLIL Mohammed et Mr SEKKAK Mostapha de nous avoir aidé pour avoir les informations nécessaires sur la pénétrante autoroutière et de sacrifié une partie de leur temps précieux pour nous.

« Merci » spécial aux membres de ma petite famille. Tout d'abords à mes parents bien-aimés qui ont toujours été là pour moi pendant les moments de joies et les moments difficiles, Mon père Mohammed, le soldat invisible qui m'a toujours soutenu pour rendre mes rêves une réalité. Ma mère Zakia, qui est mon amie proche, mon 'idole', mon exemple parfait de mère, qui m'a dit un jour lorsque j'étais enfante : « les médecins pourraient trouver un remède à chaque maladie et y laisser un médecin ça s'arrêterait, mais il y a toujours quelque chose de nouveau et de créatif pour les architectes et les ingénieurs civils » les choses peuvent être différentes maintenant mais ces paroles sont engravés à mon esprit et me voilà maintenant à cause d'eux. Et ma famille ne sera jamais complète sans mes très chers frères Mohammed Tahar, Abdou, Amina, Farouk et surtout ma sœur Aicha pour leur amour et soutien.

J'adresse mes remerciements à mon amie et binôme Nawel de m'avoir partagé les moments difficiles et de me faire confiance, sans oublier mes collègues « la promotion géotechnique » pour créer une ambiance familiale c'était vraiment la famille géotechnique.

Nour El Houda Saliha

Résumé

Depuis quelques années, malgré la multiplication des projets routiers et autoroutiers en Algérie, le management des risques y est très timide. Ce travail fait partie d'une série de recherche consacrée au management des risques géotechniques dans les projets routiers, avec une mise en œuvre d'outils spécifiques de maîtrise de risques. Pour cela, nous avons commencé par définir les notions des risques et mettre en revue les risques dans la construction en se focalisant sur les risques géotechniques qui peuvent être d'origine naturelle ou anthropique et peuvent causer de gros dommage au projet. Par la suite, on a présenté les principaux outils et méthodes de maîtrise des risques en présentant la méthode utilisée et son domaine d'application (MADS-MOSAR). La dernière partie est consacrée à la mise en œuvre de la méthode MADS-MOSAR au cas de la pénétrante autoroutière Ghazaouet-Tlemcen.

Mots Clés : Risques, Géotechnique, projet routier, MADS-MOSAR.

Abstract

In recent years, despite the proliferation of road and highway projects in Algeria, risk management is very shy. This work is part of a series of research dedicated to the management of geotechnical risks in road projects, with the implementation of specific tools for risk management. For this, we started by defining the notions of risks and putting in place review risks in construction by focusing on geotechnical hazards that may be of natural or anthropogenic origin and may cause significant damage to the project. Subsequently, the main tools and methods of risk management were presented by presenting the method used and its field of application (MADS-MOSAR). The last part is devoted to the implementation of the MADS-MOSAR method in the case of the penetrating highway Ghazaouet-Tlemcen.

Keywords: Risks, Geotechnics, Road project, MADS-MOSAR.

الملخص

في السنوات الأخيرة ، على الرغم من انتشار مشاريع الطرق والطرق السريعة في الجزائر ، فإن إدارة المخاطر قليلة للغاية. هذا العمل جزء من سلسلة من الأبحاث المكرسة لإدارة المخاطر الجيوتقنية في مشاريع الطرق ، مع تطبيق أدوات محددة لإدارة المخاطر ، ولهذا بدأنا بتحديد مفاهيم المخاطر وتنفيذها. مراجعة المخاطر في البناء من خلال التركيز على المخاطر الجيوتقنية التي قد تكون ذات أصل طبيعي أو من صنع الإنسان وقد تتسبب في أضرار كبيرة للمشروع. بعد ذلك تم تقديم الأدوات والأساليب الرئيسية لإدارة المخاطر من خلال شرح الطريقة المستخدمة ومجال تطبيقها (MADS-MOSAR). يكرس الجزء الأخير لتنفيذ طريقة MADS-MOSAR في حالة الطريق السريع المخترق غزوات تلمسان.

كلمات البحث: المخاطر، الجيوتقنية، مشاريع الطرق، MADS-MOSAR.

TABLE DES MATIERES

Remerciement.....	iii
Remerciement.....	iv
Résumé.....	v
Abstract.....	v
الملخص.....	vi
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 LES RISQUES DANS UN PROJET DE CONSRTUCTION.....	3
1- INTRODUCTION.....	4
2- LES NOTIONS DU RISQUE.....	4
2-1 Définition du risque.....	4
2-2 L'aléa.....	5
2-3 La vulnérabilité.....	5
2-4 La probabilité.....	6
2-5 Gravité.....	6
3- TYPES DES RISQUES.....	6
4- LES RISQUES GÉOTECHNIQUES DANS UN PROJET ROUTIER.....	7
4-1 Les risques naturels.....	8
4-2 Les risques anthropiques.....	13
4-3 Les risques affectant la chaussée.....	13
4-4 Les risques liées aux mesures et incertitudes.....	14
5- L'IMPORTANCE DE LA GÉOTECHNIQUE DANS UN PROJET ROUTIER.....	15
6- LES MISSIONS GÉOTECHNIQUES SUIVANT LA NORME NF-P94-500 V 2013.....	16

7- OUTILS ET MÉTHODES DE MAITRISE DE RISQUES.....	17
7-1 AMDEC.....	17
7-2 La méthode HAZOP.....	19
7-3 Arbre de défaillance.....	22
7-4 Arbre de cause.....	25
7-5 Arbre d'évènement	27
7-6 Risk Breakdown Structure.....	28
7-7 MADS-MOSAR.....	30
7-8 Critères de choix d'une méthode de management de risque.....	30
8- CONCLUSION.....	32
CHAPITRE 2 SYNTHÈSE DE LA MÉTHODE MADS-MOSAR.....	33
1- INTRODUCTION.....	34
2- MADS-MOSAR.....	34
2-1 La méthode MADS-MOSAR.....	34
2-2 Le modèle MOSAR.....	34
2-3 Description de MADS.....	37
2-4 La mise en œuvre de MADS-MOSAR.....	39
2-5 Avantages et limites de la méthode.....	42
3- EXEMPLES DE CAS D'ANALYSE DE RISQUES AVEC MADS-MOSAR.....	44
4- LOGICIELS POUR LA GESTION DE RISQUE.....	45
4-1 @RISK.....	45
4-2 TDC FTA.....	47
5- CONCLUSION.....	48

CHAPITRE 3 APPLICATION DE LA MÉTHODE MADS-MOSAR DANS LE PROJET DE LA PÉNÉTRANTE AUTOROUTIERE GHAZAOUET-TLEMCEN.....	49
1- INTRODUCTION.....	50
2- PRÉSENTATION DE PROJET.....	50
3- APPLICATION DE LA MÉTHODE MADS-MOSAR.....	51
3-1 Étape 1 Modélisation de système étudié en sous systèmes.....	51
3-2 Étape 2 Identification des sources.....	54
3-3 Étape 3 Association des événements.....	55
3-4 Étape 4 Construction des processus.....	68
3-5 Étape 5 Construction des scénarios.....	79
3-6 Étape 6 Constriction des arbres logiques.....	97
3-7 Étape d'évaluation et hiérarchisation des scénarios	103
3-8 Étape 7 Identification de mesures de maîtrise des risque.....	116
3-9 Étape 8 Identification de mesure de pérennité.....	118
4- CONCLUSION	119
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	120
BIBLIOGRAPHIE.....	121

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Types des risques géotechniques dans un projet routier.....	7
Figure 1.2 : Glissement de terrain.....	8
Figure 1.3 : Éboulement précédé par un glissement.....	10
Figure 1.4 : Coulée de boue.....	11
Figure 1.5 : Affaissement résultant d’une activité minière.....	11
Figure 1.6 : Processus de l’effondrement.....	12
Figure 1.7 : Retrait/Gonflement.....	12
Figure 1.8 : Processus de l’arrachement.....	14
Figure 1.9 : Enchaînement des missions géotechniques.....	16
Figure 1.10 : Le domaine d’application de la méthode AMDEC au fil du temps.....	17
Figure 1.11 : Principe de l’AMDEC.....	18
Figure 1.12 : Démarche de l’HAZOP.....	21
Figure 1.13 : Silhouette d’un arbre de défaillance.....	23
Figure 1.14 : Silhouette d’un arbre des causes.....	26
Figure 1.15 : Silhouette d’un arbre des évènements.....	28
Figure 1.16 : Model de RBS.....	29
Figure 2.1 : Description de la méthode MOSAR.....	35
Figure 2.2 : Une Utilisation très simple de MOSAR.....	36
Figure 2.3 : Parcours simplifié de MOSAR.....	37
Figure 2.4 : Le modèle MADS.....	38
Figure 2.5 : Typologie des flux de danger.....	39
Figure 2.6 : Découpage d’un système en sous-systèmes.....	40
Figure 2.7 : Évènements associés aux sources de danger.....	41
Figure 2.8 : Fenêtre du logiciel @RISK.....	46
Figure 2.9 : Le logiciel FTA.....	47

Figure 3.1 : Décomposition du système en sous-système source de danger.....	53
Figure 3.2 : Boite noire du SS1 Chaussée.....	68
Figure 3.3 : Boite noire du SS2 Engins de la route.....	69
Figure 3.4 : Boite noire du SS3 Équipements.....	70
Figure 3.5 : Boite noire du SS4 Piles.....	71
Figure 3.6 : Boite noire du SS5 Tablier.....	72
Figure 3.7 : Boite noire du SS6 Enginsdu viaduc.....	73
Figure 3.8 : Boite noire du SS7 Équipement du viaduc.....	74
Figure 3.9 : Boite noire du SS8 Acteurs du projet.....	75
Figure 3.10 : Boite noire du SS9 Engins du viaduc.....	76
Figure 3.11 : Boite noire du SS10 Environnement globale.....	77
Figure 3.12 : Boite noire du SS11 Ressources humaines.....	78
Figure 3.13a : Scenarios courts du SS1 CHAUSSEE.....	80
Figure3.13b : Scenarios courts du SS1 CHAUSSEE.....	81
Figure 3-14a : Scénarios courts du SS2 ENGIN DE LA ROUTE	81
Figure 3-14b : Scénarios courts du SS2 ENGIN DE LA ROUTE.....	82
Figure 3-15a : Scénarios courts du SS3 Équipements de la route.....	82
Figure 3-15b : Scénarios courts du SS3 Équipements de la route.....	83
Figure 3-16a : Scénarios courts du SS4 Les piles	83
Figure 3-16b : Scénarios courts du SS4 Les piles	84
Figure 3-17 : Scénarios courts de SS5 tablier.....	85
Figure 3-18 : Scénarios courts du SS6 Engins du viaduc	86
Figure 3-19 : Scénarios courts du SS7 Équipement du viaduc	87
Figure 3-20a : Scénarios courts du SS8 Acteurs du projet.....	88
Figure 3-20b : Scénarios courts du SS8 Acteurs du projet.....	89
Figure 3-21 : Scénarios courts du SS9 Environnement spécifique.....	90
Figure 3-22 : Scénarios courts du SS10 Environnement globale.....	91
Figure 3-23 : Scénarios courts du SS11 Ressources humaines.....	92

Figure 3-24 : L'enchaînement des évènements.....	93
Figure 3-25a : Scénarios longs d'enchaînement des événements.....	94
Figure 3-25b : Scénarios longs d'enchaînement des événements.....	95
Figure 3-25c : Scénarios longs d'enchaînement des événements.....	96
Figure 3-26 : Arbre logique dégradation de la chaussée.....	98
Figure 3-27 : Arbre logique arrêt de chantier.....	99
Figure 3-28 : Arbre logique dépassent de délais.....	100
Figure 3-29 : Arbre logique dépassent de budget.....	101
Figure 3-30 : Arbre logique glissement de terrain.....	102
Figure 3-31 : Grille de l'échelle Gravité/Probabilité de l'analyse qualitative.....	102
Figure 3-32a : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS1 Chaussée.....	104
Figure 3-32b : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS2 engins de la route.....	105
Figure 3-32c : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS3 équipement de la route.....	106
Figure 3-32d : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS4 Pile.....	107
Figure 3-32e : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS5 tablier.....	108
Figure 3-32f : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS6 Engins de viaduc.....	109
Figure 3-32g : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS7 équipement du viaduc.....	110
Figure 3-32h : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS8 acteurs de projet.....	111
Figure 3-32i : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS9 environnement spécifique.....	112
Figure 3-32j : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS10 environnement globale.....	113
Figure 3-32k : Grilles Gravité xProbabilité pour le SS11 ressources humaines.....	114
Figure 3-33 : Grilles Gravité xProbabilité Globale.....	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Considérations pour le choix du type d'analyse et de la profondeur de l'étude.....	31
Tableau 3.1 : Géométrie du projet (1 ^{er} tronçon)	50
Tableau 3.2 : Les parties prenantes du projet	51
Tableau 3-3 : Système source de danger dans la construction.....	54
Tableau 3-4 : Établissement de processus de danger de sous-système chaussé	56
Tableau 3-5 : Établissement de processus de danger de sous-système : engins de la route..	57
Tableau 3-6 : Établissement de processus de danger de sous-système équipements de la route	58
Tableau 3-7 : Établissement de processus de danger de sous-système pile	59
Tableau 3-8 : Établissement de processus de danger de sous-système tablier	60
Tableau 3-9 : Établissement de processus de danger de sous-système engins du viaduc.....	61
Tableau 3-10 : Établissement de processus de danger de sous-système Équipements du viaduc.....	62
Tableau 3-11 : Établissement de processus de danger de sous système Acteurs du projet	63
Tableau 3-12 : Établissement de processus de danger de sous-système Environnement spécifique.....	65
Tableau 3-13 : Établissement de processus de danger de sous-système environnement globale	66
Tableau 3-14 : Établissement de processus de danger de sous-système Ressources humaines	67
Tableau 3-15 : Identification des barrières	117

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

AMDE	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effet
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effet et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire des Risques
BT	Barrière Technologique
BU	Barrière d'Utilisation
CEI	Commission International
CRCC	China Railway Construction Corporation
C. S. D. G	Groupement (CRCC. SERROR. DENOUNI)
EI	Événement Initial
EIE	Événements Initiateurs Externes
EII	Événements Initiateurs Internes
ENS	Évènement Non Souhaité
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité.
EP	Événements Principaux
ER	Évènement Redouté
FHCC	First Highway Construction Co
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
HAZOP	Hazard and Operability analysis
ICI	Imperial Chemical Industries
ISO	International Standard Organization
KDEC	Kyong Dong Engineering Co
LTPO	Laboratoire des Travaux Public d'Ouest
LTPS	Laboratoire des Travaux Public de Sud
MADS	Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnements des systèmes

MOSAR	Méthode Organisé Systémique d'Analyse des Risques
RBS	Risk Breakdown Structure
REX	Retour d'Expérience
UIC	Union des industries chimiques
WBS	Work breakdown structure

INTRODUCTION GENERALE

Dans le secteur de la construction, de nombreux accidents sont survenus avec un impact important sur les infrastructures et les vies humaines à cause de non prise en compte des risques.

De ce fait, une révolution en management des risques dans de nombreux domaines est apparue et a conduit les chercheurs et les managers de projet à développer des méthodes et des outils pour une meilleure maîtrise des risques.

La gestion des risques n'est pas nouvelle. Depuis l'aube des temps, l'être humain a toujours essayé de mettre en place des actions « basiques » pour que les risques ne se produisent pas. Par exemple, si des inondations se produisaient, il suffisait juste de mettre un obstacle en bois ou en pierre pour bloquer la circulation de l'eau. On n'en déduit que l'être humain était conscient des risques mais ne pouvait pas mesurer leurs impacts ni prévenir leurs survenances. En effet, selon DIONNE (2013) dans son ouvrage intitulé "Gestion des risques: histoire, définition et critique », les termes modernes de gestion des risques sont apparus après la Seconde Guerre mondiale, mais cette discipline a débuté principalement par une étude sur l'intégration de l'assurance pour la gestion des risques.

En Algérie, dans le secteur de la construction, on constate une relance des grands projets d'infrastructures, avec des échéances précises. Malheureusement, les retards accusés et les surcoûts engendrés ainsi que les dégradations et les malfaçons observées dans certains projets nous confirment que l'industrie de la construction manque de maîtrise dans le pilotage des projets, et particulièrement en ce qui concerne le management des risques projet (BENACHENHOU, 2019). On peut recenser beaucoup d'exemples. Le plus flagrant et qui a fait couler beaucoup d'encre est le projet de l'autoroute Est-Ouest qualifié de projet « jetable » (CHELGHOUIM, 2017, cité dans BENACHENHOU, 2019).

Ainsi, l'ingénieur doit intégrer le management des risques tout le long du projet afin d'assurer la qualité et la durabilité des ouvrages routier en Algérie.

On retrouve plusieurs méthodes de gestion des risques mais elles sont utilisées principalement dans le domaine industriel. Dans ce mémoire, notre objectif est d'utiliser la méthode MADS MOSAR issue du secteur industriel et parfaitement adaptée au secteur de la construction (BENACHENHOU, 2019) dans un cas concret de projet de construction dans le périmètre des risques géotechniques.

Ce mémoire comprend, après une introduction générale, trois parties essentielles :

Dans le premier chapitre, nous présenterons quelques concepts et définitions liées à la notion du risque en précisant les différents types de risques. Par la suite, on présentera l'importance de la géotechnique dans un projet routier ainsi que l'enchaînement des missions géotechniques suivant la norme NF-P94 500(2013). On conclura par l'exposé des différents outils et méthodes de maîtrise des risques et comment choisir la méthode la plus adapté au type de projet.

Le deuxième chapitre de ce mémoire sera une synthèse de la méthode MADS-MOSAR et son application dans différents domaines.

Le troisième et dernier chapitre de ce mémoire présentera notre cas d'étude la pénétrante autoroutière Ghazaouet-Tlemcen, ainsi que l'application de la méthode MADS-MOSAR. Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale qui met en valeur les principaux résultats obtenus et observations constatées.

Chapitre 1

LES RISQUES DANS UN PROJET DE CONSTRUCTION

*Prends des risques dans ta vie ...
Si vous gagnez, vous pouvez mener, si
vous perdez, vous pouvez guider.*

-SWAMI VIVEKANANDA-

1- INTRODUCTION

Les projets de construction peuvent être considérablement complexes et chargés de risques et incertitudes. Ces derniers peuvent devenir nuisibles pour le projet de construction (FLANAGAN et al, 2006).

Dans ce chapitre nous allons dans un premier temps donné quelques concepts et définitions liées à la notion du risque, décrire les différents types de risques en se focalisant sur les risques géotechniques. Par la suite, on présentera l'importance de la géotechnique dans un projet routier ainsi que l'enchaînement des missions géotechniques suivant la norme NF-P94 500(2013). On conclura par l'exposé des différents outils et méthodes de maîtrise des risques et comment choisir la méthode la plus adaptée au type de projet.

2- LES NOTIONS DU RISQUE

2-1 Définition du risque

La notion « risque » recouvre des significations différentes pour : le spécialiste de l'environnement, l'assureur, le banquier, l'ingénieur, etc.

Se basant sur la notion 'événement' ; Le risque se définit comme une entité à deux dimensions ; probabilité d'une part et conséquences d'autre part : mesure d'un danger associant une mesure d'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses conséquences.

Selon BERNOULLI (1738), le risque est l'espérance mathématique d'une fonction de probabilité d'événements.

Dans le domaine financier : Le risque est défini comme un élément d'incertitude qu'on peut quantifier et qui affecte le déroulement d'une opération économique ou des activités financières.

Selon LE PETIT ROBERT (1996), le risque se définit comme un danger éventuel plus ou moins prévisible « l'éventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage ».

Selon la norme ISO 31000 (2009) : le risque est défini comme : « l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs ».

Dans l'ingénierie civile, le risque est défini comme le produit de la probabilité d'occurrence d'un événement (aléa) par la conséquence de cet événement (vulnérabilité).

Alors, on peut conclure qu'un risque est défini et mesuré comme le produit d'un aléa par une vulnérabilité.

- Risque=aléa*vulnérabilité
- Risque = (Probabilité*Intensité)*Vulnérabilité
- Risque = Probabilité*(Intensité*Vulnérabilité)
- Risque = Probabilité*Gravité.

On retient pour notre travail la dernière relation de risque définie comme le produit des deux dimensions : Probabilité d'occurrence et Gravité.

2-2 L'aléa

On appelle un « aléa » un évènement potentiellement dangereux. Il devient un risque s'il s'applique à une zone où des enjeux : humaines, économiques, environnementaux sont en présence (BEKKOUCHE, 2017).

L'aléa qualifie tout évènement, phénomène ou activité humaine imprévisible (BREYSSE, 2009). Il est souvent accompagné d'une quantification : fréquence ou probabilité d'un phénomène d'une nature et d'une intensité donnée, dans une zone géographique donnée et sur une durée de référence, et qui peut provoquer la perte de vies humaines, des blessures, des dommages à l'environnement ou matériels ainsi que des perturbations sociales ou économiques.

Généralement, les aléas peuvent être classifiés comme suit:

- a) Aléas naturels : il correspond à un processus physique soit climatique soit à la dynamique de terre : tempête, vague de froid, forte précipitations ou sécheresse, tsunamis, inondation, volcanisme, orage.
- b) Aléas technologiques : équipements industriels, pesticides, herbicides.
- c) Aléas sociaux : les guerres, sabotage, terrorisme, les maladies.

2-3 La vulnérabilité

La vulnérabilité est un ensemble de processus et conditions résultant au moment de la catastrophe. Donc « La vulnérabilité » est l'impact d'un risque sur les enjeux, elle peut être physique ou fonctionnelle humaine, socio-économique et environnementale.

La norme ISO Guide 73/2009 définit la vulnérabilité comme la propriété intrinsèque de quelque chose entraînant une sensibilité à une source de risque pouvant induire une conséquence.

2-4 Probabilité

Suivant ISO Guide 73 (2009), la probabilité est définie comme « Le degré de vraisemblance pour que le risque se produise ».

Cette probabilité peut être évaluée de manière qualitative ou quantitative.

- L'évaluation qualitative consiste à affecter une valeur sur une échelle ordinale (par exemple : très faible, faible, forte et très forte).
- L'évaluation quantitative quant à elle, affecte une valeur numérique à cette probabilité.

Elle est aussi définie comme « la mesure de la possibilité d'occurrence exprimée par un chiffre entre 0 et 1 :

- Zéro (0) indiquant une impossibilité et Un (1) indiquant une certitude absolue » (ISO Guide 73, 2009).

2-5 Gravité

La gravité est la mesure de l'intensité des conséquences susceptibles de résulter de l'occurrence d'un événement indésirable ou d'un aléa. La gravité peut aussi être utilisée en phase de prévision : c'est alors une évaluation de l'impact probable de danger (BREYSSE, 2009).

3- TYPES DE RISQUES

Les risques dans la construction peuvent être subdivisés en deux catégories : les risques naturels et les risques anthropiques.

- a) Les risques naturels** : aussi connus comme risques environnementaux qui touchent directement la construction ou non comme : les catastrophes naturelles, l'état climatique, les conditions géologiques et géotechniques du site.

Ils sont définis selon BREYSSE(2009) comme suit : « Le risque naturel est un événement dommageable intégrant une certaine probabilité, conséquence d'un aléa naturel susceptible de survenir dans un milieu vulnérable ».

Selon la nature de l'aléa, le risque naturel peut être classé en plusieurs catégories (BREYSSE, 2009) :

- Risques d'origine tellurique : volcanisme, séisme...
- Risques d'origine climatiques et météorologiques : sécheresse, tempêtes...
- Risques d'origine géologique : mouvements de terrain...

b) Les risques anthropiques : le mot anthropique vient du mot grec « anthropos » c'est à dire «homme » et de là on dit que les risques anthropiques sont les actions relatives à l'activité humaine.

Les risques anthropiques présentent plusieurs catégories de risques. On retrouve :

- Risques technologiques
- Risques liés aux conflits
- Risques professionnels
- Risques de la vie quotidienne
- Risques de transport collectifs

4- LES RISQUES GÉOTECHNIQUES DANS UN PROJET ROUTIER

Comme le sol est l'assise de tout ouvrage, la connaissance des risques géotechniques est indispensable pour tous les projets.

Pour les projets routiers on peut distinguer quatre catégories de risques géotechniques présenté dans la figure1.1 suivante :

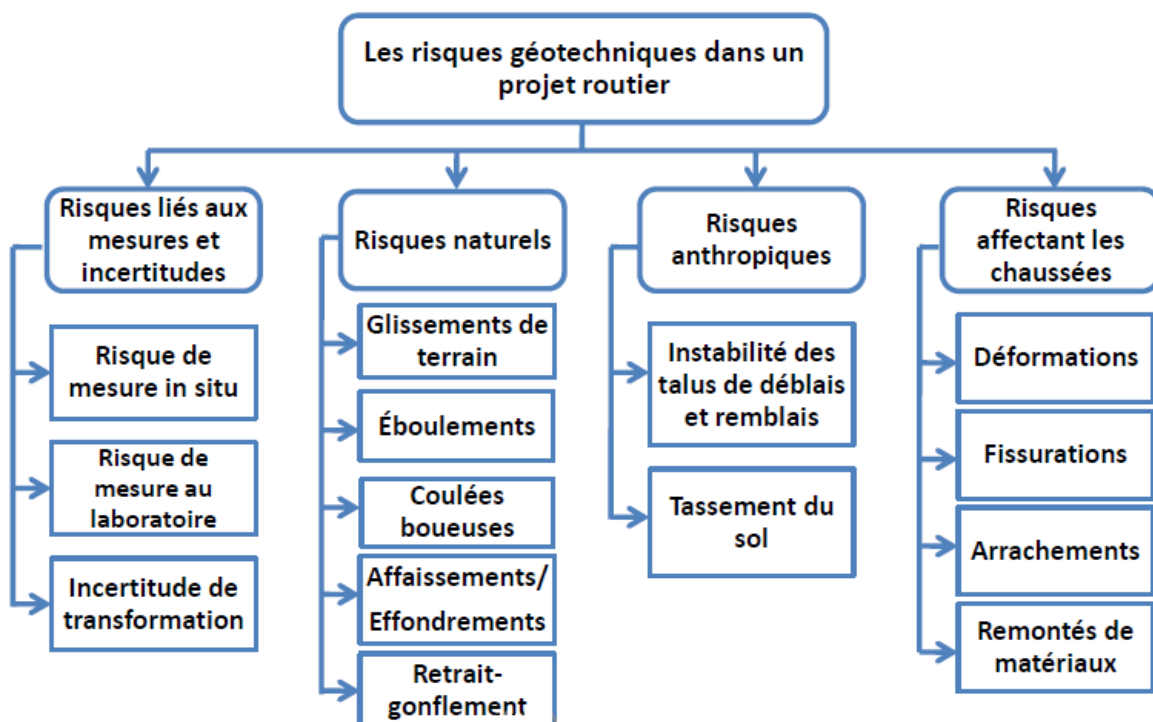


Figure 1-1 Types des risques géotechniques dans un projet routier (FELLAHI, 2012).

4-1 Les risques naturels

4-1-1 Les glissements des terrains

Les glissements de terrains sont les mouvements des masses de terrain en pente. Ces mouvements peuvent être des déplacements soudains ou lents et progressifs et qui touchent les terrains meubles sensibles à l'eau, ce dernier est en général un facteur déclencheur du glissement. La figure ci-dessous représente un glissement de terrain.



Figure 1-2 Glissement de terrain (Ghazaouet ; 2016)

Le passage de l'état stable à l'état instable est lié à des causes nombreuses et variées qui viennent s'ajouter aux conditions initiales, intrinsèques au terrain. On distingue des causes directes et indirectes:

4-1-1-1 Les causes directes (AMAROUCHE et BADOUD, 2015)

a. Le climat

- L'infiltration d'eau dans un terrain (pluie, neiges, etc.) a des conséquences sur la cohésion du matériel qui offre, de fait, moins de résistance au cisaillement.
- Des surpressions se produisent sous des blocs ou sous terrain lui-même, s'il y'a une importante présence d'eau. Notamment lorsqu'une partie du terrain est gelée.
- Le poids du sol augmente avec l'humidité, ce qui augmente les forces déstabilisantes.

b. Causes mécanique

- Sismicité et vibration dues à un séisme ou à des activités humaines ;
- Augmentation momentanée du poids du terrain qui peut suffire pour que le seuil de stabilité soit franchi et que le terrain se met en mouvement.

- Le phénomène de thixotropie : soumis à des vibrations, certains matériaux comme les argiles, par exemple, peuvent passer de l'état solide à l'état liquide.
- Modification de la répartition des masses par érosion en pied de versant par une Rivière par exemple ou par surcharge en haut d'une pente lors de la construction des ouvrages de génie civil ou génie minier.

4-1-1-2 Causes indirectes (AMAROUCHE et BADOUD, 2015)

a. La géologie

- La lithologie (composition, texture, granulométrie, caractères). Par exemple dans le cadre d'un glissement, les argiles sont particulièrement sensibles à l'eau.
- La structure : le pendage, la présence de joints soit de stratification, de plis ou de schistosité.

b. La pente

- Les pentes les plus sujettes aux glissements ont une inclinaison qui va de 20 à 30 °

c. La végétation

- La végétation a un rôle non négligeable car elle intervient au niveau des échanges d'eau (évapotranspiration) et au niveau de la cohésion et de la fixation du sol.

d. Le contexte hydrogéologique et hydrographique

- En premier lieu il concerne, la perméabilité du massif, les circulations d'eau souterraine, le drainage (hydrogéologie) et en deuxième lieu le réseau hydrographique (ruissellement, proximité d'une source).

e. Le contexte climatique

- Englobant la pluviométrie annuelle totale, la répartition des précipitations annuelle, la possibilité d'accumulation de neige, et la température moyenne ainsi que l'évolution climatique.

4-1-2 Les éboulements

Les éboulements (ou chute des roches) sont des phénomènes qui touchent les roches cohérentes ; Ils sont généralement précédés par un glissement ou un basculement de la masse rocheuse concerné (Figure1.3).



Figure 1-3 Éboulement rocheux (Tizi-Ouzou; 2015)

Les principales causes d'éboulement sont (CHERKI et HEMAHI, 2014) :

- La nature des terrains et les conditions hydrogéologiques et géologiques ;
- La croissance de la végétation ou au contraire sa disparition ;
- Les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges ;
- Écroulement de la falaise qui limite un massif de roche fissuré ;
- Variations de températures (Gel et dégel) ;
- Les séismes représentent un facteur aggravant ;
- Eau : plusieurs types de circulation d'eau affectent les formations de la falaise :
- L'érosion en surface par les eaux de pluie ;
- L'action souterraine des eaux de pluie infiltrées (processus plus ou moins lents de dissolution ou d'érosion interne augmentant les fissurations ; remontées de nappes) ;
- Érosion par les eaux de ruissellement du talus argileux de la base de la falaise.

4-1-3 Les coulées boueuses

Les coulées boueuses sont des phénomènes rapides qui affectent les masses des matériaux remaniés soumis à une forte pression de l'eau. Cela est à cause de la perte de cohésion dans ces matériaux (Figure 1.4).



Figure 1-4 Coulée de boue (Bejaia; 2018)

Soit d'une forte pluviométrie ou d'une fonte des neiges ; l'eau représente le facteur déclencheur des coulées de boues. Les coulées apparaissent dans des matériaux meubles lorsque leur teneur en eau augmente de manière importante. La mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion.

4-1-4 Affaissement/Effondrement

Ces deux risques naturels sont des déformations à la surface verticale de terrain qui peuvent causer des ruptures visibles ou non et qui passent rapidement ou lentement (Figures1-5,1-6)

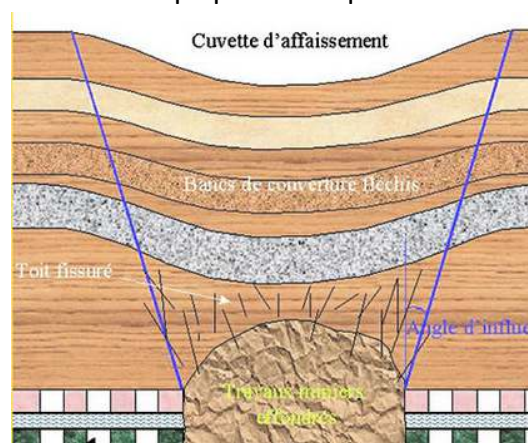


Figure 1-5 affaissement résultant d'une activité minière

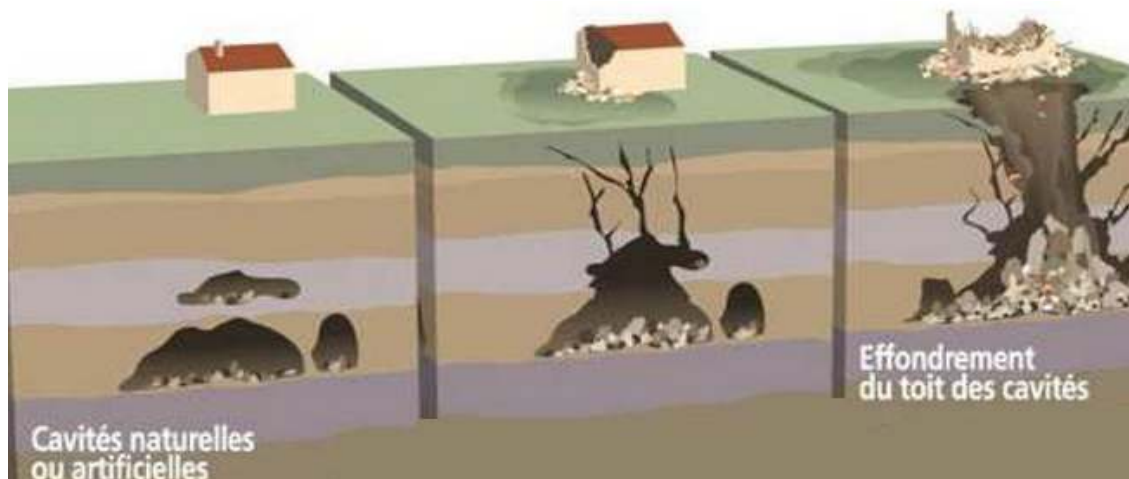


Figure 1-6 Processus de l'effondrement

Les affaissements sont généralement provoqués par : (CHERKI et HEMAHI, 2014)

- Les infiltrations d'eau (eaux usées, eaux pluviales, eaux de drainage) ;
- La consolidation progressive de sédiments subactuels plus ou moins organiques ;
- Évolution de cavités souterraines ou des vides naturels par dissolution de roches solubles, calcaires, gypses, etc. ;
- Le dégel ou la sécheresse.

4-1-5 Retrait/Gonflement

Ces phénomènes lents sont liés aux variations hydriques du sol. Ils conduisent à la détérioration des infrastructures et parfois des bâtiments (Figure 1.7).

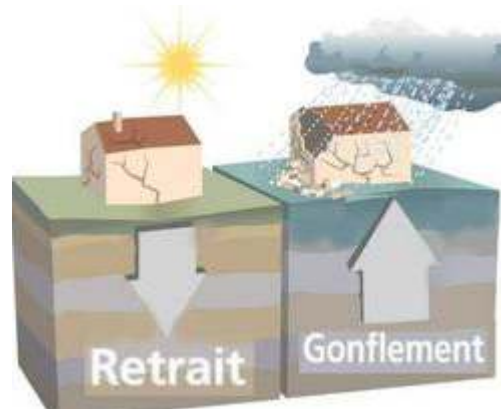


Figure 1-7 Retrait/Gonflement

Les facteurs intervenant dans le retrait-gonflement sont :

- Caractéristiques du sol : nature, hétérogénéité ;
- La topographie de surface : elle constitue un facteur permanent de prédisposition et d'environnement qui peut conditionner la répartition spatiale du phénomène de retrait/gonflement ;

- Variations climatologiques : durée des périodes de pluie et des périodes de sécheresse ;
- Modifications de l'équilibre hydrique créées par imperméabilisation, drainage, concentration de rejet d'eau pluviale ;
- La présence de végétation : phénomène accentué par la présence importante d'arbres à proximité, qui accentuent considérablement l'ampleur du phénomène en augmentant l'épaisseur de sol asséché.

4-2 Les risques anthropiques

4-2-1 L'instabilité des talus en remblais et en déblais

L'instabilité des talus en remblais et en déblais est due au changement de la topographie ou l'équilibre des masses comme la création des surcharges au sommet d'un talus ou la suppression d'une butée stabilisatrice en pied.

4-2-2 Les tassements du sol

Le tassement peut être provoqué par des vibrations dus au séisme ou par le poids des engins du trafic routier ou par rabattement de niveau de la nappe phréatique.

4-3 Les risques affectant les chaussées

4-3-1 Les déformations

Les déformations de la chaussée sont dues à la charge lourde des véhicules issue d'un sous-dimensionnement ou fatigue de la chaussée (changement des propriétés mécaniques de la chaussée)

4-3-2 Les fissurations

Les fissurations sont principalement dues à l'effet du gel et dégel et à cause de la fatigue de la chaussée. Elles affectent surtout la couche de roulement.

4-3-3 Les arrachements

Les arrachements sont des phénomènes qui touchent uniquement la couche de roulement. Ils s'expliquent par un double phénomène : le climat et la circulation comme présenté dans la (Figure1-8) ci-dessous :

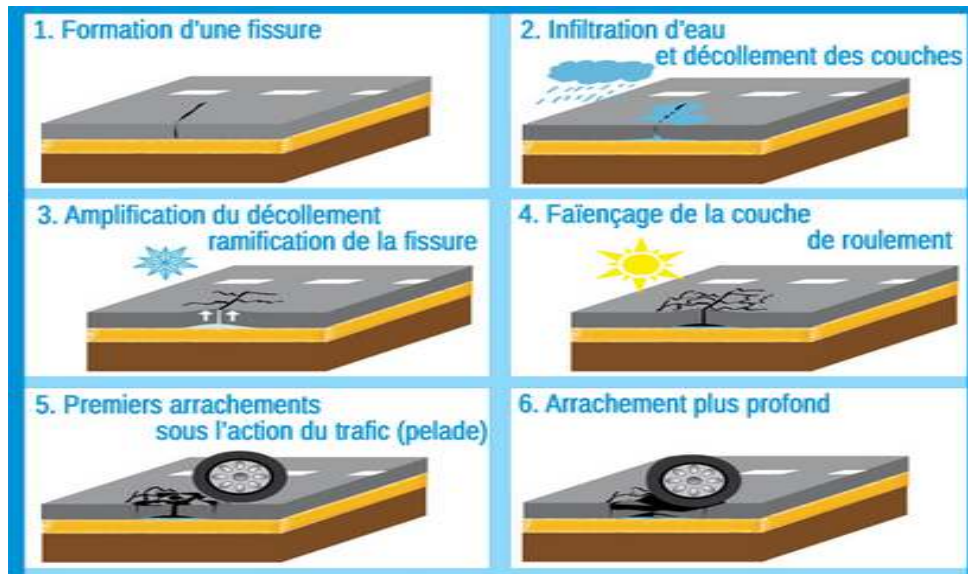


Figure 1-8 Processus de l'arrachement

4-4 Les risques liés aux mesure et incertitudes

4-4-1 Risques de mesure in situ

Les risques de mesure in situ sont des erreurs causées inconsciemment par le manipulateur incluant l'échantillonnage ou à cause d'un appareil non étalonné.

4-4-2 Risques de mesure au laboratoire

De nombreux facteurs déterminent l'exactitude et la fiabilité des essais et/ou des étalonnages effectués par un laboratoire. Ces facteurs peuvent comprendre des éléments provenant :

- de facteurs humains ;
- des installations et conditions ambiantes ;
- des méthodes d'essai et d'étalonnage et de la validation des méthodes ;
- de l'équipement ;
- de la traçabilité du mesurage ;
- de l'échantillonnage ;
- de la manutention des objets d'essai et d'étalonnage.

La mesure dans laquelle ces facteurs contribuent à l'incertitude totale diffère sensiblement selon les essais (et types d'essais) et selon les étalonnages (et types d'étalonnages). Le laboratoire doit prendre ces facteurs en compte lors de l'élaboration des méthodes et procédures d'essai et d'étalonnage, dans la formation et la qualification du personnel, ainsi que dans la sélection et l'étalonnage de l'équipement utilisé (ISO 17025, V2005).

4-4-3 Incertitudes de transformation

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... ou l'ego de l'ingénieur). Réduire de façon significative la fréquence et l'importance des défaillances requiert donc d'identifier, de maîtriser et d'efforcer de réduire les risques liés aux facteurs humains. La défaillance est l'aboutissement d'une séquence causale complexe. Chaque stade de la séquence est affecté d'incertitudes souvent difficiles à évaluer. Certains des éléments intervenant dans les séquences causales ne sont pas aisément modélisables. C'est par exemple le cas d'une erreur de calcul grossière dans un projet ou de l'oubli d'une circonstance possible (FAVRE, 2004, cité par FELLAHI, 2012).

5- L'IMPORTANCE DE LA GÉOTECHNIQUE DANS UN PROJET ROUTIER

La prolifération des constructions sous toutes leurs formes ainsi que leurs extensions à des terrains de moins en moins favorables avaient montré que la géologie ne répondait plus aux besoins des techniciens de la construction. C'est pour parer à cette constatation d'insuffisance que s'est développée la discipline dite "la géotechnique" (BEKKOUCHE, 2016).

La compréhension de l'ingénierie géotechnique comme elle est connue aujourd'hui a commencé depuis le dix-huitième siècle (SKEMPTON, 1985, cité par BRAJA, 2006).

Depuis longtemps l'art de l'ingénierie géotechnique a été basé seulement sur l'expérience des générations passée sans aucun caractère scientifique. Sur la base de ces expériences plusieurs structures ont été construites, certaines se sont effondrées, d'autres existent jusqu'à maintenant. D'après, Karl Terzaghi, le fondateur de la nouvelle ère en mécanique de sol, a conduit les ingénieurs à développer des branches en géotechnique spécifiques à la nature de l'ouvrage. Allant de l'ouvrage d'art (barrage, viaduc...) jusqu'à une simple maison. Parmi ces branches on cite la géotechnique routière.

La géotechnique routière est la branche qui s'intéresse à étudier les sols à usage routier, elle traite les problèmes liés à la route dans ces différentes couches ; plate-forme, couche de fondation, couche de base.

La construction d'une infrastructure routière nécessite des études géotechniques fiables et bien gérées pour développer des solutions techniques aux problèmes structurels de chaussée, de traitement des déblais, des remblais lors des travaux de terrassement et pour donner à la route les caractéristiques géométriques et techniques la rendant compatible avec sa destination fonctionnelle, aussi vis-à-vis des contraintes physiques des sols traversés.

Finalement, pour assurer la meilleure pérennité, la sécurité totale de l'ouvrage et pour faire lever un maximum d'incertitudes sur le sol et le sous-sol pour la conception et la stabilisation de n'importe quel projet de construction ; il est nécessaire de donner aux études géotechniques toute leur importance. Elles doivent être effectuées par un géotechnicien qualifié tout le long de cycle de vie du projet.

6- LES MISSIONS GÉOTECHNIQUES SUIVANT LA NORME NF-P94 500 V2013

L'ingénierie géotechnique doit comprendre et expliquer les comportements des sols pour assurer la bonne projection du projet sur le terrain. Ainsi, la norme NF-P 94 500(2013) définit les différentes « missions d'ingénierie géotechnique classification et spécification ». Ces missions doivent suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques.

La norme NF-P94 500 précise pour chaque mission les éléments à réaliser par le géotechnicien, les éléments à fournir afin de réaliser la mission dans les meilleures conditions. La figure 1-9ci-dessous représente l'enchaînement de ces missions.

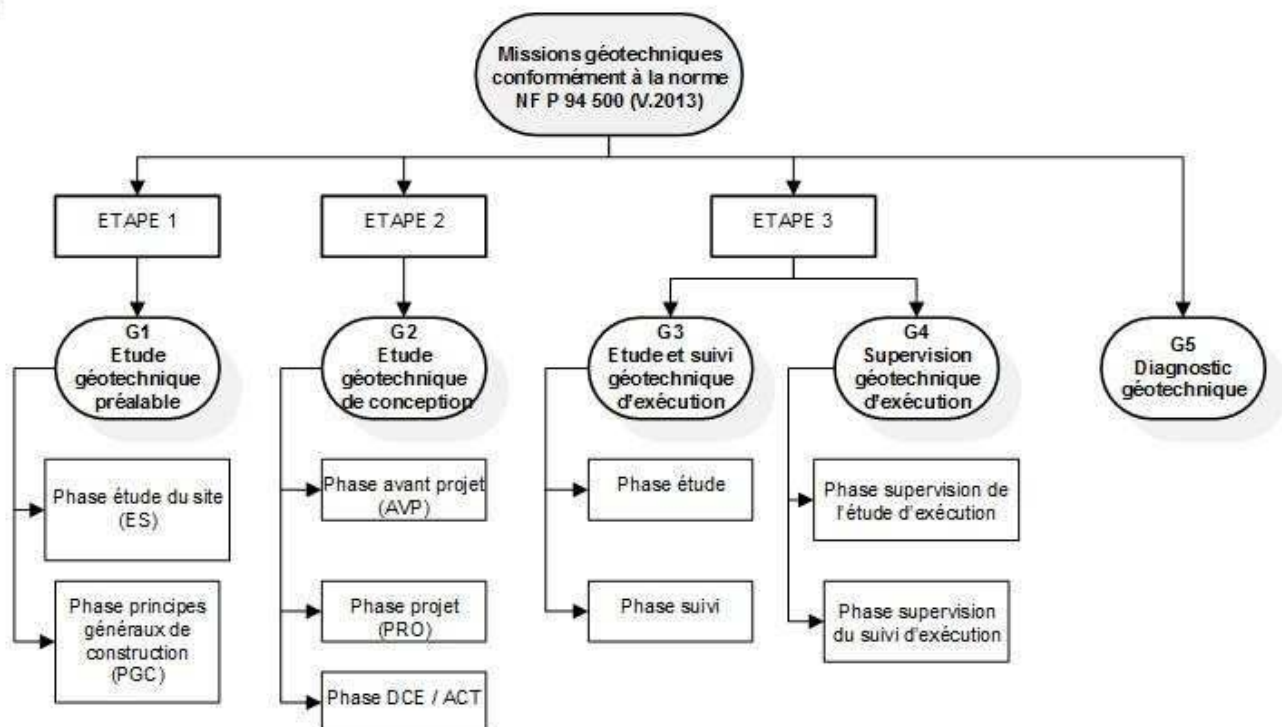


Figure 1-9 Enchaînement des missions géotechniques (BENACHENHOU, 2019)

7- OUTILS ET MÉTHODES DE MAITRISE DES RISQUES

Il existe plusieurs outils et méthode pour la gestion des risques, le manager de projet doit être capable de choisir la méthode la plus adaptée au projet.

7-1 AMDEC

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

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

7-1-1 Historique et domaine d'application

La méthode Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets de leurs Criticité est traduit de l'anglais « Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) » est apparue fin des années 1950. La méthode fut ensuite appliquée à plusieurs domaines.

La figure 1-10 ci-dessous représente le domaine d'application de l'AMDEC au fil du temps :

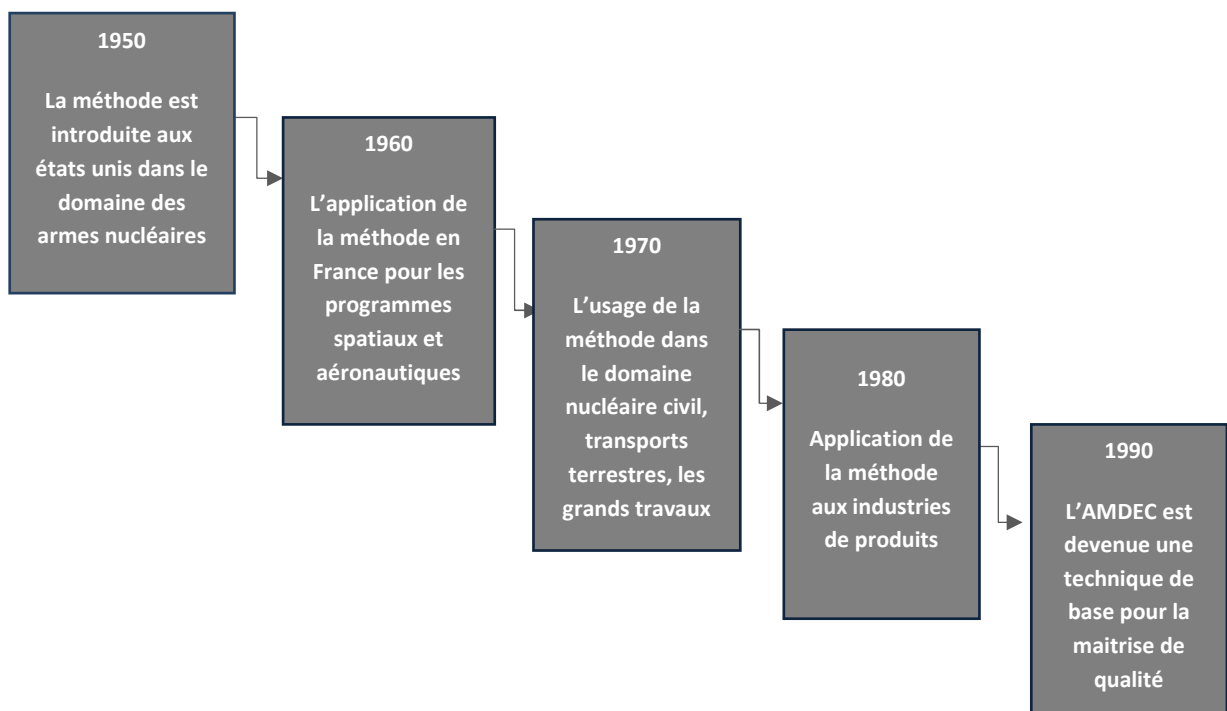


Figure 1-10 Le domaine d'application de la méthode au fil du temps

La méthode a fait ses preuves dans le domaine d'industrie : Spatiale, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique et informatique. Il existe 3 types de L'AMDEC suivant le système à analyser : AMDEC produit, processus et production.

➤ **AMDEC processus**

L'AMDEC 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'AMDEC processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défauts pouvant agir négativement sur le produit, s'il s'agit d'un procédé existant, l'AMDEC processus permettra l'amélioration.

7-1-2 Principe de la méthode

L'AMDEC est une technique inductive d'analyse et de prévention qui permet :

- D'évaluer les effets et la séquence des évènements provoqués par chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système.
- Déterminer l'importance de chaque mode de défaillance de fonctionnement normal de système et en évaluer l'impact sur la fiabilité et la sécurité de système considéré.
- Hiérarchiser les modes de défaillance connus suivant la facilité que l'on a les détecter et les traiter.

Lorsqu'il est nécessaire d'évaluer la criticité d'une défaillance (probabilité et gravité) l'AMDEC est apparue comme une suite logique de l'AMDE. La Figure 1-11représente le principe de la méthode.

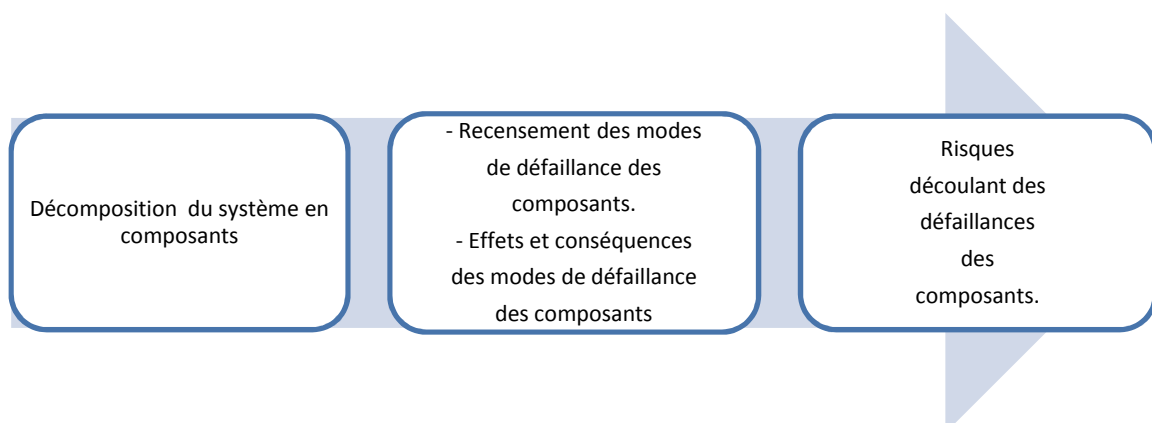


Figure1-11 Principe de l'AMDEC

7-1-3 Avantages et limites de l'AMDEC

a) Les avantages

- Une méthode d'analyse qualitative et quantitative rigoureuse et précise, intègre différentes notions liées à la sécurité, maintenance, fiabilité.
- Méthode efficace pour l'analyse de défaillance des systèmes simples.
- Examine pour chaque mode de défaillance ses causes, ses effets pour tous les états de dysfonctionnement du système.
- Un outil d'amélioration de la communication.
- Permet de résoudre les problèmes avant qu'ils ne se produisent (actions préventives).

b) Les limites

- Une méthode difficile et lourde à mettre en place pour les systèmes complexes comptant un grand nombre de composants.
- L'AMDEC nécessite une connaissance poussée du système à étudier. En général, un brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produit est nécessaire.
- La qualité d'une AMDEC est liée à l'exhaustivité des modes de défaillance identifiés qui inclut fortement l'expérience du groupe de travail.

7-2 La méthode HAZOP

C'est une méthode systémique d'analyse de risque notamment utilisée dans l'industrie chimique et pharmaceutique. Le terme HAZOP est composé de deux mots anglais : HaZard (danger) et Operability (fonctionnement). Cette méthode d'analyse de risque qualitative s'attache à l'identification des déviations potentielles par rapport à l'intention de conception, à l'examen de leurs probabilités d'occurrence et des causes possibles et à l'évaluation de leurs conséquences.

7-2-1 Histoire et domaine d'application

La méthode HAZOP, pour HaZard Operability, a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. L'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié en 1980 une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2 intitulé « Étude de sécurité sur schéma de circulation des fluides ».

Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

7-2-2 Principe de la méthode

L'HAZOP suit une procédure assez semblable à celle proposée par l'AMDE. L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillances mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation à la différence de l'AMDE qui est centré sur les composants. L'HAZOP est appliquée en suivant les étapes ci-après :

- Décomposer le système étudié en sous-systèmes appelés « nœuds »
- Déterminer une liste des mots clés (ces mots clés sont proposés par la norme CEI 61882 (2001)) dépendant du système étudié et des paramètres liés au système.
- Citer les différents dysfonctionnements pouvant être rencontrés.
- Faire une recherche sur les causes et les conséquences de ses dysfonctionnements.

Une fois ces étapes sont exécutées, l'équipe d'analyse du système est capable de proposer des solutions et des recommandations à suivre afin d'améliorer les processus de traitement des incidents ainsi que les outils et les méthodes de prévention des risques existants. La Figure 1-12 représente les différentes étapes de la méthode HAZOP :

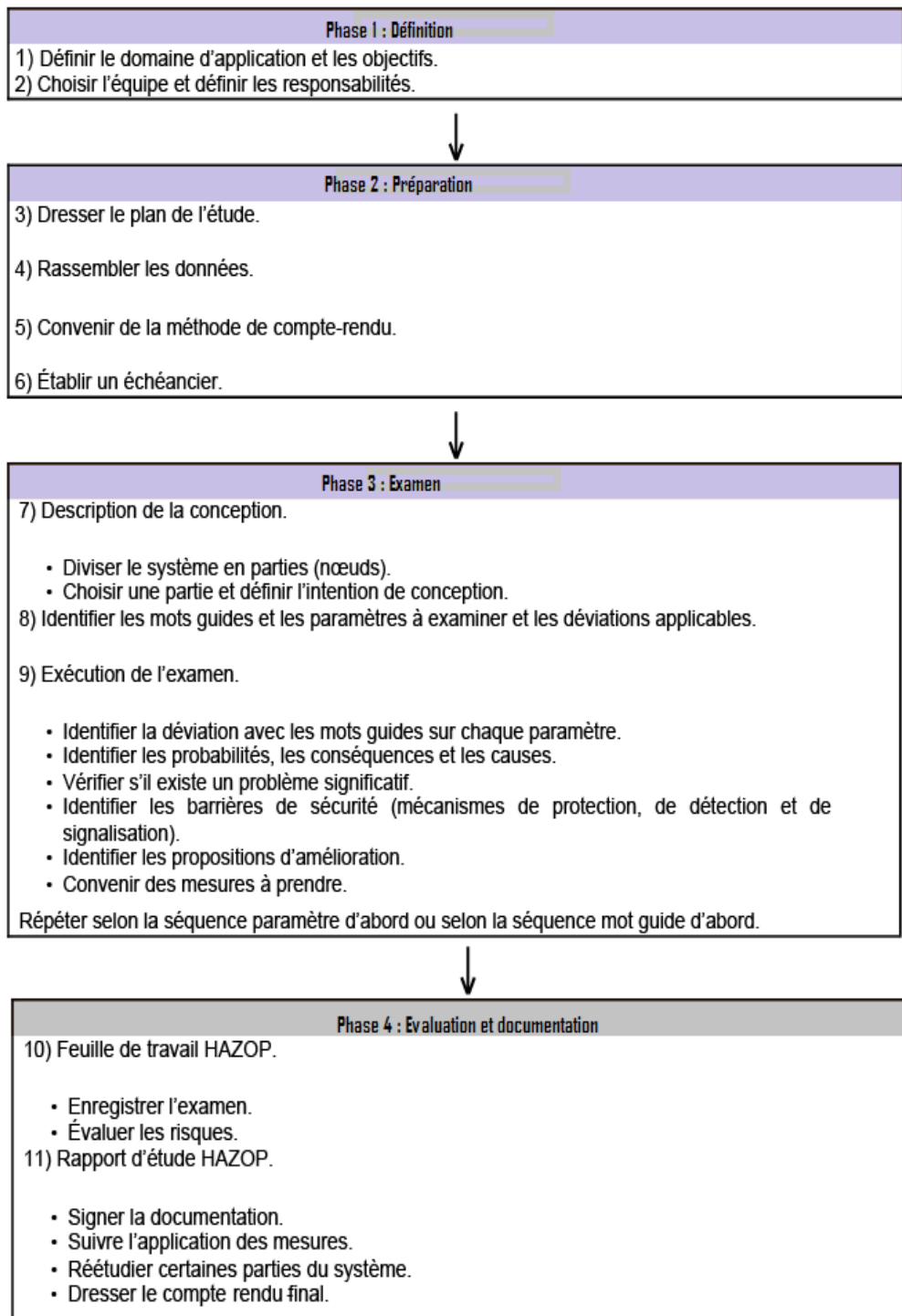


Figure 1-12 Démarche de l'HAZOP

7-2-3 Avantages et limite de l'HAZOP

a) Les avantages

- L'HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo hydrauliques.
- Une méthode systématique et méthodique.

b) Les limites

- Parfois l'analyse du risque des systèmes complexes par HAZOP est tellement détaillée qu'une interaction d'autres techniques d'analyse du risque est nécessaire telle que l'analyse par arbre d'événements ou l'analyse par arbre de panne, car il est difficile d'identifier tous les risques en utilisant HAZOP seule.
- HAZOP repose en grande partie sur l'expérience et la capacité de l'équipe à analyser le système.
- L'analyse HAZOP ne prend en compte que les opérations et les activités mentionnées par l'équipe ou dans le plan de conception. Les mots clé ne sont pas toujours adaptables aux systèmes.

7-3 Arbre de défaillances

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 ? »(MORTUREUX, 2017).

7-3-1 Historique et domaine d'application

L'analyse par arbre de défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine « Bell Téléphone ». Elle fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir missiles. Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un évènement redouté. Pris comme référence, l'analyse par arbre de défaillances est maintenant appliquée dans des nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire et l'industrie chimique.

L'analyse par arbre de défaillances peut également être faite dans le cadre d'une reconstitution des causes d'un accident.

7-3-2 Principe de la méthode

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. Il s'agit d'une représentation graphique pour identifier les causes relatives aux événements redoutés. En partant d'un événement unique, il s'agit de rechercher l'enchaînement d'événements ou les combinaisons d'événements qui conduisent des événements de base jusqu'à l'événement indésirable retenu (Figure1-13). Les liens entre les différents événements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques de type «et »et «ou ».

Cet outil permet de quantifier l'occurrence d'un événement redouté (ER) ainsi que sa sévérité et sa détectabilité à partir des probabilités des événements de base identifiés.

La méthode permet de visualiser les relations entre les défaillances d'équipements, les erreurs humaines, les facteurs environnementaux. On peut donc éventuellement y inclure des facteurs reliés aux aspects organisationnels.

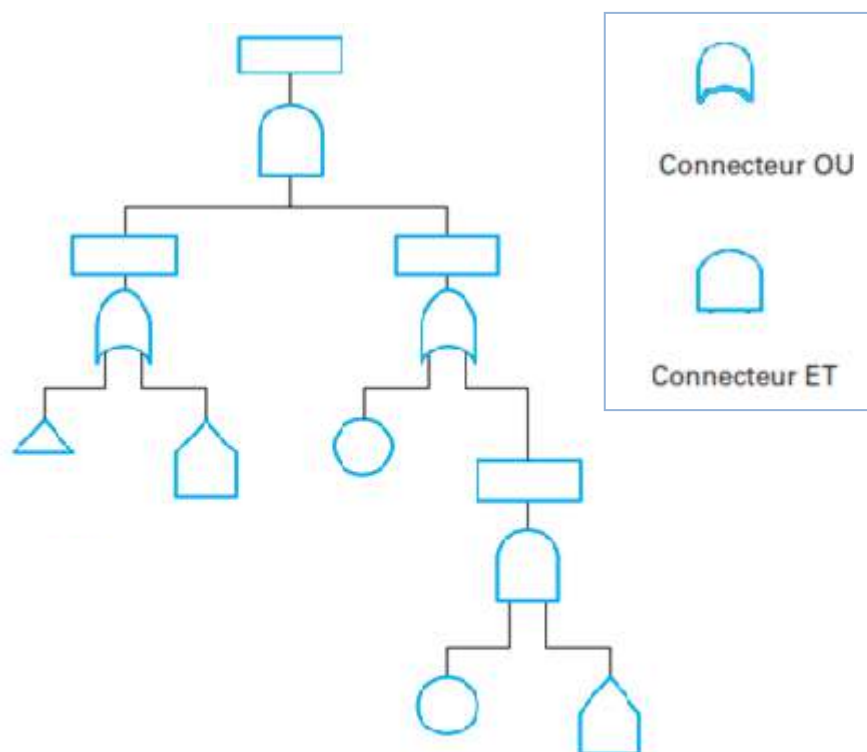


Figure1-13 Silhouette d'un arbre de défaillance (MORTUREUX, 2015)

L'analyse par arbre de défaillances se déroule généralement en 3 étapes :

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

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

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

Le calcul de la probabilité de l'événement sommet se fait à travers la propagation des probabilités d'occurrence des événements de base vers le sommet. Le calcul des coupes minimales peut s'effectuer avec le même principe en essayant cette fois-ci de trouver les plus petits ensembles d'événements de base pouvant mener à un événement redouté. Ceci permettrait de hiérarchiser les événements et d'implanter stratégiquement les barrières de défense afin d'améliorer la fiabilité et la sécurité en même temps (MAZOUNI, 2009).

Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d'événements (chemin critique) pouvant conduire à un événement indésirable (intermédiaire) ou redouté (final). Plus l'ordre d'une coupe minimale est petit, plus l'occurrence de l'événement final suivant ce chemin critique peut paraître probable. L'affectation des probabilités des événements de base se fait par extraction des bases de données, essais, retour d'expérience (REX), jugement d'experts, audits (MAZOUNI, 2009).

7-3-3 Avantages et limites de la méthode

a) Les avantages

- Le principal avantage de l'analyse par arbre de défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'événements pouvant conduire à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs événements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres. Par ailleurs en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des événements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention des accidents potentiels (INERIS-DRA, 2006).

- Le développement d'analyse de risques par la méthode arbre de défaillances a permis de créer et de commercialiser des logiciels informatiques afin de faciliter l'application de la méthode et pour la détermination des probabilités, ainsi que pour la représentation graphique des résultats sous forme arborescente.

b) Les limites

- L'analyse par arbre de défaillances porte sur un événement particulier et son application pour tout le système peut s'avérer fastidieuse. En ce sens il est conseillé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives pour l'analyse des risques. Ces outils permettant d'une part d'identifier les événements majeurs qui pourront faire l'objet d'une analyse par arbre de défaillances et, d'autre part, de faciliter la détermination des causes immédiates, nécessaires et suffisantes au niveau de l'élaboration de l'arbre.

7-4 Arbre de causes

L'arbre des causes est une méthode d'analyse a posteriori d'un accident, pour en obtenir une description objective, reconstituer le processus accidentel, en identifiant tous les facteurs et leurs relations ayant concouru à sa survenance, de façon à proposer des mesures de prévention pour qu'il ne se reproduise pas. Elle repose sur un raisonnement dans le même sens que l'arbre de défaillance mais ne décrit qu'un scénario.

7-4-1 Histoire et domaine d'application

L'analyse par arbre de causes est une méthode déductive, elle a été élaborée au début des années 1970 par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité). Elle est utilisée dans le domaine des risques professionnels pour mieux identifier tous les faits nécessaires ayant abouti à un événement indésirable.

7-4-2 Principe de la méthode

Le principe de l'utilisation des arbres des causes est de mettre en pratique cette maxime en réunissant les éléments ayant joué un rôle dans un événement et en restituant à chacun sa place dans le déroulement de l'événement. La compréhension de tout événement sortant du strictement prévu, normal, habituel est une source de progrès. Il faut pour cela en produire une analyse rigoureuse, objective en recherchant tous les éléments de compréhension.

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? » (Figure 1-14).

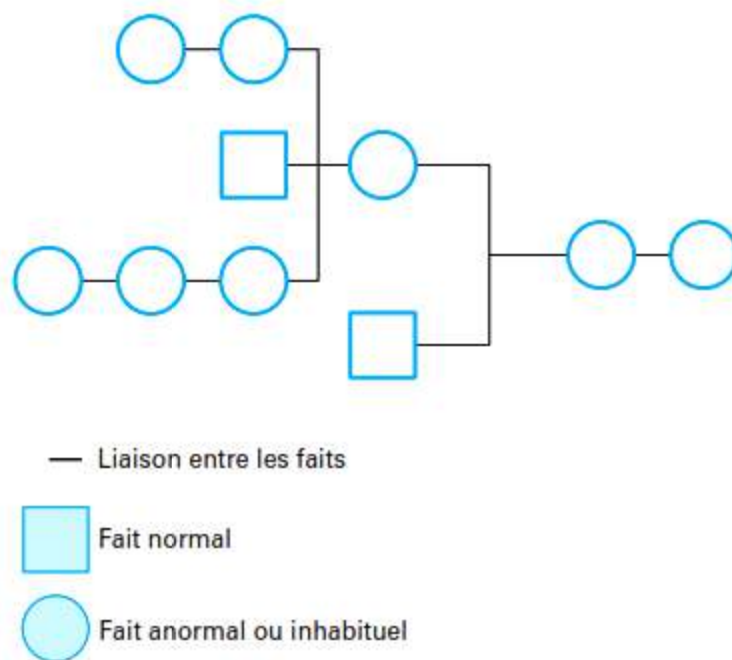


Figure 1-14 Silhouette d'un arbre des causes

7-4-3 Avantages et limites de la méthode

a) Les avantages

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 et aide beaucoup 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.
- 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.

b) Les limites

- L'arbre des causes ne permet pas une représentation chronologique des événements
- Il s'agit d'une méthode binaire c'est-à-dire que les événements se produisent ou ne se produisent pas, il n'y a pas de stade intermédiaire.
- L'arbre de cause ne permet pas de distinguer la différence entre des combinaisons en « OU » et des combinaisons en « ET », entre les différents événements.

7-5 Arbre d'évènements

7-5-1 Histoire et domaine d'application

L'analyse par arbre d'évènements a été développée au début des années 1970 pour l'évaluation du risque lié aux centrales nucléaires à eau légère. Particulièrement utilisée dans le domaine du nucléaire, son utilisation s'est étendue à d'autres secteurs d'activité. De par sa complexité proche de celle de l'analyse par arbre des défaillances, cette méthode s'applique préférentiellement sur des sous-systèmes bien déterminés. Elle apporte une aide précieuse pour traiter des systèmes comportant de nombreux dispositifs de sécurité et de leurs interactions. À l'instar de l'analyse par arbre des défaillances dont elle s'inspire, elle permet d'estimer les probabilités d'occurrence de séquences accidentelles. Cette méthode est particulièrement utilisée dans le domaine de l'analyse après accidents en vue d'expliquer les conséquences observées résultant d'une défaillance du système.

7-5-2 principe de la méthode

L'analyse par arbre de défaillances comme nous l'avons vu précédemment, vise à déterminer, dans une démarche déductive les causes d'un événement redouté a priori. A l'inverse l'analyse par arbre d'évènement suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les événements qui en découlent. À partir d'un événement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention. Ces dispositifs peuvent concerner aussi bien des moyens automatiques qu'humains (intervention des opérateurs) ou organisationnels (application de procédures).

L'analyse par arbre d'évènements se déroule en plusieurs étapes préliminaires :

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

La figure 1-15 représente la forme d'un arbre d'évènement :

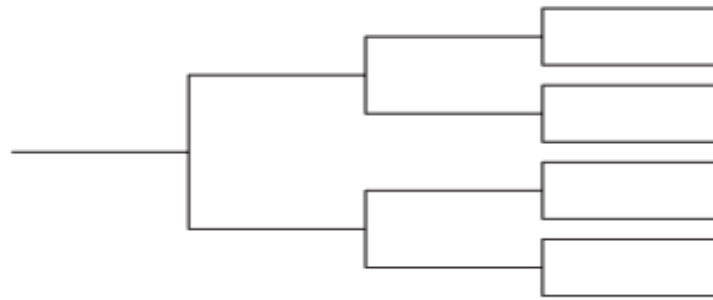


Figure 1-15 Silhouette d'un arbre des évènements

7-5-3 Limites et avantages

a) Les avantages

- L'analyse par arbre d'évènements est une méthode qui permet d'examiner à partir d'un évènement initiateur, l'enchaînement des évènements pouvant conduire ou non à un accident potentiel. Elle trouve aussi une utilité toute particulière pour l'étude de l'architecture des moyens de sécurité (prévention, protection, intervention) existants ou pouvant être envisagés sur un site.

b) Les limites

- Cette méthode peut s'avérer lourde à mettre en œuvre. En conséquence il faut définir avec discernement l'évènement initiateur qui fera l'objet de cette analyse (INERIS-DRA, 2006).

7-6 Risk Breakdown structure (RBS)

Risk breakdown structure est l'un des outils de management des risques permettant une représentation hiérarchique de ces derniers. Elle est définie comme : « Un regroupement des risques de projet orientés vers la source qui organise et définit l'exposition totale au risque du projet. Chaque niveau décroissant représente une définition de plus en plus détaillée des sources de risque pour le projet » (HILLSON, 2002).

7-6-1 Histoire et domaine d'application

La RBS est un outil largement utilisé par les managers du projet dans la phase de conception à cause de son aptitude d'identifier les risques en catégories, ce qui donne une liste exhaustive des risques qui peuvent être des obstacles dans le développement de projet.

Dans n'importe quel domaine, il est possible de faire appel à la RBS en plus il est dit que si un manager de projet est capable d'identifier les risques en utilisant RBS et de prendre les bonnes mesures, personne n'est capable d'empêcher le succès du projet (MEHDIZADEH et al, 2012).

7-6-2 Principe de la RBS

Cette structure de décomposition de risque commence par des niveaux de risques généraux non détaillés vers des niveaux disant « Profonds » plus détaillé, venant des niveaux généraux. Son principe est le même que la WBS (structure de découpage de projet).

7-6-3 Avantages et limites

a) Les avantages

- Identifier la concentration des risques dans une certaine catégorie.
- Comprendre le risque et lui faire une gestion efficace.
- Il offre une vue synthétique des risques, qui peuvent être regroupés en plusieurs catégories de risques. Cette vue synthétique est utile lorsque les parties prenantes du projet doivent discuter des risques. (ZACHARIAS et al, 2008, cité par TAILLANDIER et al, 2012).
- Le RBS peut être complétée par un WBS (Structure de découpage de projet)

b) Les limites

- Des fois, un risque peut appartenir à plus d'une catégorie dans un RBS ou peut ne pas correspondre à une catégorie de risque.

La Figure 1-17 suivante présente un exemple de RBS dans un projet de construction

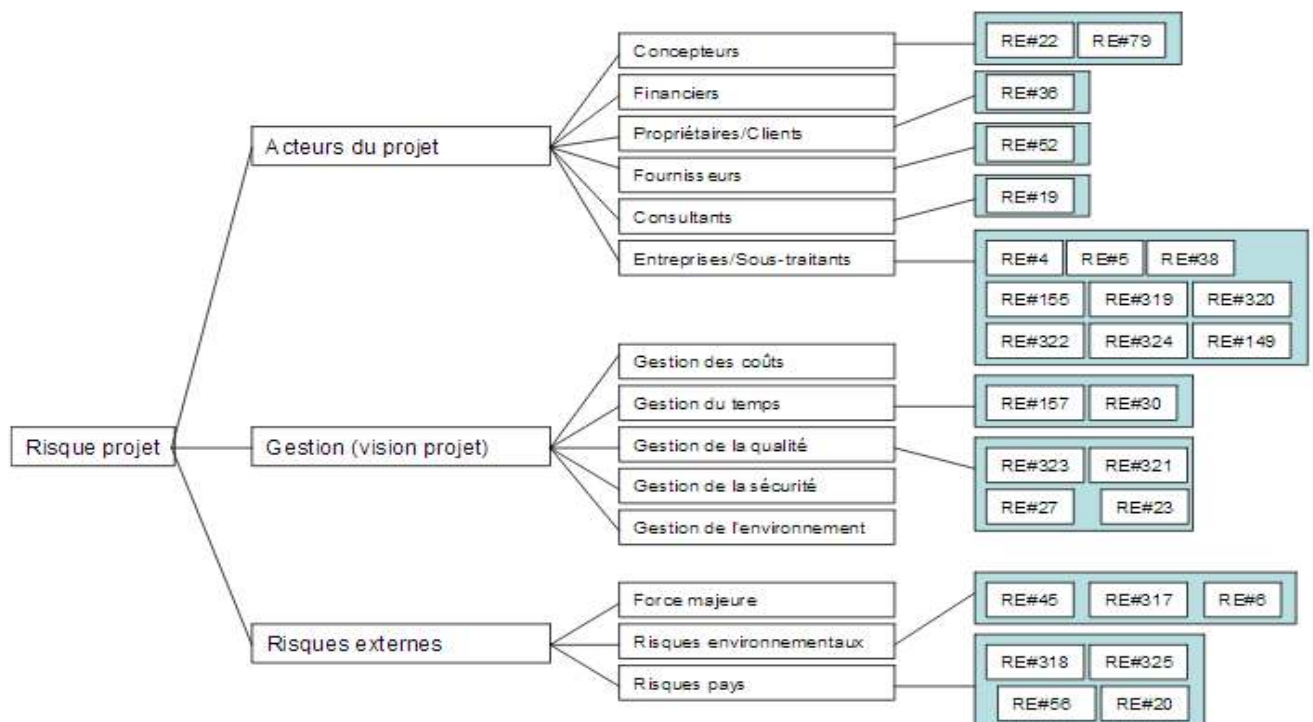


Figure 1-16 Model de RBS (HAMZAOUI et al, 2012)

7-7 MADS-MOSAR

MADS-MOSAR est une méthode d'analyse de risques élaborée par Pierre PERILHON(2012), le terme MADS pour Méthode d'Analyse de Dysfonctionnement dans les Systèmes et MOSAR pour Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques. L'ensemble MADS-MOSAR représente une méthodologie systémique et systématique d'évaluation des risques dans les systèmes complexes (MUNOZ, 2007).Le chapitre suivant sera consacré à la présentation de la méthode MADS-MOSAR.

7-8 Critères de choix d'une méthode de management des risques

D'après les ingénieurs de l'université de Sherbrooke, le choix des méthodes est justifié en tenant compte de leur pertinence et de leur convenance. En cas de doute, il est recommandé d'utiliser d'autres méthodes et de comparer les résultats obtenus. Lorsqu'il s'agit d'intégrer les résultats de diverses études, il faut que les méthodologies et les données obtenues soient compatibles. Lorsque la décision d'effectuer une analyse de risque est prise et que les objectifs et le domaine d'application ont été définis, il est recommandé de choisir la ou les méthodes sur la base de facteurs applicables, présentés au tableau 1-1, tels que :

- La phase de développement du système. Il est d'usage d'avoir recours à des méthodes moins détaillées au début du développement du système et de raffiner ces méthodes au fur et à mesure de la disponibilité de nouvelles informations.
- Les objectifs de l'étude. Les objectifs de l'analyse ont un effet direct sur les méthodes utilisées. Par exemple, si une étude comparative est effectuée entre différentes options, il peut être acceptable d'utiliser des modèles d'analyse des conséquences assez grossiers pour les parties du système qui ne sont pas affectées par les différentes options.
- Le type de système et de danger analysé.
- Le niveau potentiel de sévérité. Le niveau de profondeur de l'analyse doit refléter la perception initiale des conséquences (même s'il peut être nécessaire de modifier cette perception après la réalisation d'une évaluation préliminaire).
- Les besoins en ressources humaines et matérielles ainsi que le degré de compétence nécessaire. Lorsqu'une méthode simple (satisfaisant aux objectifs et à la portée de l'analyse) est correctement mise en œuvre, elle fournit des meilleurs résultats qu'une procédure plus sophistiquée d'application médiocre. L'effort d'analyse doit être cohérent avec le niveau de risque potentiel analysé.
- La disponibilité des informations et des données. Certaines méthodes nécessitent plus d'informations et de données que d'autres.
- La modification/mise à jour nécessaire de l'analyse. Il est admis que l'analyse puisse nécessiter des modifications/mises à jour futures et, qu'à cet égard, certaines méthodes soient plus faciles que d'autres à modifier.
- Toutes prescriptions réglementaires et contractuelles.

Tableau 1-1 Considérations pour le choix du type d'analyse et de la profondeur de l'étude

Question	Réponse à considérer
Quelle est la phase de développement du système?	<ul style="list-style-type: none"> • Conception préliminaire • Conception détaillée • Construction • Exploitation • ...
Quel est l'objectif de l'étude?	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection des mesures de réduction des risques • Comparaison à l'objectif du risque • Comparaison entre solutions différentes • ...
Quels sont les types de système et les dangers analysés?	<ul style="list-style-type: none"> • Système simple • Système complexe • Dangers technologiques • ...
Quelle est la gravité potentielle des conséquences d'un accident?	<ul style="list-style-type: none"> • Grand nombre d'issues fatales • Une seule blessure ou issue fatale • Dommage environnemental • Perte financière • ...
Quel est le niveau de ressources disponibles pour effectuer l'analyse?	<ul style="list-style-type: none"> • Temps et expertise limités • Temps et capacité étendus pour l'obtention d'avis d'experts • ...
Quelles sont les informations disponibles sur le système à analyser?	<ul style="list-style-type: none"> • Étude conceptuelle • Conception détaillée • Données opérationnelles • ...
Sera-t-il nécessaire de mettre à jour l'étude?	<ul style="list-style-type: none"> • Activité ponctuelle • Activité continue • ...
Existe-t-il des exigences réglementaires ou contractuelles?	<ul style="list-style-type: none"> • Non • Choix limités • Pas de choix

8- CONCLUSION

Le contexte de risque est complexe, non seulement en termes de notions et définitions mais aussi pour l'identifier, l'analyser et le maîtriser. Dans ce premier chapitre on a vu les notions et les types de risques naturels et anthropiques, on s'est focalisé sur tout ce qui est en relation avec les risques de nature géotechnique. On a fait ressortir l'importance de la géotechnique et les différentes missions géotechniques suivant la norme NF-P94 500 (2013). On a aussi cité les différentes méthodes et outils de la gestion des risques, leurs domaines d'application, leurs principes, ainsi que leurs avantages et inconvénients et on a vu que la majorité des méthodes citées sont utilisées dans l'industrie. On conclut le chapitre par la définition des critères de choix entre les méthodes, à partir de là, nous avons choisi la méthode MADS-MOSAR qu'on développera dans le chapitre suivants.

Chapitre2

Synthèse de la méthode MADS-MOSAR

L'échec est l'opportunité de recommencer plus intelligemment.

-HENRY FORD-

1- INTRODUCTION

Comme on a vu dans le chapitre précédent, il existe plusieurs méthodes de la gestion de risque. Le manager de projet doit être capable de choisir la méthode qui lui semble la plus adaptée à son projet. Dans le développement de ce chapitre on va voir ; le model MOSAR ; le model MADS et la méthode MADS-MOSAR, on détaillera la démarche, les domaines d'application, puis, les avantages et les inconvénients de la méthode MADS-MOSAR. Par la suite, on va exposer quelques cas d'études ayant utilisé MADS-MOSAR soit dans le domaine industriel (LOUNIS et al, 2016) et d'autres, ou dans le domaine de construction (BENACHENHOU, 2019) et les logiciels qui peuvent être utiles lors d'une analyse des risques avec MADS-MOSAR.

2- LA MÉTHODE MADS-MOSAR

2-1 La méthode MADS-MOSAR

La méthode consiste à décomposer le système étudié en sous-systèmes permettant de prendre en compte les interactions entre le système étudié, son environnement et les autres sous-systèmes. Elle préconise la constitution d'un groupe de travail qui, idéalement, associe tous les intervenants d'un projet de construction pour mener efficacement l'analyse des risques. Elle fait appel à l'imagination, à l'esprit proactif, et à l'expérience de tous les participants.

2-2 Le modèle MOSAR

La méthode MOSAR comprend dix étapes, ces étapes se déroulent autour de deux visions (Figure2-1)

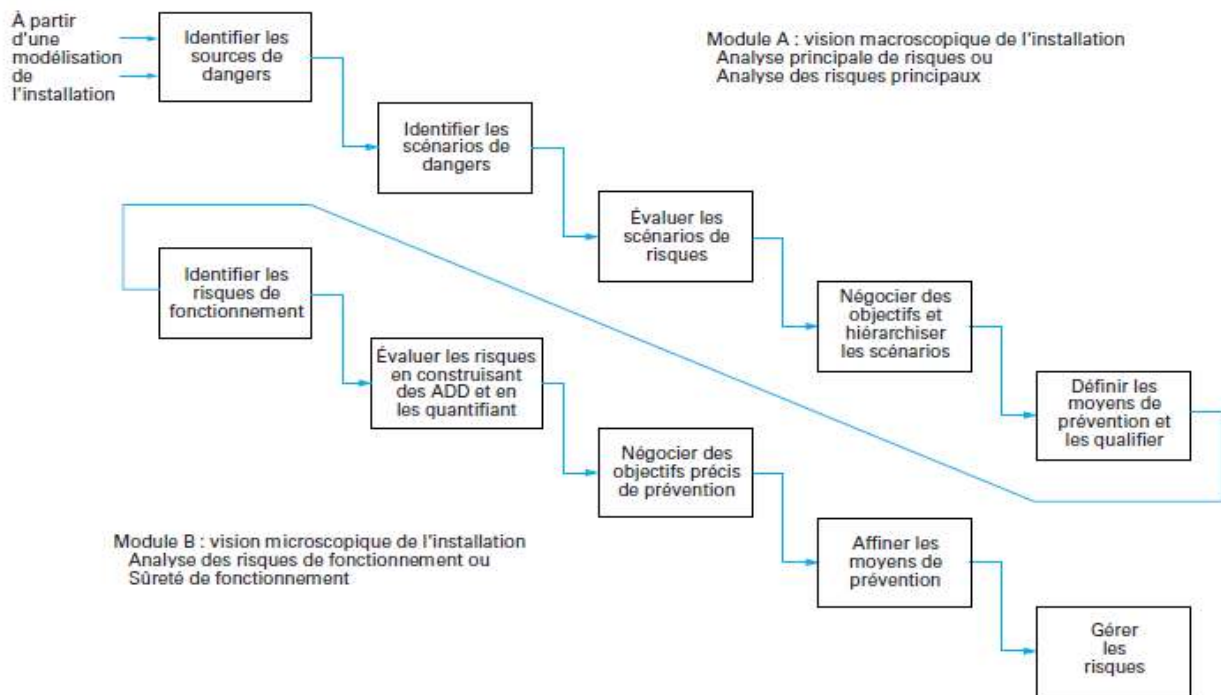


Figure 2-1 Description de la méthode MOSAR (PERILHON, 1998)

a) La vision macroscopique (Module A) : le premier module de la méthode consiste à réaliser une analyse des risques principaux. La décomposition de système en sous-systèmes commence par identifier de manière systématique en quoi chaque sous-système peut être source de dangers.

On recherche les risques de proximité, c'est-à-dire les risques qui apparaissent du fait que les éléments de l'installation sont à proximité les uns des autres et que les processus de danger que peut générer chaque source de danger peuvent s'enchaîner les uns les autres pour donner les scénarios d'accidents principaux que l'on appelle dans certains cas scénarios dominos.

Le module A permet d'identifier ces scénarios et les neutraliser (PERILHON, 2012).

b) La vision microscopique (Module B) : le deuxième module de la méthode se présente d'ailleurs comme une suite logique du module A. Il permet d'effectuer une analyse plus détaillée des dysfonctionnements techniques et opératoires et aussi de l'impact qu'ils pourraient engendrer sur le système global.

Dans les scénarios établis dans le module A, on va développer les dysfonctionnements de nature opératoire et ceux de nature technique. C'est à ce niveau que l'on mettra en œuvre les outils comme les AMDEC, HAZOP 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 (PERILHON, 2012).

2-2-1 Les parcours possible de MOSAR

Pour l'application de la méthode, il existe plusieurs cheminements possibles représentés dans les figures 2-2 et 2-3 suivantes :

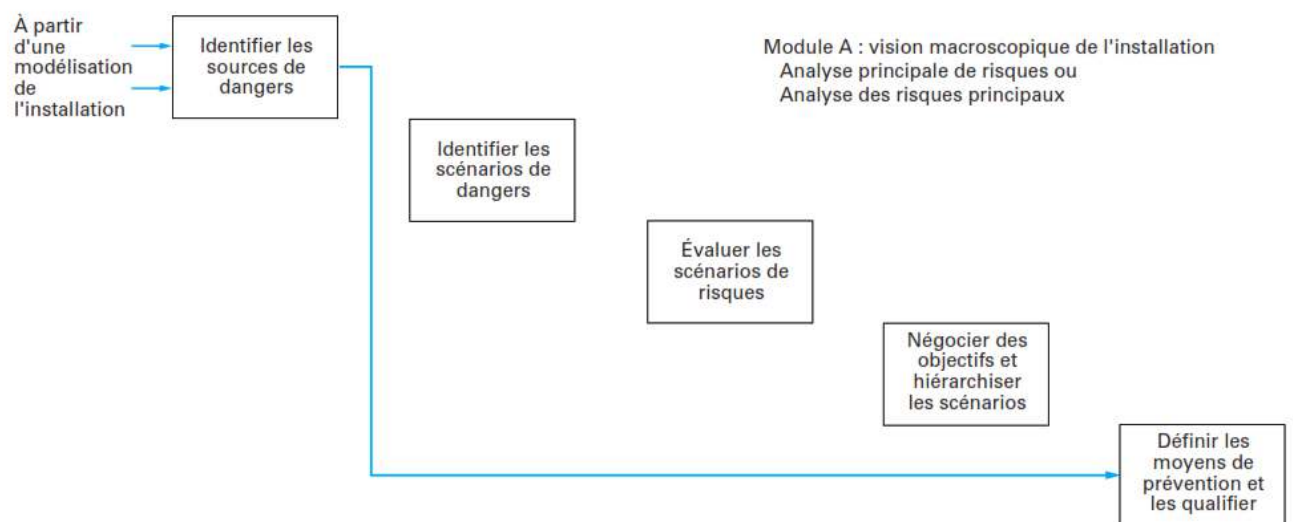


Figure 2-2 Une Utilisation très simple de MOSAR (PERILHON, 1998)

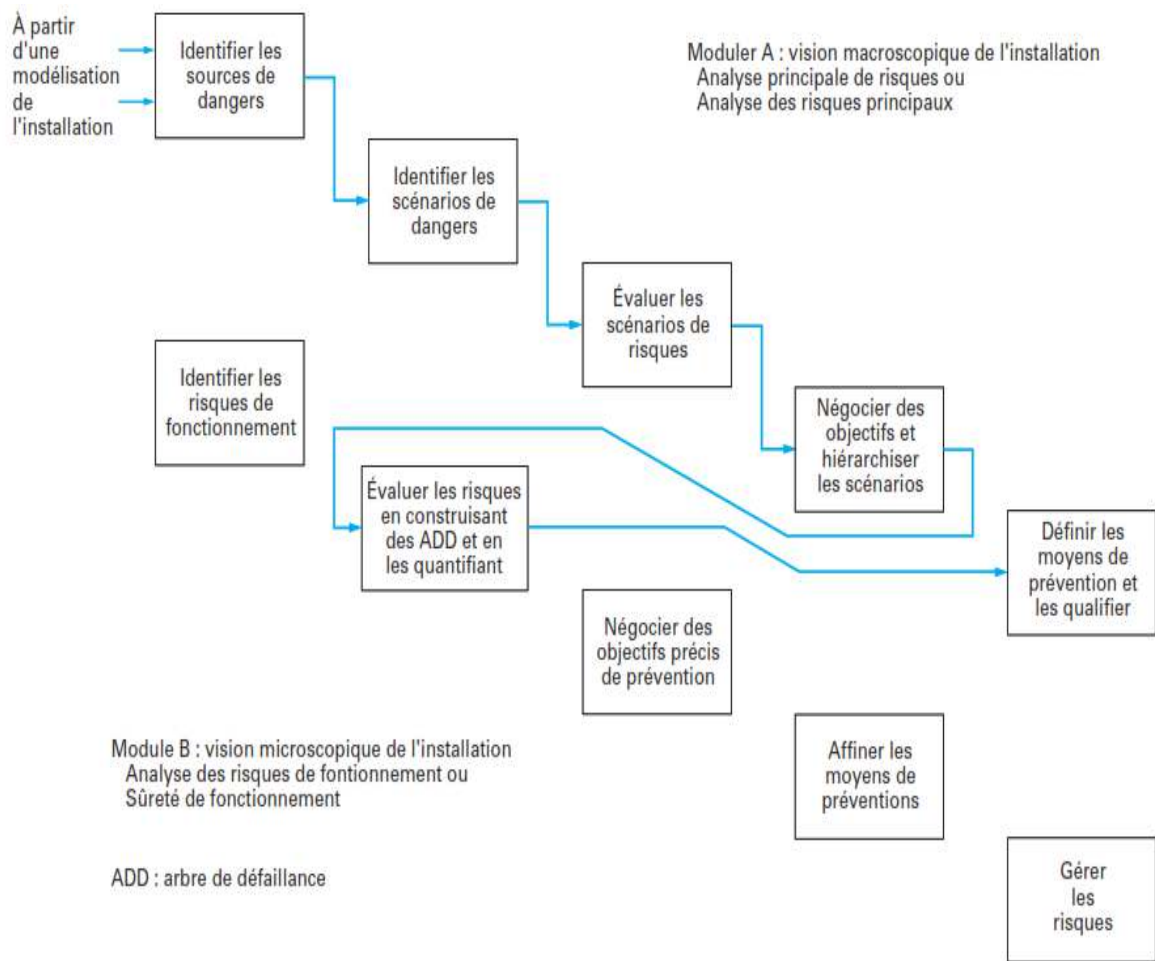


Figure 2-3 Autre parcours simplifié de MOSAR (PERILHON, 1998)

2-3 Description de MADS

La méthodologie d'analyses des dysfonctionnements des systèmes, appelé aussi « l'univers de danger », un outil 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.

L'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement actif (Figure2-4).

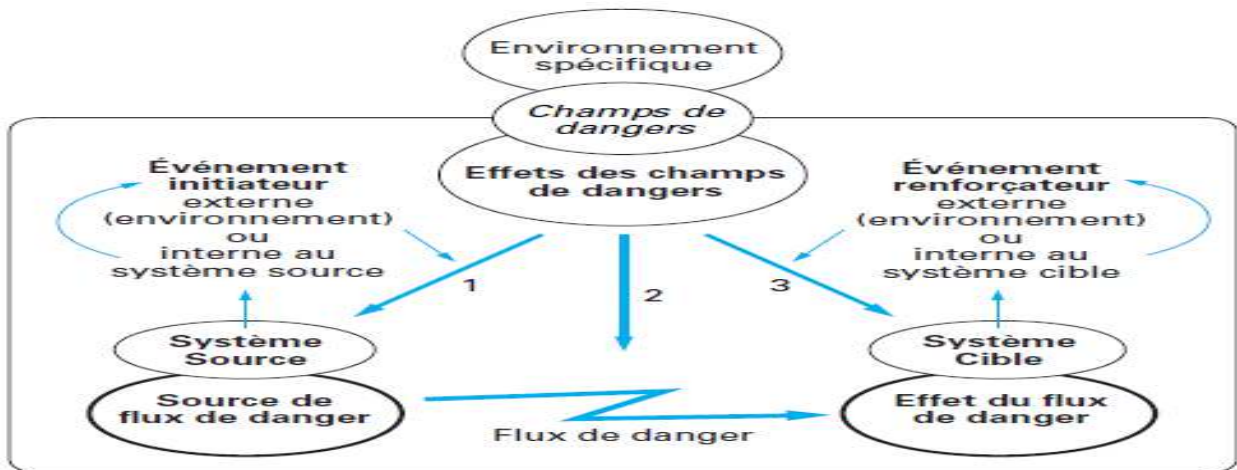


Figure 2-4 Le modèle MADS (PERILHON ,2012)

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. La modélisation des deux systèmes se fait suivant les problèmes posés sur leur structure, leur fonctionnement, leur relation avec l'environnement et leur évolution.

On fait apparaître les points suivants :

- Identifier le flux de danger ENS.
- Identifier le système cible sur le quel agit le flux de danger.
- Identifier le système source de danger.
- Identifier le champ de danger.
- Les évènements initiateurs
- Les évènements renforçateurs.

Le système source et le système cible étant eux-mêmes animés de processus, ces événements initiateurs et renforçateurs peuvent provenir respectivement en interne des systèmes sources de danger et des systèmes cibles.

Les flux de danger peuvent être décrits sous forme de processus par des processeurs de champ (figure 2-5).

- ✓ des processeurs de temps : flux chronique, flux limité ;
- ✓ des processeurs d'espace : flux concentré, flux diffus.

Ces flux sont également décrits sous forme de processus par des processeurs de source ou de cible tels que :

- ✓ des processeurs de forme (transformation du mode pour un type de flux) : par exemple, flux d'énergie sous forme de travail mécanique en flux d'énergie sous forme de chaleur ;

- ✓ des processeurs de nature (transformation du type de flux) : par exemple, transformation d'un flux de matière en flux d'énergie.

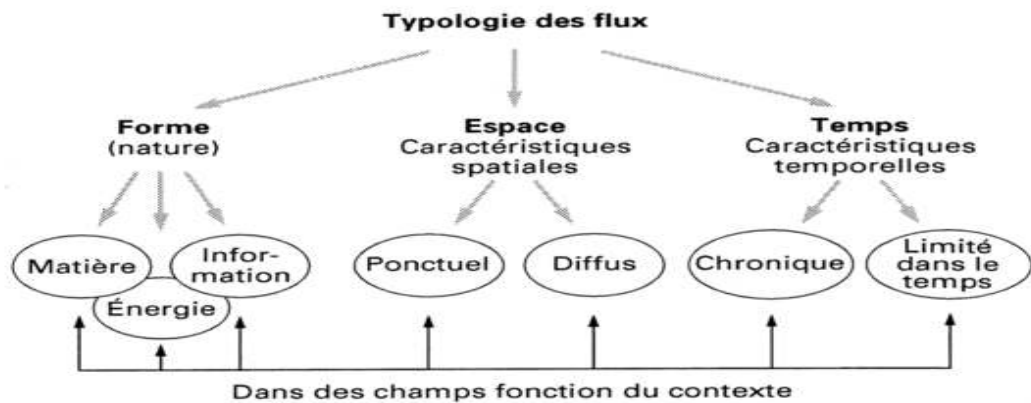


Figure 2-5 Typologie des flux de danger (PERILHON, 2012)

2-4 La mise en œuvre de MADS-MOSAR

La réalisation d'une analyse des risques par la méthode MADS-MOSAR nécessite de mettre en œuvre les étapes suivantes (PERILHON, 2012) :

- a) Modélisation du système étudié en le découpant en sous-systèmes.
- b) Identification des sources de danger
- c) Association des événements
- d) Construction des processus
- e) Construction des scénarios
- f) Construction des arbres logiques
- g) Identification des mesures de maîtrise des risques
- h) Identification des mesures de pérennité

2-4-1 Modélisation du système

Le but de cette étape est de rendre le système complexe en sous-systèmes plus simples à partir :

- D'une présentation du système.
- D'une visite du système.
- D'échanges avec les acteurs de système.

La modélisation du système étudié permet d'atteindre deux objectifs principaux en analyse de risques : l'exhaustivité et l'optimisation. Le fait de ne pas oublier des sous-systèmes est essentiel ; c'est le garant de l'exhaustivité (Figure2-6).

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 système veut dire 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.

Il existe plusieurs types de découpage de système étudié, on peut distinguer :

- ✓ Découpage géographique.
- ✓ Découpage fonctionnel.

Les sous-systèmes ainsi déterminés doivent répondre aux critères de la systémique : avoir un but, une structure, une évolution, une activité, un environnement afin de garder une homogénéité dans la nature des sous-systèmes.

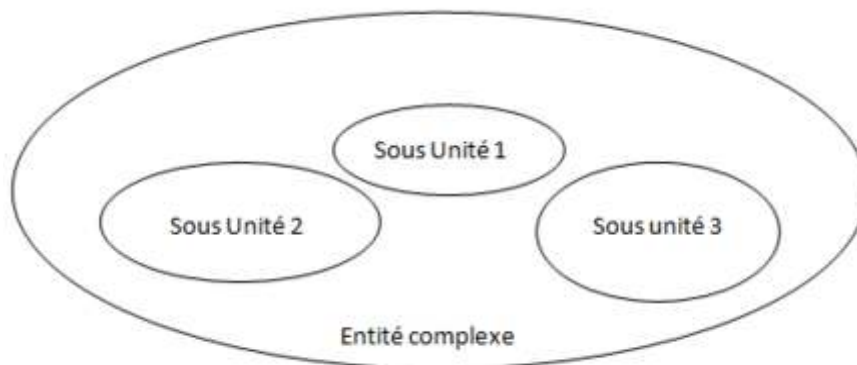


Figure 2-6 Découpage d'un système en sous-systèmes

2-4-2 Identification des sources de danger

Le but de cette étape est d'identifier les risques et leur mécanisme d'apparition, dans Chacun des sous-systèmes définis.

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.

2-4-3 Association des événements

Après avoir identifié les sources de danger, il faut leur associer des événements conformément au modèle MADS

- 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.

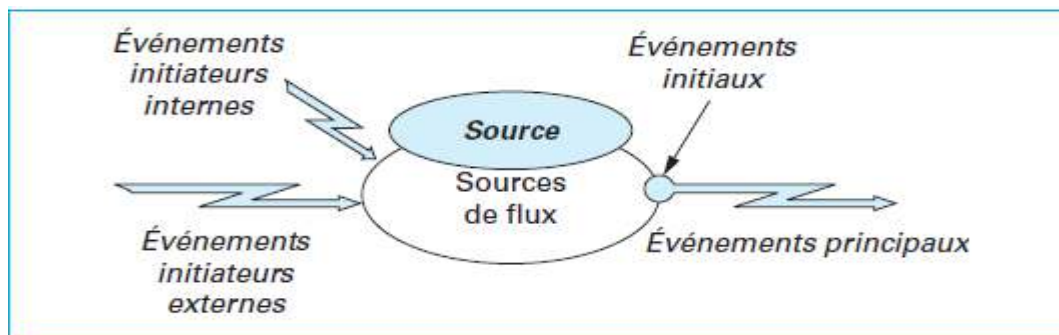


Figure 2-7 Évènements associés aux sources de danger

2-4-4 Construction des processus

Construire un processus, c'est associer une source à une cible via un flux, cette association doit être automatique réaliser par simple lecture des processus.

2-4-5 Construction des scénarios

Construction des scénarios 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.

2-4-6 Construction des arbres logiques

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

L'arbre logique est 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 sources (arbre 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 (PERILHON, 2012).

2-4-7 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.

2-4-8 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.

2-5 Avantages et limites de la méthode

2-5-1 Les avantages

La méthode présente les avantages suivants selon (PERILHON, 2012) :

a) La réponse aux besoins :

- Répond à une éthique :
 - ✓ S'assurer qu'une installation a pris en compte les risques qu'elle peut générer.
 - ✓ Introduire 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 la réglementation ;
- 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 d'une installation 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.

b) Exhaustivité

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

c) 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 l'analyse complémentaire 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.

d) Souplesse

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

e) Capitalisation

- La méthode MADS-MOSAR est capitalisable (sous-systèmes, sources, événement, barrières, barrières de pérennité). Si l'on arrivait à capitaliser les analyses déjà réalisées, on gagnerait un temps considérable.

2-5-2 Les inconvénients de la méthode

- La méthode MADS-MOSAR, de par son formalisme initial, 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-

systemes) et de par son absence de capitalisation est inapplicable. Seul celui qui a mené l'analyse s'y retrouve (GRANDAMAS, 2010).

- Son systématisme et son exhaustivité ce qui conduit à plusieurs événements à combiner pour faire des scénarios et plusieurs événements sur lesquels il va falloir attacher des mesures de maîtrise des risques, qui font que la méthode reste, de prime à bord, assez lourde à utiliser.
- Pour certains domaines comme le domaine de la construction l'application de cette méthode nécessite que le système n'évolue pas dans le temps et dans l'espace (BENACHENHOU ,2019).

3- EXEMPLES DE CAS D'ANALYSE DE RISQUE AVEC MADS-MOSAR

La méthode MADS-MOSAR a été premièrement appliquée aux domaines industriels dont elle est largement utilisée et répondue. On trouve plusieurs études et analyses, parmi eux on cite :

-L'étude de FRAISSE et al (2002) appliquée au secteur maritime particulièrement aux bateaux de transport de passagers. Elle se focalise sur le module A de la méthode c'est-à-dire la partie MADS. Les scénarios de risques sont identifier à partir du retour d'expérience, et pour évaluer les risques, les auteurs ont utilisé une évaluation quantitative à l'aide du logiciel « Sim Tree » qui a permis de construire les arbres de causes et calculer la probabilité d'occurrence d'un événement .À la fin de l'analyse les auteurs sortent avec la conclusion que la méthode MADS est une bonne méthode d'analyse de risque. En effet, si elle a été essentiellement crée pour des applications dans le monde de l'industrie, elle n'en reste pas moins parfaitement transposable à d'autres domaines comme le domaine maritime.

Le point négatif de la méthode est qu'elle ne dit pas si la liste de scénarios ou de source de danger présentés par les auteurs est complète. Mis à part cet aspect, la méthode MADS s'utilise très facilement. De plus, et cela est très intéressant pour ce cas d'étude mais aussi pour d'autres, elle est extrêmement flexible et s'adapte très bien à divers domaines. FRAISSE et al, (2002) pensent que dans le futur, il faudra compléter cette étude en recherchant de nouveaux scénarios de risque, de nouvelles sources de danger et de nouvelles barrières.

LOUNIS et al, (2016) ont appliqué cette méthode dans une étude de danger des réservoirs de stockage de gaz souterrain. Ils ont conclu que l'application de la méthode MADS MOSAR a permis de définir quelques scénarios de risque majeur et d'établir des barrières de protection et de prévention afin de réduire et limiter ces risques.

La gestion des barrières entrera dans le domaine technologique où il est important de préciser au niveau des scénarios, le caractère préventif ou protecteur de la barrière.

Et puisque la méthode est adaptable à tous systèmes dans différents domaines, la première initiative de son application dans le domaine de génie civil a été faite par VERDEL(2000) où il a présenté la possibilité de l'application de MADS-MOSAR au contexte génie civil.

On trouve aussi un travail récent de la méthode dans un projet routier de BENACHENHOU (2019) qui vise à développer les étapes du module A. L'auteur adapte un tableau de typologie de risque pour les systèmes sources de danger spécifique au cas de la construction. A la fin de son analyse, il a conclu le suivant : bien que les outils proposés par MOSAR soient assez performants pour la détermination des barrières, l'analyse n'est valable que si le projet n'évolue pas. Le projet évoluant irrémédiablement dans l'espace et le temps, se pose alors le problème de l'évolution de l'analyse des risques pour que l'identification, l'évaluation, la hiérarchisation des risques et les mesures mises en place demeurent valables. MOSAR ne propose pas d'outils pour cette réactualisation.

4- LOGICIELS POUR LA GESTION DES RISQUES

Il existe plusieurs logiciels de gestion de risques. On a recensé et définit certains logiciels.

4-1-@Risk

Ce logiciel sert à analyser quantitativement le risque et l'incertitude présents dans de nombreux secteurs. Il exécute l'analyse de risque par la simulation Monte Carlo qui permet de tenir compte du risque dans l'analyse quantitative et la prise de la décision. Cette simulation présente toutes les issues possibles pour éviter les pièges et identifier les créneaux (Figure2-8).

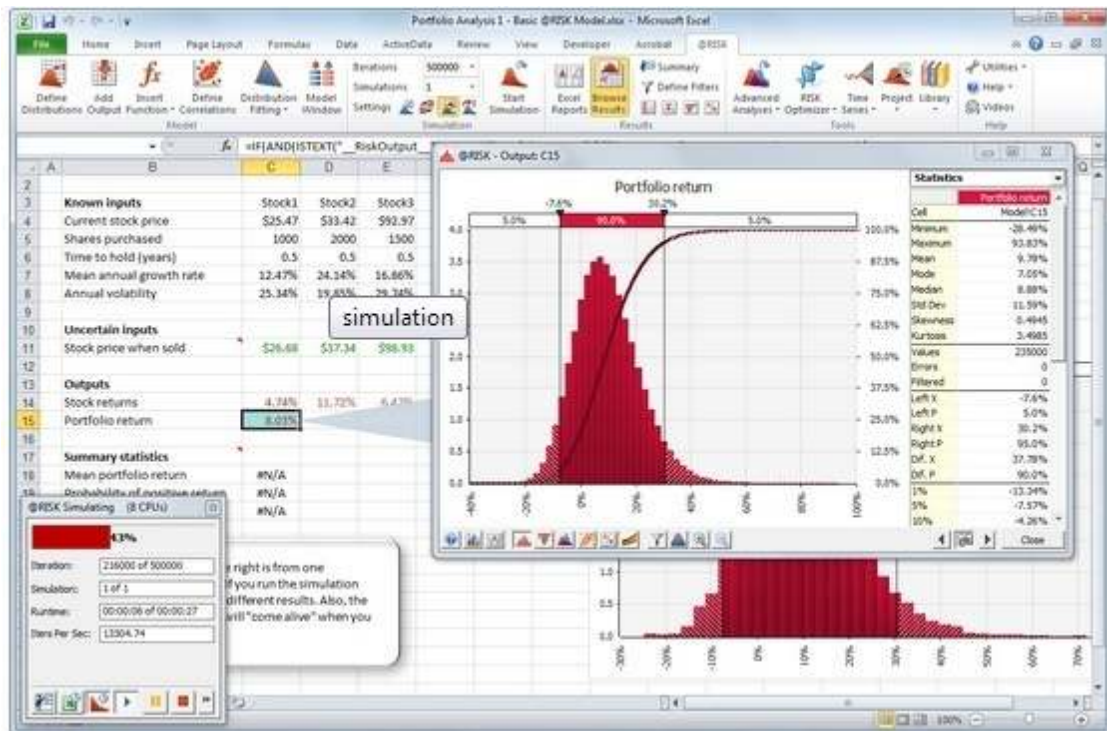


Figure 2-8 Fenêtre du logiciel @RISK

@Risk est utilisé dans une grande variété d'entreprises, de la finance jusqu'au calcul scientifique, toute personne mettant en œuvre des analyses quantitatives peut bénéficier des outils de @Risk. @Risk est disponible en licence monoposte, réseau et académique pour environ 300 DA. L'utilisateur peut aussi télécharger une version d'essai pendant 15 jours.

@RISK a été traduit intégralement en français. Tous les menus, boîtes de dialogue, fichiers d'aide et d'exemple s'affichent en français. @RISK est aussi disponible en anglais, en espagnol, en portugais, en russe, en allemand, en japonais et en chinois.

4-2 TDC FTA (Logiciel Arbres de défaillance)

C'est un logiciel qui garantit l'exactitude des calculs et le respect des liens méthodologiques, TDC FTA bénéficie d'une ergonomie simple qui permet une prise en main rapide et intuitive, notamment pour la construction graphique des arbres de défaillances. La figure 2-9 représente un exemple d'arbre de défaillance. Le logiciel est facile à télécharger via un lien envoyé à la boîte e-mail de l'utilisateur, ou par utilisation surplace dans quelques sites web. FTA est disponible en anglais

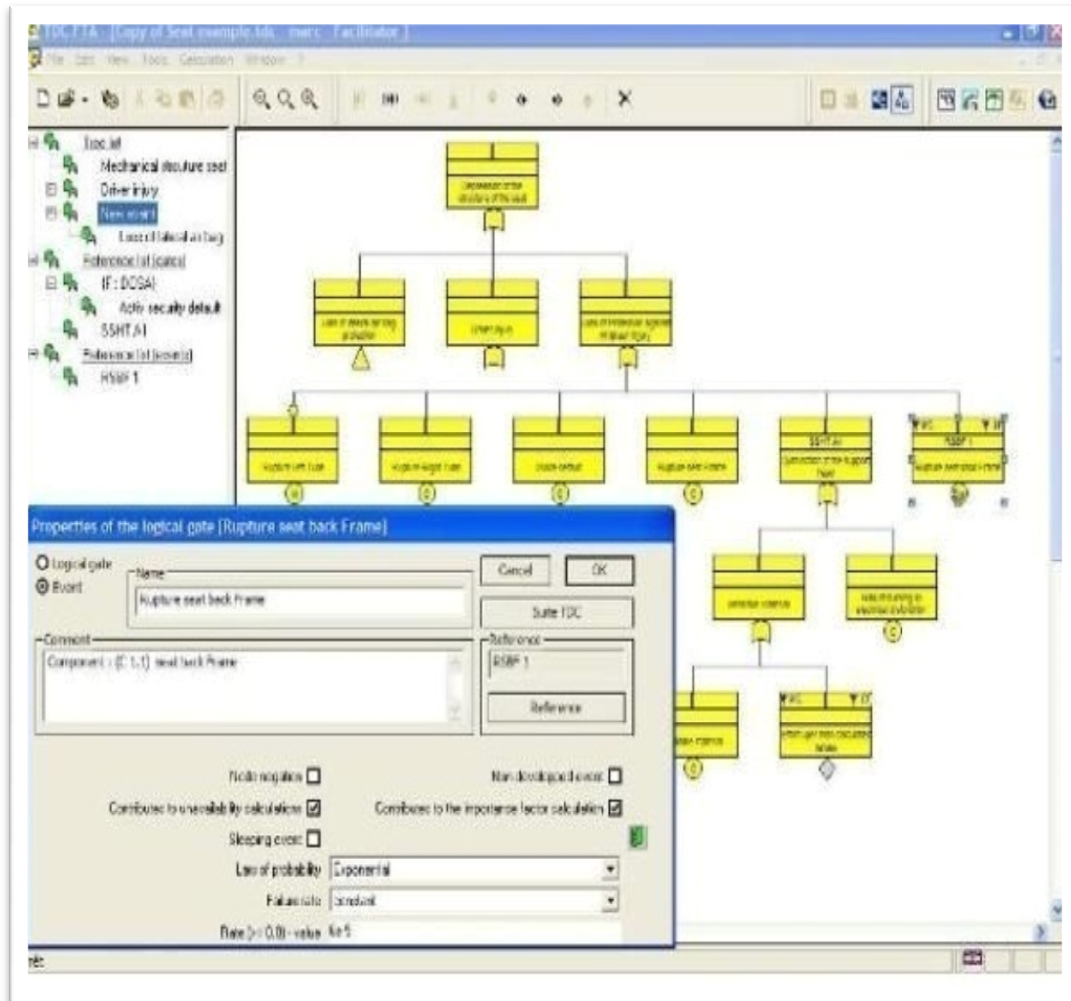


Figure 2-9 Le logiciel FTA

5- CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre la démarche MADS-MOSAR, son histoire et domaines d'application et les différents cas d'études avec cette méthode et quelques logiciels pour la gestion de risque qui nous semblent compatibles et complémentaires avec MADS-MOSAR. Nous emploierons cette méthode au cours de l'étude de cas dans le chapitre suivant car elle se présente bien comme une méthode systémique et systématique. Mais malgré tous les avantages de MADS-MOSAR, bien que vingt ans soient passés de sa première initiation dans le génie civil par VERDEL(2000), on trouve juste une seule application dans un projet routier de BENACHENHOU(2019). Cette méthode mérite d'être plus utilisée, c'est donc elle qu'on utilisera dans le chapitre suivant dans notre cas d'étude.

Chapitre 3

Application de la méthode MADS- MOSAR dans le projet de la pénétrante autoroutière GHAZAOUET-TLEMCEN

**Une bonne gestion des risques favorise
la vigilance en période de calme et
inculque la discipline en temps de crise.**

-MICHAEL ONG-

1- INTRODUCTION

L'Algérie est un pays en plein développement dans tous les domaines et dans le domaine de la construction on voit une diversité d'ouvrages, depuis les bâtiments jusqu'aux ouvrages d'Art. Parmi ces derniers on a les routes et les autoroutes qui déterminent l'état de développement socio-économiques dans le pays.

Plusieurs projets d'infrastructures routières ont été lancés et les autoroutes représentent 3% de leur totalité. On constate énormément de problèmes dans ce type de projets. L'objectif de ce chapitre est d'appliquer la méthode MADS-MOSAR au projet—de la pénétrante autoroutière GHAZAOUET-TLEMCEN. Pour cela, on commencera par décomposer notre projet en sous-systèmes source de danger tout en prenant en compte la classification des risques géotechniques faite précédemment pour appliquer les différentes étapes de la méthode.

2- PRÉSENTATION DU PROJET

L'étude concerne le projet autoroutier permettant la liaison entre l'autoroute Est-Ouest et le port de GAZAOUET, il est de 41Km de longueur et fait partie du schéma directeur routier et autoroutier 2005-2025.

Le premier tronçon de la pénétrante autoroutière entre le port et El Assa fait 13 kilomètres de longueur (changé à 11.3 Km).La pose de sa première pierre a été effectuée par le ministre des travaux publics le 21 septembre 2014 .Actuellement l'avancement des travaux est de 86%.

Le projet présente les caractéristiques mentionnées dans le tableau 3.1 suivant :

Tableau 3.1 Géométrie du projet (1^{er} tronçon)

DELAI D'EXECUTION	48 MOIS
LINEAIRE	11.3 KM
TERRASSEMENTS	5.30 MILLIONS M³
VIADUC	04 U (2 189 ml)
ECHANGEUR (Provisoire pour la fonctionnalité du Projet)	01 U
PASSAGE INFÉRIEUR	01 U
PASSAGE SUPÉRIEUR	02 U
OUVRAGES HYDRAULIQUES	14 U

Le projet comprend plusieurs parties prenantes en national et en international .Le tableau 3.2 recense les acteurs principaux du projet :

Tableau 3.2 Les parties prenantes du projet

MAITRE D'OUVRAGE	MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES TRANSPORTS
MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE	ALGERIENNE DES AUTOROUTES
ENTREPRISE DE REALISATION	GROUPEMENT «C.S.D.G» Algéro - chinois «CRCC - SEROR-SARL ETP DANNOUNI»
BUREAU DE CONTRÔLE ET SUIVI	GROUPEMENT Algéro – Français «EGIS-International /LTPO»
BUREAU D'ETUDE/ETUDE D'EXECUTION	FHCC-CHINE et BET-SEROR
BUREAU DE CONTRÔLE EXTERNE	ETUDES : KDEC-KOREE DU SUD /TRAVAUX : LTPS-ALGERIE

3- APPLICATION DE LA MÉTHODE MADS-MOSAR DANS LE CAS D'ÉTUDE

Le système étudié est la pénétrante autoroutière GHAZAOUET-TLEMCEN d'où l'application de la méthode se focalise sur la phase réalisation.

3-1 Etape1 : Modélisation du système étudié en sous système

Les principaux systèmes sont : le système route, système viaduc et système environnement de projet (Figure3.1).

a) Le système route : Il est décomposé en trois sous-systèmes :

- SS1 : chaussée.
- SS2 : Engins.
- SS3 : Équipement de la route.

b) Le système viaduc : décomposé en quatre sous système sources de danger :

- SS4 : Pile.
- SS5 : Tablier.
- SS6 : Engins.
- SS7 : Équipements du viaduc.

c) Le système environnement du projet : décomposé en quatre sous-systèmes :

- SS8 : Acteurs du projet.
- SS9 : Environnement spécifiques.
- SS10 : Environnement global.
- SS11 : Ressources humaines.

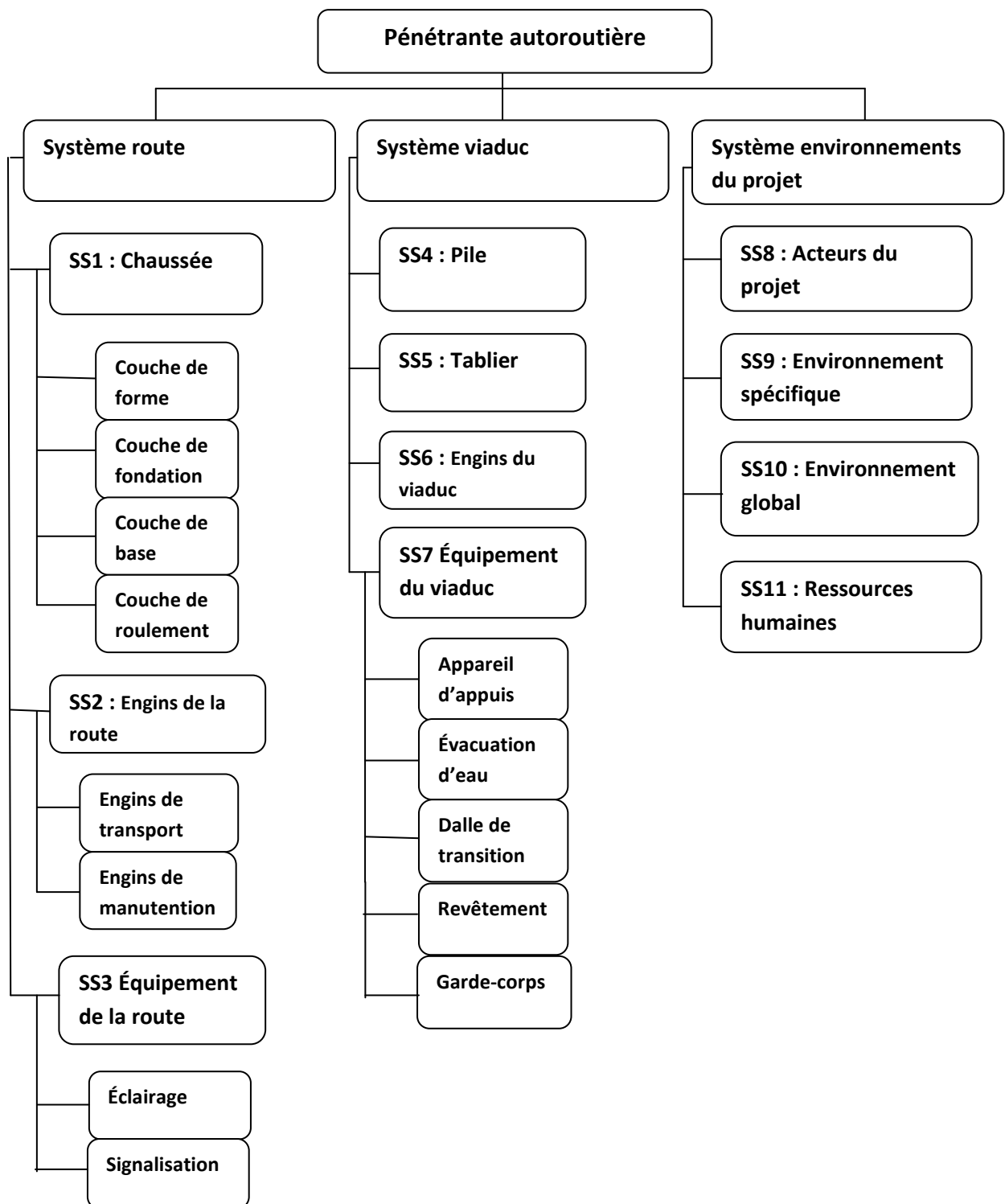


Figure 3-1 Décomposition du système en sous-système source de danger

3-2 Étape 2 : Identification des sources de danger

Le travail en question consiste à identifier en quoi chaque sous -système peut être source de danger .Pour effectuer ce travail on utilise la grille de typologie des systèmes source de danger établies par BENACHENHOU(2019) spécifique au secteur de la construction et plus particulièrement aux projets routiers(tableau 3.3).

Tableau 3.3 Système source de danger dans la construction (BENACHENHOU, 2019)

<p>A- Systèmes sources de danger d'origine économique</p>	<p>A- 1 Sources de dangers liés au marché</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs • Distributeurs • usager <p>A- 2 Sources de danger liées aux ressources financières</p> <p>A-3 Inflation</p> <p>A-4 Crise économique</p>
<p>B- Systèmes sources de danger d'origines sociales</p>	<p>B-1 Sources de danger liées aux comportements humains</p> <ul style="list-style-type: none"> • Individus • Groupe d'individus • Conflits socio-professionnels • Corruption
<p>C - Système sources de danger d'origine juridique</p>	<p>C-1 Sources de danger liées au contexte législatif (code des marchés publics, code de l'urbanisme, code civil, code de l'environnement, code de travail.)</p> <p>C-2 Sources de danger liées au cadre juridique professionnel</p> <p>C-3 Sources de danger liées aux documents descriptifs de l'ouvrage (cahier des charges, appel d'offres)</p> <p>C-4 Sources de danger liées à l'interprétation des spécifications administratives (CCAP)</p> <p>C-5 Source de danger liée au choix du type de contrat</p> <p>C-6 Sources de danger liées à l'interprétation des spécifications techniques (CCTP)</p> <p>C-7 Sources de danger liées au contexte normatif et aux documents techniques réglementaires</p>
<p>D- Systèmes sources de danger d'origine technologique</p>	<p>D-1 Sources de danger liées aux équipements de la route (signalisation, éclairage, etc.)</p> <p>D-2 Sources de danger liées au matériel</p> <p>D-3 Sources de danger liées aux matériaux</p> <p>D-5 Sources de danger liées aux calculs</p> <p>D-6 Sources danger liées à l'interprétation des résultats</p> <p>D-7 Sources de danger liées aux reconnaissances géotechniques</p> <p>D-8 Sources de danger liées aux procédés de construction</p>
<p>E- Systèmes sources de dangers d'origine environnementale</p>	<p>E-1 Sources de danger liées aux évènements naturels :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Géologiques (séismes, mouvement de terrain, variabilité des sols) • Climatiques (avalanches, tempêtes, cyclones, tornades, ouragans, coups de vent, brouillard, sécheresse, inondations,

	feux de forêts, foudre, gel, irradiation solaire). E-2 Sources de danger liées aux infrastructures avoisinantes <ul style="list-style-type: none"> • Barrage ; • Pont ; • Tunnel E-3 Sources de danger liées au micro-organisme (virus, bactéries, épidémies, pandémies) E-4 Sources de danger liées aux conditions de travail E-5 Sources de danger liées aux lieux de travail
F- Systèmes source de dangers organisationnels	F-1 Sources de danger liées au processus de communication F-2 Sources de danger liées aux procédures de suivi et de contrôle F-3 Sources de danger liées à la gestion des documents (traçabilité) F-4 Sources de danger liées à la définition du programme F-5 sources de danger liées au processus de planification F-6 Sources de danger liées aux processus décisionnels (organisation, cheminement, validation des décisions) F-7 Sources de danger liées à la hiérarchie (définition des responsabilités) F-8 Sources de dangers liées aux acteurs du projet <ul style="list-style-type: none"> • MOA • MOE/Ingénierie géotechnique • ETP • Laboratoire géotechnique • Sous-traitants • Contrôle technique
G- Systèmes source de dangers Politique	G-1 Changement de gouvernement G-2 Changement de parti au pouvoir G-3 Coup d'état

3-3 Etape3 : Association des événements

Une fois les sources identifiées, il faut leur associer des événements, conformément au modèle MADS (voir chapitre 2) .Les tableaux 3-4 à 3-14 représentent l'association des événements pour chaque sous-système identifié :

Remarque

L'identification et l'association des évènements à risque a été faite à l'aide des bases de données (mémoires de graduation et une thèse de doctorat) et à l'aide d'experts : les ingénieurs du projet : Mr DJELLIL et Mr SEKKAK et les encadrants du mémoire : Mr ALLAL et Mme BENACHENHOU.

Tableau 3-4 Établissement de processus de danger de sous-système chaussé

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS1 : Chaussée		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B.1 D.3	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de Roulement	Réalisation	-fatigue -stress -personnel non qualifié -manque de compétences -main d'œuvre non qualifié -erreurs humains -absence de contrôle -Non-respect des normes	- mauvaise exécution des différentes activités - mauvais compactage -matériaux non conformes aux spécifications - Matériaux trop chers	-conflits -retard des travaux -fissuration de la chaussée -Insuffisance des ressources budgétaires	-arrêt de chantier -dépassement de délais -dépassement de budget -Non-respect du contenu du projet
D.7	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de Roulement	Réalisation	-Hétérogénéité du sol non prise en compte -existence de l'andésite (Roche dure mais sensible à l'eau) -manque de compétences -investigation géotechnique mal faite -Investigations géotechniques insuffisantes - Reconnaissance de sols non effective - Mauvaise reconnaissance des propriétés physiques des sols -Incompétence du laboratoire géotechnique -Laboratoire géotechnique non accrédité ISO 17025	-erreurs de mesure au niveau de laboratoire -erreur d'échantillonnage -Effondrement des cavités -Impossibilité d'exécution de terrassements -Investigations géotechnique complémentaires.	-tassement -Affaissement en surface - Retard dans la réalisation de l'activité -Mauvais compactage	-arrêt de chantier -dépassement de délais -dépassement de budget -Économie du contrat Bouleversée
E.1	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de Roulement	Réalisation	-mouvement des plaques tectoniques -séisme -instabilité du sol -forte pluviométrie -Rupture de canalisation - Hétérogénéité du sol d'assise non reconnue et/ou non prise en compte	-inondation -Liquéfaction des sols - Effondrement des cavités - Diminution de la résistance de cisaillement du sol - Diminution de la portance du sol	- Glissement de terrain - Affaissement en rive - Affaissement en surface - Effondrement - Coulée boueuse - Érosion - Tassement - Éboulement rocheux - Fissuration de la chaussée	-arrêt de chantier -dépassement de délais -dépassement de budget - Retard dans l'activité - Dégradation de la chaussée

Tableau 3-5 Établissement de processus de danger de sous-système : engins de la route

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS2 : les engins		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B.1	Conducteur d'engin	Réalisation	-fatigue -pression -stress -personnel non qualifié -manque de compétences -conducteur non formé	-collisions engins -engins, engins-obstacles -renversement d'engin -dérapage d'engin	-Destruction de l'engin -blessures -accidents	-Retard dans des travaux -dépassement de délais -dépassement de budget
D.2	Engins	Réalisation	- mauvais choix des engins -engin en mauvais état -Mauvais préservation des engins -Mauvais assemblage au niveau de la base -Essence de mauvaise qualité	-panne d'engin - dérapage d'engin	-retard dans les travaux	-dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier
E.1	Main d'œuvre Conducteur d'engin	Réalisation	-fatigue -pression -stress -personnel non qualifié -manque de compétences -conducteur non formé	-collisions engins-engins, engins-obstacles -renversement d'engin -dérapage d'engin	-accidents -blessures -Destruction de l'engin	-retard dans les travaux -dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier
F.2	Main d'œuvre Projet	Réalisation	-absence de contrôle et de suivis -manque de maintenance	-mauvaise organisation de chantier	-accidents -blessures	-conflit - dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier

Tableau 3-6 Établissement de processus de danger de sous-système équipements de la route

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS3 : équipements		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B.1	Équipement de Signalisation/ éclairage Main d'œuvre	Réalisation	-fatigue -pression -stress -Main d'œuvre non qualifié -manque de compétences	-mauvaise installation des équipements. -court-circuit	-faible luminosité -accident -blessures	-dépassement de budget -dépassement de délais -Non-respect du contenu du projet
D.1	Équipement de Signalisation/ éclairage	réalisation	-équipement en mauvais état -Mal assemblage au niveau de la base -Mauvais choix des équipements -pluie	-Dégradation des Équipements	-chute des équipements d'éclairage -accident -blessures	-dépassement de budget -dépassement de délais -Non-respect du contenu du projet
F.2	Équipement de Signalisation/ éclairage Main d'œuvre	réalisation	-absence de contrôle et de suivis -manque de la maintenance	-Mauvais assemblage	- chute des équipements d'éclairage -accident -blessures	dépassement de budget -dépassement de délais -Non-respect du contenu du projet

Tableau 3-7 Établissement de processus de danger de sous-système pile

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS4 : Piles		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
E1 B1 F2 F8	-Projet	Réalisation	-Calcul erroné -effondrement des cavités -Compressibilité du sol -Erreur humaine	-Tassement des piles -Basculement	-Fissuration du tablier -décalage du viaduc -Mort des ouvriers	-Arrêt de chantier -Projet non achevé. -Dépassement des délais -dépassement de budget
E5	-Ressources humaines	Réalisation	-Mauvaises conditions de travail -Non-respect des règles de sécurité	-La chute d'un ouvrier	-Mort de l'ouvrier	-Arrêt de chantier -Retard des travaux -Dépassement des délais -dépassement de budget -conflit

Tableau 3-8 Établissement de processus de danger de sous-système tablier

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS5 : tablier		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B.1 F.2	-ressources humaines -	réalisation	-fatigue -stress - Manque de compétence -personnel non formé -absence de suivi et de contrôle -manque de communication	- mauvaise exécution de différentes activités -désorganisation de chantier	-retard des travaux -accidents -blessures	-dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier
D.2	tablier	réalisation	-mauvais choix des équipements (chariots-bétonnage-levage) - Utilisation de matériel non fiable non conforme	-Chariot de lancement ne démarche pas -problème de manutention	-retard des travaux -accidents -blessures	-dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier -Non-respect du contenu du projet
D.3	tablier Etanchiété Appareil d'appuis	réalisation	-Absence de procédures de gestion et des stocks - Absence de procédures de contrôle de matériaux - Propriété des matériaux plus faible que celle escomptées lors de la conception	-Détérioration des matériaux (corrosion, humidité) -livraison de matériaux non conforme - Utilisation de matériaux non conforme aux normes	-retard des travaux - tablier non conforme aux exigences -fissuration de tablier	-dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier -Non-respect du contenu du projet
D.5 D.6	Tablier ferrailage	réalisation	-calcul erroné -erreurs lors de la modélisation : poutres, hourdis...	- dégradation de tablier	-tablier non conforme aux exigences -dégradation de tablier -flexion de tablier	-dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier -Non-respect du contenu du projet

Tableau 3-9 Établissement de processus de danger de sous-système engins du viaduc

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS6 : Engins		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B1 D2	-Engins - Main d'œuvre - Projet -Conducteur	Réalisation	-Conducteur non qualifié -Fatigue - Mauvais assemblage De l'engin au niveau de l'entreprise -Mauvaises conditions de maintenance. -Hétérogénéité du terrain	Dysfonctionnement de l'engin (Panne)	-Retarder les travaux -Blessures -Accidents -stress	-Dépassement des délais -Dépassement des couts -Arrêt de chantier

Tableau 3-10 Établissement de processus de danger de sous-système Équipements du viaduc

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS7 : Équipements		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
D8 F2	Ressources humaines Projet	Réalisation	-dalle de transition -Joint de chaussée -absence des Garde-corps	-Chaussée non conforme aux exigences -Mort d'un usager	-Arrêt de chantier -Stress -Accident	-Travaux de réparation -Dépassement des couts -Dépassement de délais
-D8 -E1	Projet	Réalisation	Problèmes d'étanchéité -Pluviométrie -Colmatage des évacuateurs	-eau sur la chaussée	-Accident -Difficulté d'exécution des travaux	-Arrêt de chantier -Dépassement des délais et des couts

Tableau 3-11 Établissement de processus de danger de sous-système Acteurs du projet

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS8 : Acteurs du projet		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
F1 F3 F5 F6	-Projet -Personnels du projet	Réalisation	-Absence du management du projet -Mauvaise culture de communication -Personnel non formé et non qualifiés -Culture différente des parties prenantes -essais erronées au niveau du laboratoire -Rencontre des cavités -Nombre insuffisant des sondages	-conflit -Mauvaise exécution des travaux -contradiction entre le rapport géotechnique et le terrain -Consommation d'un volume énorme de béton	-Retarder les travaux -Essais géotechniques complémentaires	- Arrêt de chantier -Coûts additionnels -Dépassement des délais
C.6 – C7- C.3	- chaussée	Réalisation	Manque de compétences Mauvaise interprétation des spécifications Choix inapproprié des modalités de mise en œuvre Non-respect des exigences spécifiées Mauvais drainage Mauvaise définition des documents descriptifs de l'ouvrage (Cahier des charges)	Remblai insuffisamment compacté Épaisseur insuffisante Portance de l'arase terrassement insuffisante Nivellement de couche de forme non conforme Perte de portance du sol Augmentation de la teneur en eau du sol	Affaissement en rive Glissement de terrain Fissuration de la chaussée	Retard dans l'activité Dépassement de délais Économie du contrat bouleversée Arrêt de chantier Dépassement de budget Non-respect du contenu

F.8	Chaussée	Réalisation	<p>Modélisation simplificatrice et réductrice du contexte géotechnique du site</p> <p>Reconnaissance partielle</p> <p>Hétérogénéité du sol non prise en compte</p> <p>Erreur humaine</p> <p>Manque de compétence</p> <p>Personnel non qualifié</p> <p>Investigations géotechniques insuffisantes</p> <p>Programme d'investigation mal défini par le maître d'ouvrage</p> <p>Missions géotechniques mal définies</p>	Investigation géotechnique complémentaire	Déformation de la chaussée	<p>Arrêt de chantier</p> <p>Dépassement du budget</p> <p>Économie du contrat bouleversée</p> <p>Non-respect du contenu</p> <p>Retard dans l'activité</p> <p>Dépassement de délais</p>
F.2	Chaussée	Réalisation	<p>Erreur humaine</p> <p>Manque de compétences</p> <p>Manque d'entretien</p> <p>Personnel non qualifié</p> <p>Absence de contrôle</p> <p>Absence de procédures de suivi et de contrôle</p> <p>Contrôle de portance non effectué</p> <p>Contrôle d'arase terrassement non effectué</p> <p>Matériau non conforme utilisé dans un corps de remblai</p> <p>Point d'arrêt non défini dans les documents</p> <p>Matériel de contrôle non étalonné</p>	<p>Portance du sol faible</p> <p>Portance de l'arase de terrassement insuffisante</p> <p>Drain colmaté</p> <p>Point d'arrêt non respecté</p> <p>Remblai achevé insuffisamment compacté</p> <p>Nivellement de couche de forme non traité, non conforme</p>	<p>Déformation de la chaussée</p> <p>Fissuration de la chaussée</p> <p>Glissement de terrain</p>	<p>Arrêt de chantier</p> <p>Dépassement de délais</p> <p>Non-respect du contenu</p> <p>Dépassement de budget</p> <p>Retard dans l'activité</p>

Tableau 3-12 Établissement de processus de danger de sous-système Environnement spécifique

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS9 : Environnement spécifique		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux /Conséquences
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
F2 B1	-Projet -Usager	Réalisation	Pas de contrôle de qualité (distributeur)	-Mauvaise qualité des matériaux	-Non-respect de contenu de projet	-Dépassement de délais -Dépassement de couts -Absence de sécurité
B1 A1	-Projet -Matériel -Matériaux	Conception -réalisation	- Conflit d'intérêt -Erreur humaine -Difficulté financière -Abus de monopole -Mauvaise décision -Pression du maitre de l'ouvrage -Non prise en compte des exigences et spécifications -Mauvais choix des co-contractants	- choix d'un bureau d'étude ou entreprise non qualifiée -Non-respect des contrats	-Mauvaise exécution des travaux -Livraison de matériau non conforme -Livraison de matériel, non conforme -Non-conformité des travaux réalisés	-Dépassement des couts -Dépassement de délais Conflits professionnels (fournisseurs) -Non-respect du contenu du projet -Arrêt de chantier

Tableau 3-13 Établissement de processus de danger de sous-système environnement globale

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS10 : environnement global		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
A.1	Projet	réalisation	-difficultés financières -le déséquilibre financier de marché - mauvais choix de contrat - Pression du maitre d'ouvrage	-Retard de livraison des matériaux ou matériel -retard de paiement/remboursement	- retard des travaux -grève	-dépassement de délais -dépassement de budget -conflit
A.2	Projet	réalisation	-Prix élevés des matériaux utilisés dans la mise en œuvre du projet. -Changements dans les taxes d'imposition -faillite du maitre d'ouvrage/ l'entrepreneur /fournisseur du projet -inflation -Écarts dans les estimations fiscales	-Retard de livraison -retard de paiement -non-respect de contrat	- retard des travaux	-dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier -conflit
B.1 F.2	-ressources humaines	réalisation	-pression/fatigue/stress -mauvaise communication -sabotage -non-coordination -manque de compétence -mauvaise interprétation de l'information -personnel non qualifié -absence de control	-inconscience - mauvaise exécution des différentes activités	- retard des travaux	-grève -arrêt de chantier -dépassement de délais et de budget
C.1	-projet -ressources humaines	réalisation	-changement de la réglementation -absence de sécurité -possibilité de litige : -non-écoute aux Réclamations de la main d'œuvre. -non-respect des droits des ressources humaines.	-non-respect de contenu de projet -grève -taches non effectués	-retard des travaux	-grève -dépassement de délais -dépassement de budget
E.1	-Projet -ressources humaines	réalisation	-fatigue -stress - Manque de compétence -forte pluviométrie	-mauvaise exécution des différentes activités -inondation	- retard des travaux	-dépassement de délais -dépassement de budget
G.3	Projet	réalisation	-révolution -changement de gouvernement -crise économique	-manque/arrêt de financement	-arrêt de chantier	-projet non achevé

Tableau 3-14 Établissement de processus de danger de sous-système Ressources humaines

Établissement des processus de danger Sous-système Source SS11 : ressources humaines		Phases de vie	Évènements initiateurs	Évènements initiaux	Évènements principaux	Évènements finaux
Système source de danger	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B.1	Main d'œuvre Géotechnicien Topographe	Réalisation	-fatigue -manque des compétences -Charge de travail -Pression -conflits -mauvais organisation de chantier -main d'œuvre non qualifié	-inconscience - mauvaise exécution des différentes activités	- accidents -retard des travaux	-dépassement des délais -dépassement de budget -arrêt de chantier
E.4	Main d'œuvre Topographe Géotechnicien	Réalisation	-manque des équipements de sécurité - absence de sécurité. -Mauvaise affectation des tâches	-Diminution de la Productivité -Manque d'efficacité - Organisation déficiente	-retard des travaux	-non -respect des exigences de règlement de prévention -dépassement de délais -dépassement de budget -arrêt de chantier
F.2 F.6	Main d'œuvre Projet Géotechnicien Topographe	Réalisation	-absence de contrôle et de suivis -manque de la maintenance -personnel non qualifié -décision personnel -Manque de communication	- Désorganisation de chantier	- retard des travaux	-conflits
E3 E5	Main d'œuvre - Activité	Réalisation	Insalubrité des lieux (hygiène) - Absence d'un système d'hygiène et de sécurité - Malade mal soigné	Contamination	Épidémie - Retard dans l'activité	Arrêt de chantier - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Grève

3-4 Étape 4 : Construction des processus

Dans cette étape on va prendre chaque sous système à partir des tableaux 3-4 à 3-14 et on les représente sous forme des boites noires comme représentés dans les figures 3-2 à 3-12.

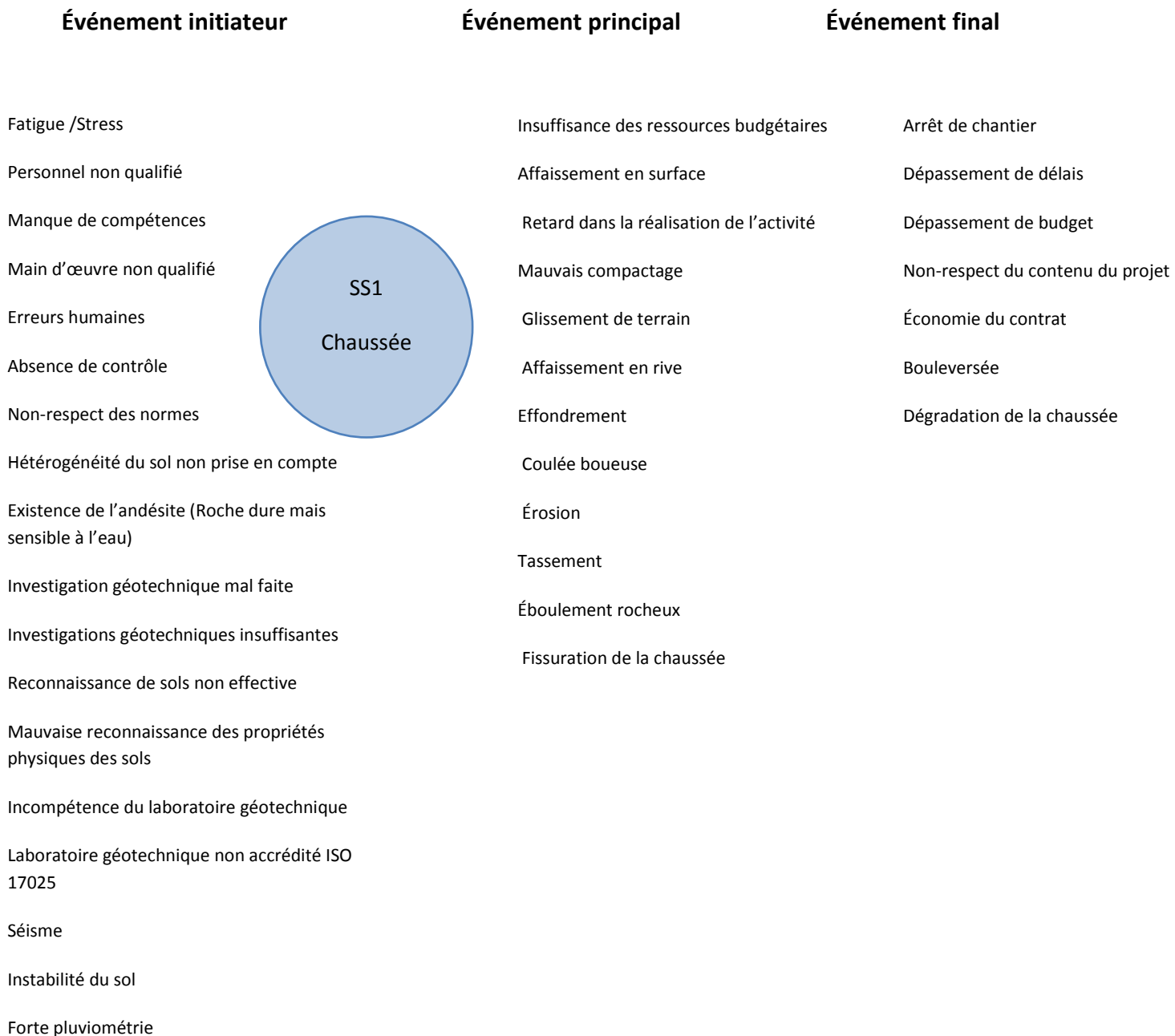


Figure 3-2 Boite noire du SS1 Chaussée

Événement initiateur

Événement principal

Événement final

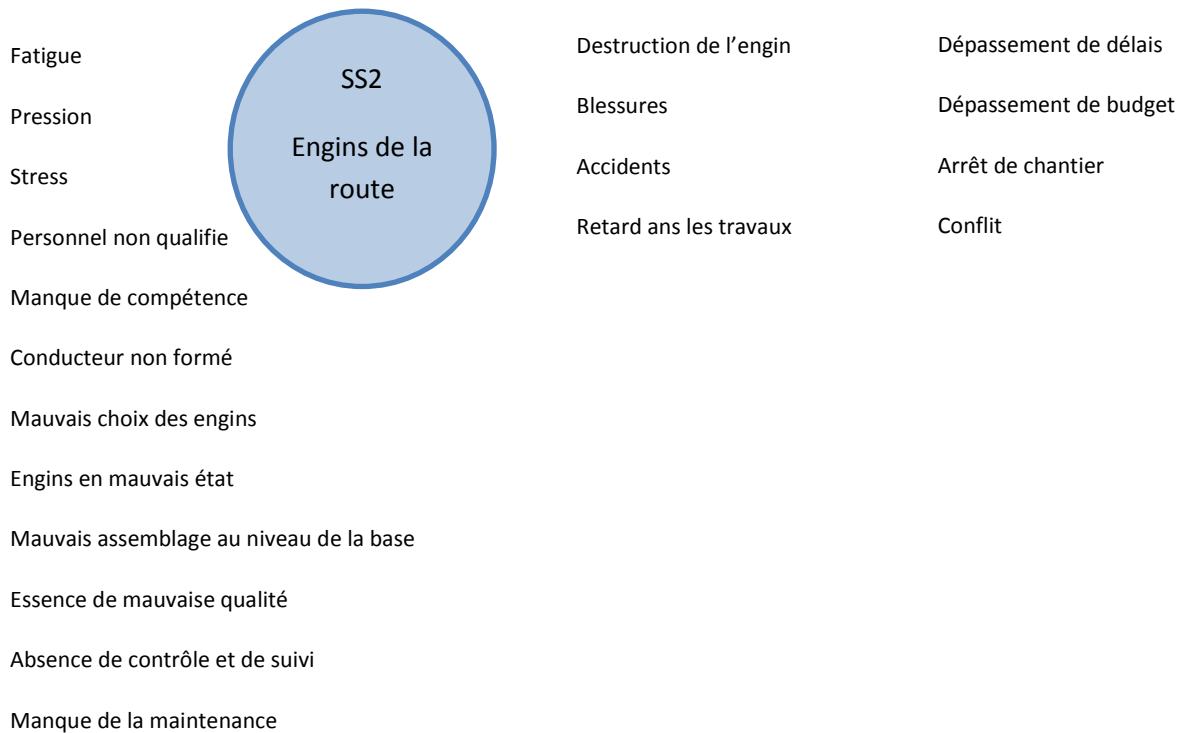


Figure 3-3 Boite noire du SS2 Engins de la route

Événement initiateur

Événement principal

Événement final

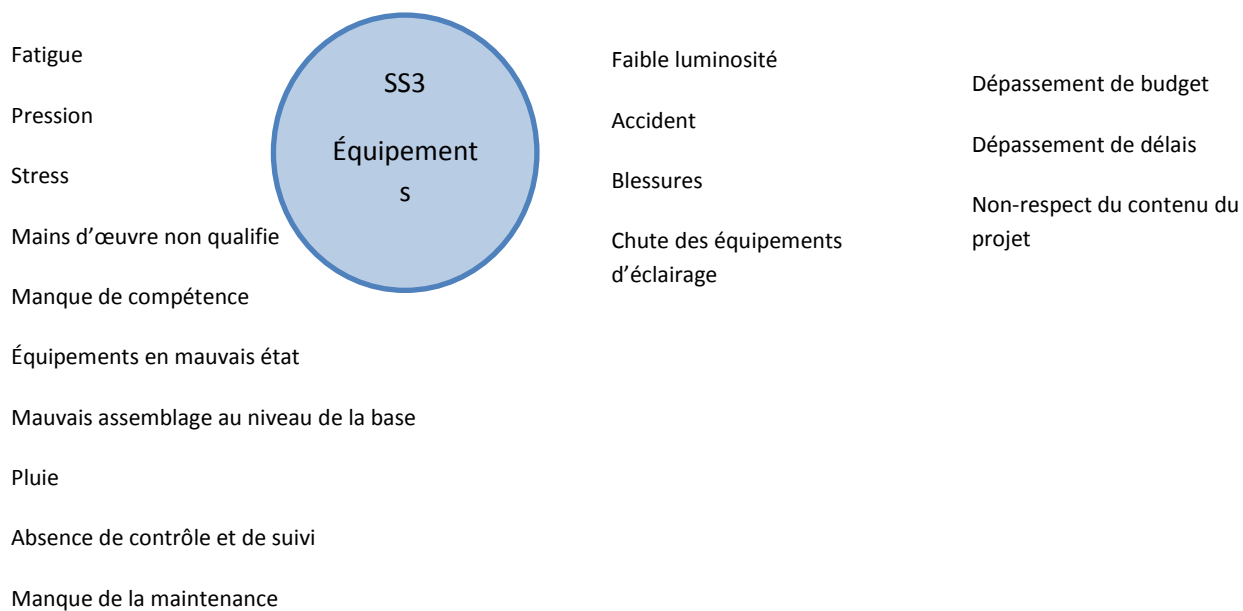


Figure 3-4 Boite noire du SS3 Équipements

Événement initiateur

Événement principal

Événement final

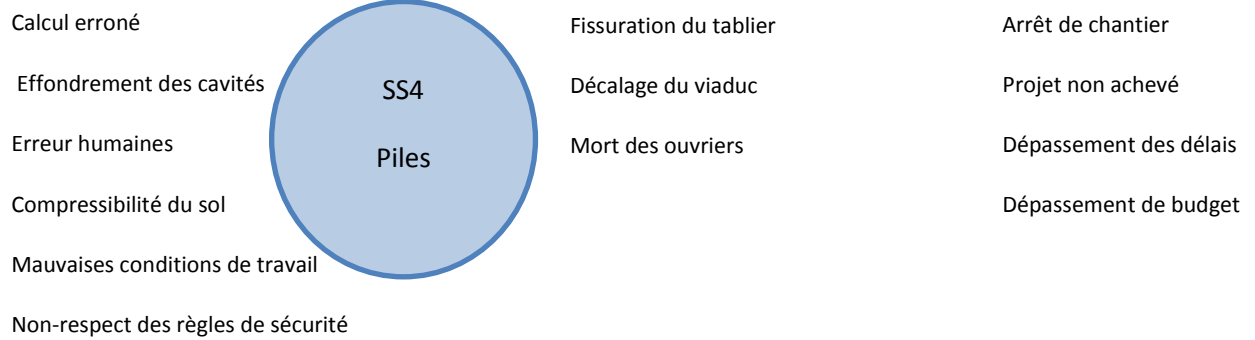


Figure 3-5 Boite noire du SS4 Piles

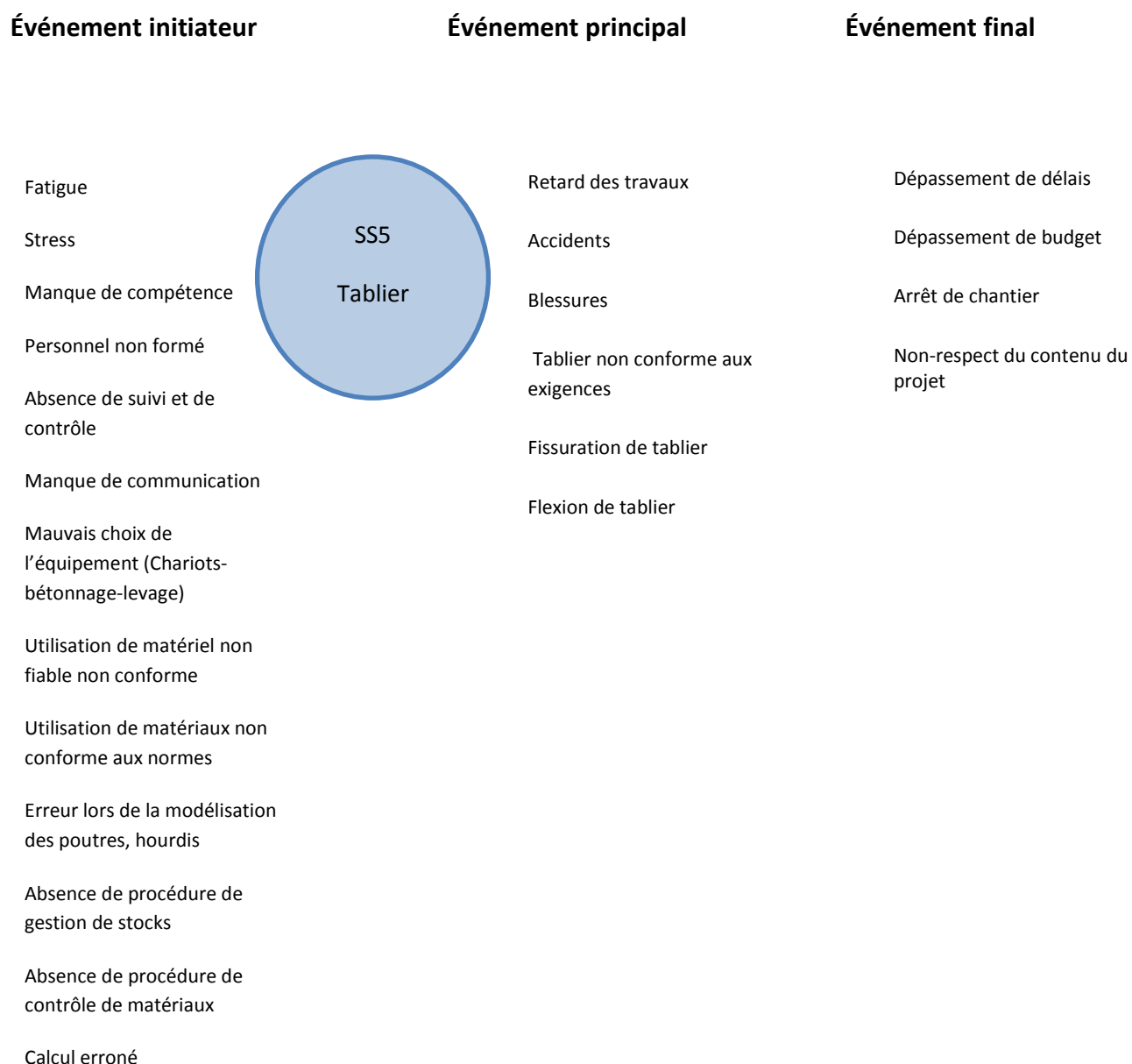


Figure 3-6 Boite noire du SS5 Tablier

Événement initiateur

Événement principal

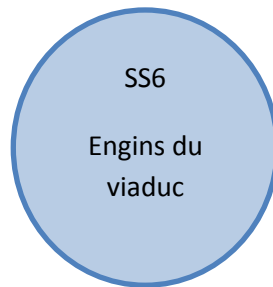
Événement final

Conducteur non qualifié

Fatigue

Mauvais assemblage de l'engin
au niveau de l'entreprise

Hétérogénéité du terrain



Retarder les
travaux

Blessures

Stress

Dépassement de délais

Dépassement de budget

Arrêt de chantier

Figure 3-7 Boite noire du SS6 Engins du viaduc

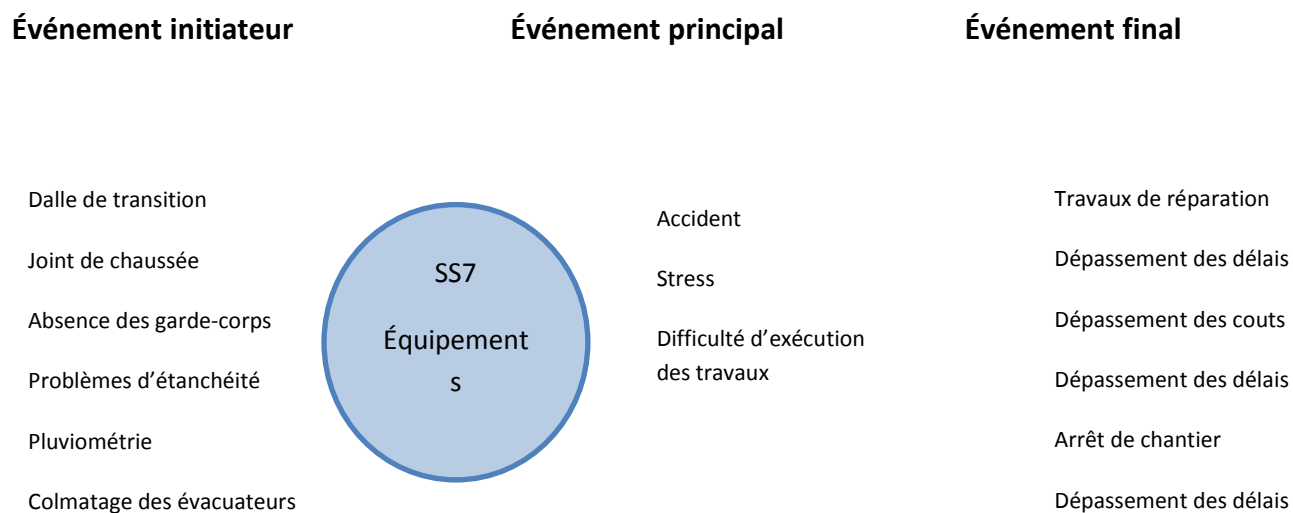


Figure 3-8 Boite noire du SS7 Équipements du viaduc

Événement initiateur

Événement principal

Événement final

Absence du management du projet

-Mauvaise culture de communication

-Personnel non formé et non qualifiés

-Culture différente des parties prenantes

-Essais erronées au niveau du laboratoire

-Rencontre des cavités

-Nombre insuffisant des sondages

-Non-respect des exigences spécifiées

-Mauvais drainage

-Mauvaise définition des documents descriptifs de l'ouvrage (Cahier des charges)

-Modélisation simplificatrice et réductrice du contexte géotechnique du site

-Hétérogénéité du sol non prise en

Compte

-Erreur humaine

-Programme d'investigation géotechnique mal défini par le maître d'ouvrage

-Missions géotechniques mal définies

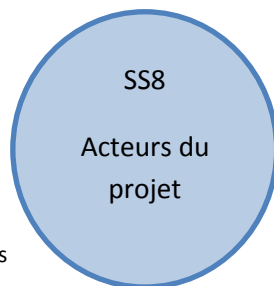
-Manque de compétences

-Absence de suivi et de contrôle

-Contrôle d'arase terrassement non

Effectué

-Matériau non conforme utilisé dans un corps de remblai.



Retarder les travaux

-Essais géotechniques complémentaires

-Affaissement en rive

-Glissement de terrain

-Fissuration de la chaussée

-Déformation de la chaussée

-Arrêt de chantier

-Coûts additionnels

-Dépassement des délais

-Économie du contrat bouleversée

-Non-respect du contenu du projet

Figure 3-9 Boîte noire du SS8 Acteurs du projet

Événement initiateur

-Pas de contrôle de qualité (distributeur)

Conflit d'intérêt

-Erreur humaine

-Difficulté financière

-Abus de monopole

-Mauvaise décision

-Pression du maitre de l'ouvrage

-Non prise en compte des exigences et spécifications

-Mauvais choix des co-contractants



Événement principal

Non-respect de contenu de projet

-Mauvaise exécution des travaux

-Livraison de matériau non conforme

-Livraison de matériel, non conforme

-Non-conformité des travaux réalisés

Événement final

-Dépassement de délais

-Dépassement de couts

-Absence de sécurité

-Conflits professionnels (fournisseurs)

-Arrêt de chantier

Figure 3-10 Boite noire du SS9 Environnement spécifique

Événement initiateur

Événement principal

Événement final

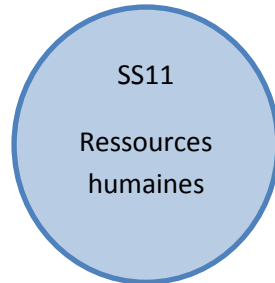


Figure 3-11 Boite noire du SS10 Environnement globale

Événement initiateur

Fatigue
Manque des compétences
Charge de travail
Pression
Conflits
Mauvaise organisation de chantier
Main d'œuvre non qualifié
Manque des équipements de sécurité
Mauvaise affectation des tâches
Absence de contrôle et de suivis
Manque de la maintenance
Personnel non qualifié
Décision personnelle
Absence d'un système d'hygiène et de sécurité
Malade mal soigné

Événement principal



Accidents
Blessures
Épidémie
Retard dans l'activité

Événement final

Dépassement des délais
Dépassement de budget
Arrêt de chantier
Non-respect des exigences de règlement de prévention
Conflits
Grève

Figure 3-12 Boite noire du SS11 Ressources humaines

3-5 Étape 5 : Construction des scénarios

Dans cette étape on va associer les événements d'entrée et les événements de sortie, c'est à dire à partir d'un événement initiateur on passe par un événement principale allant jusqu'un événement final comme montré dans les figures 3-13 à 3-23 .après la construction des scénarios on va mettre les figures dans un même plan et construire l'enchaînement des événement dans tout le système pénétrante (Figure 3-24) ainsi que les scénarios longs d'enchaînement des événements comme présenté dans la figure 3-25 :

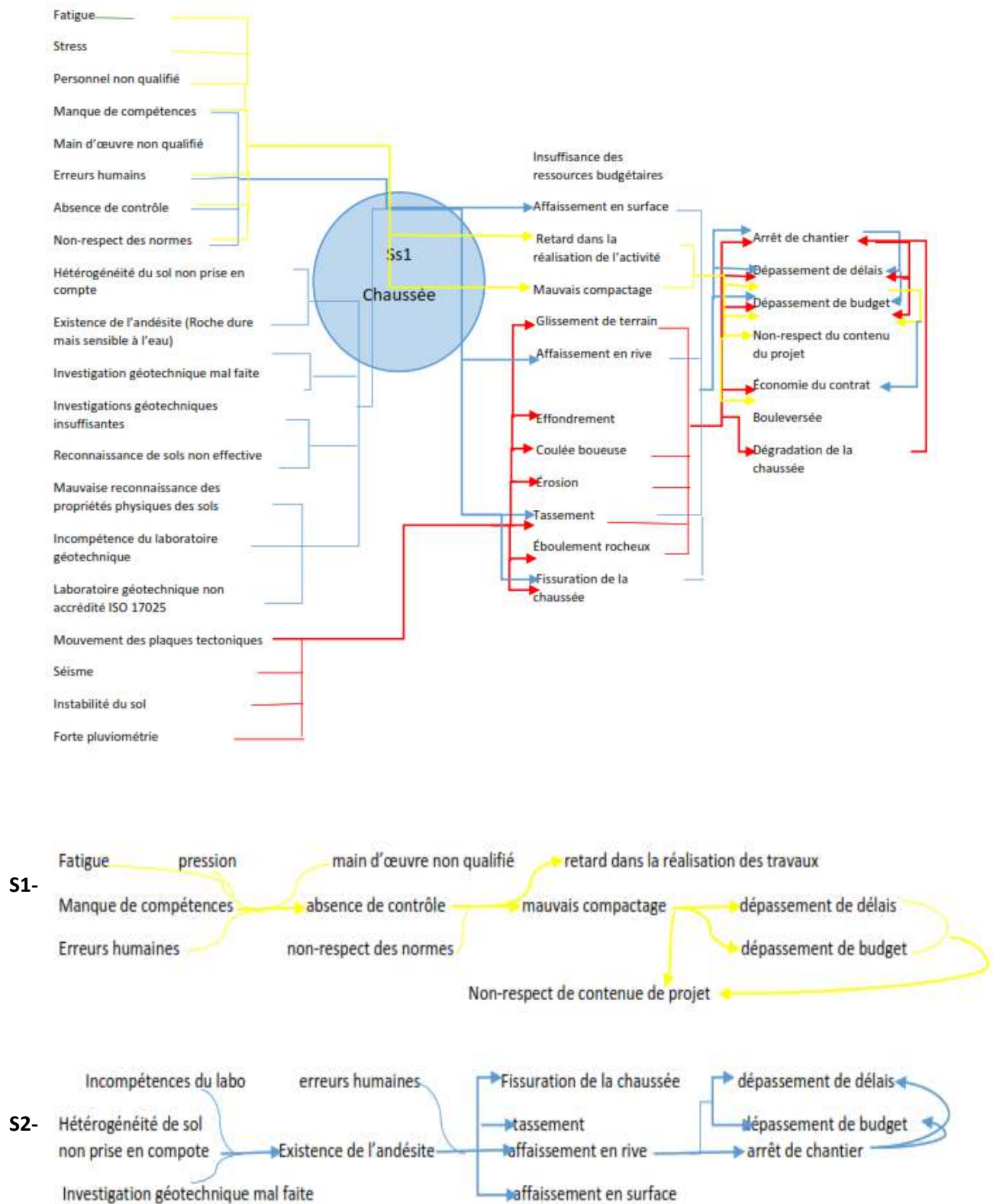


Figure 3-13a Scénario court du SS1 CHAUSSEE

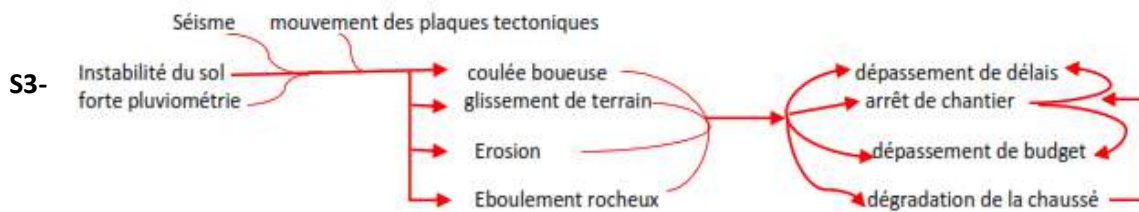


Figure 3-13b Scénarios courts du SS1 CHAUSSEE

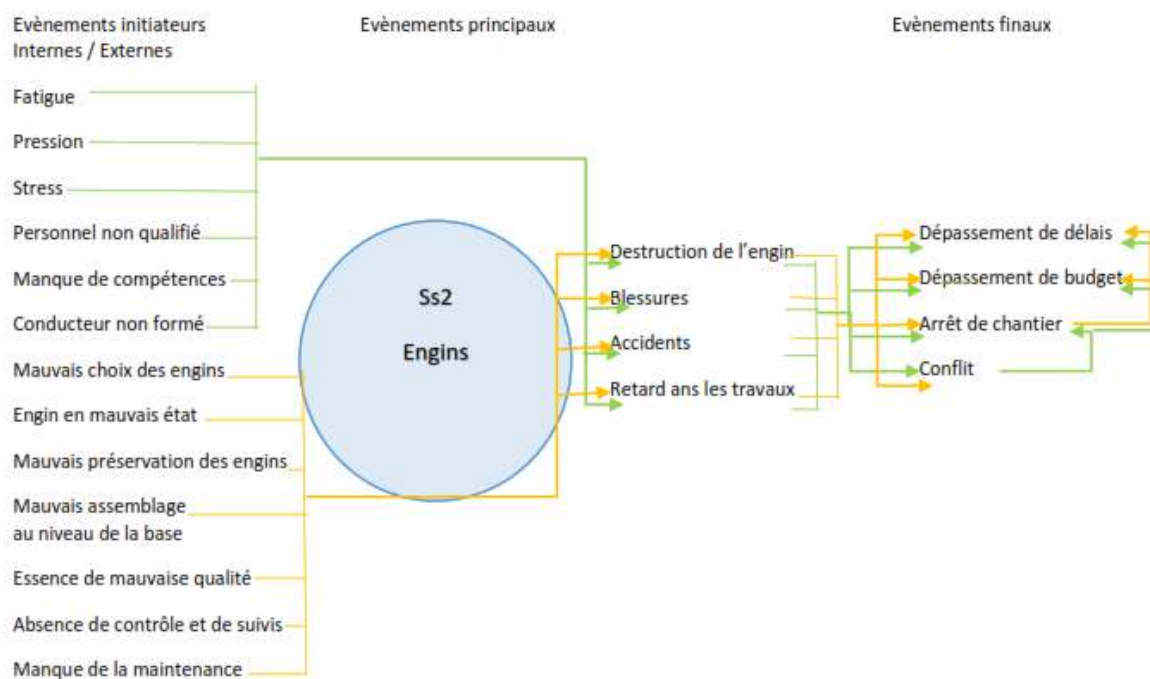


Figure 3-14a Scénarios court du SS2 ENGINES DE LA ROUTE



Figure 3-14b Scénarios courts du SS2 ENGINES DE LA ROUTE

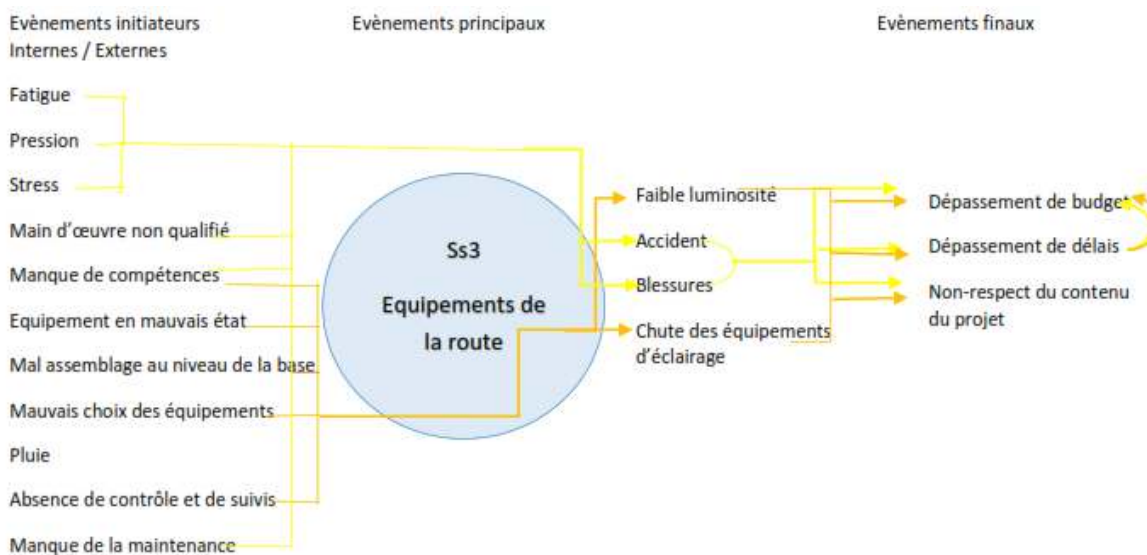


Figure 3-15a Scénario court du SS3 Équipements de la route



Figure 3-15b Scénario court du SS3 Équipements de la route

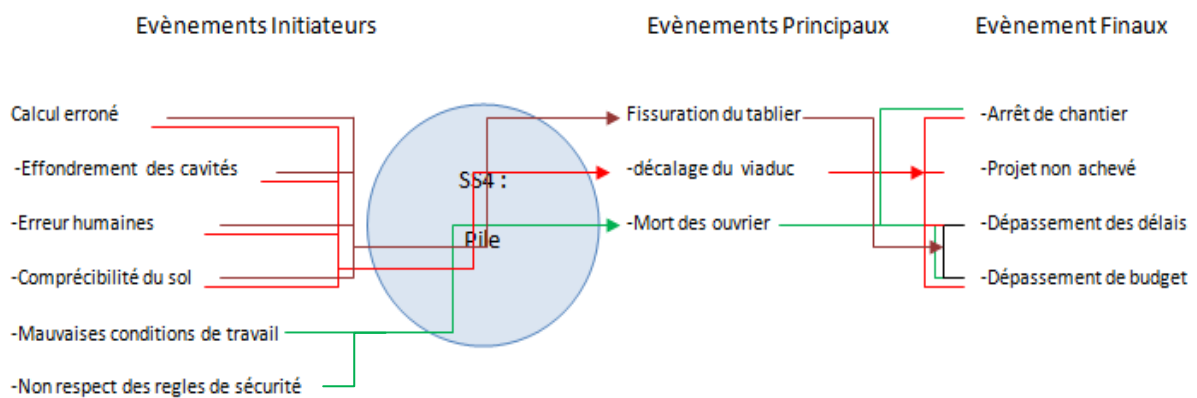


Figure 3-16a Scénario court du SS4 Les piles

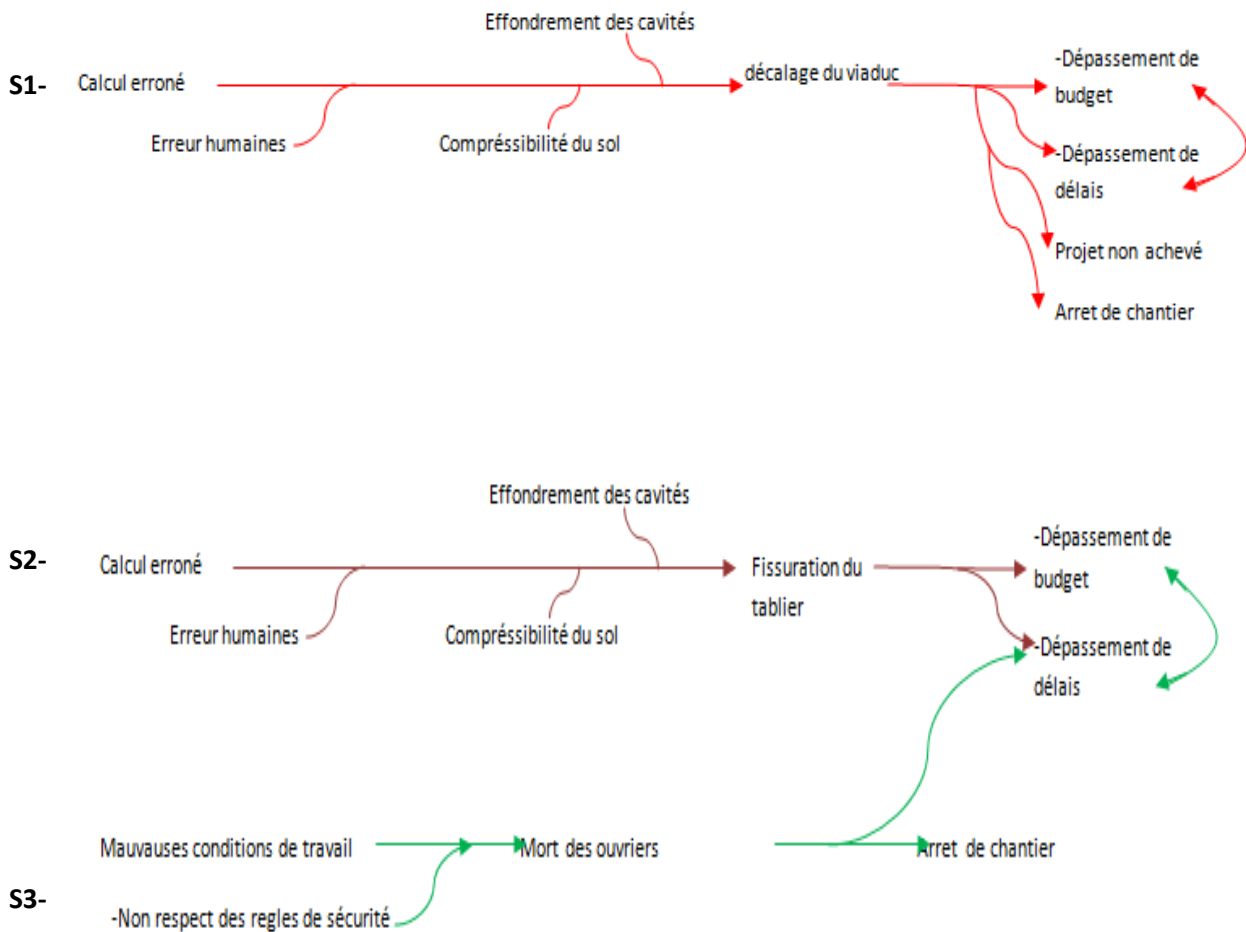


Figure 3-16b Scénario court du SS4 Les piles

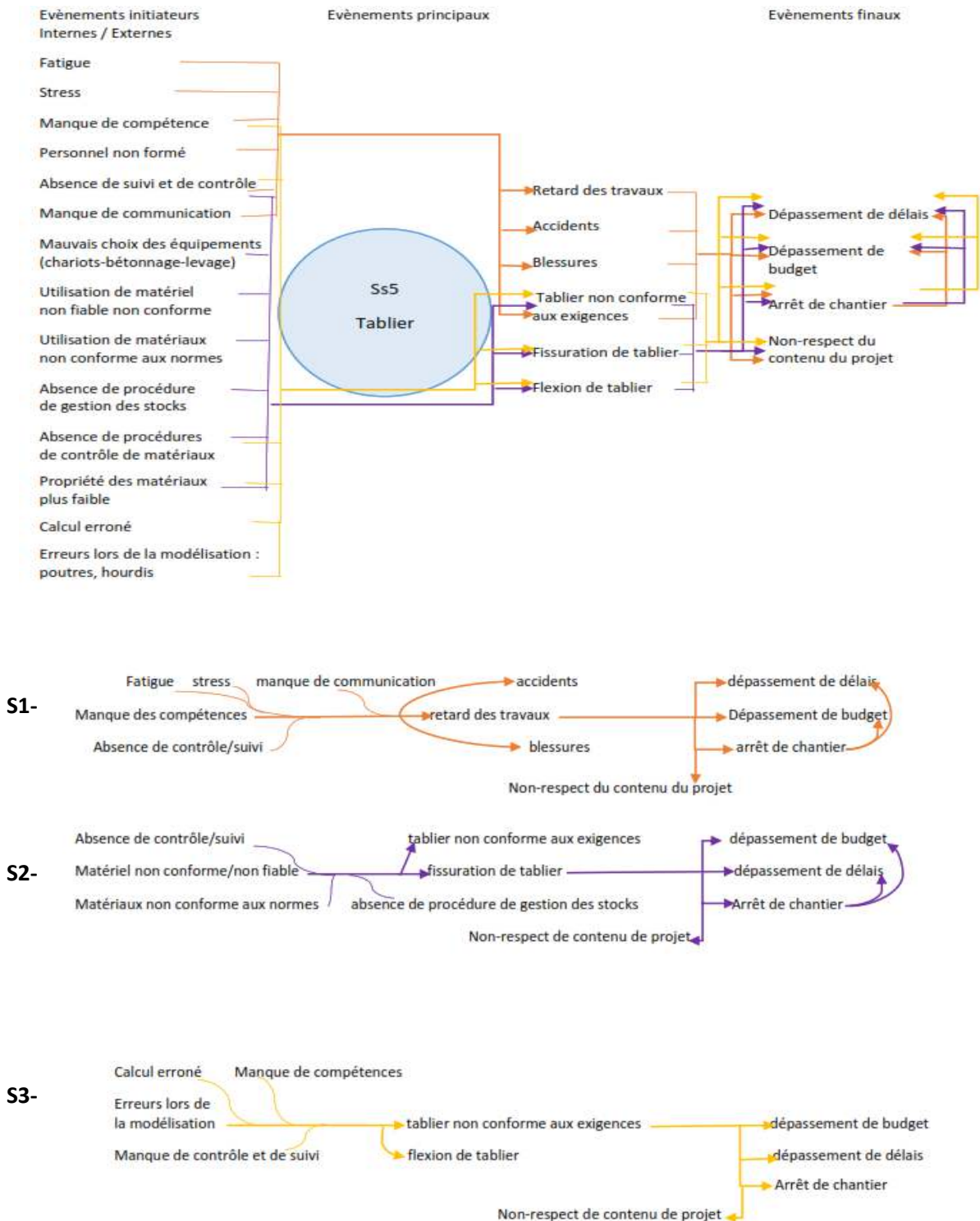


Figure 3-17 Scénario court de SS5 tablier

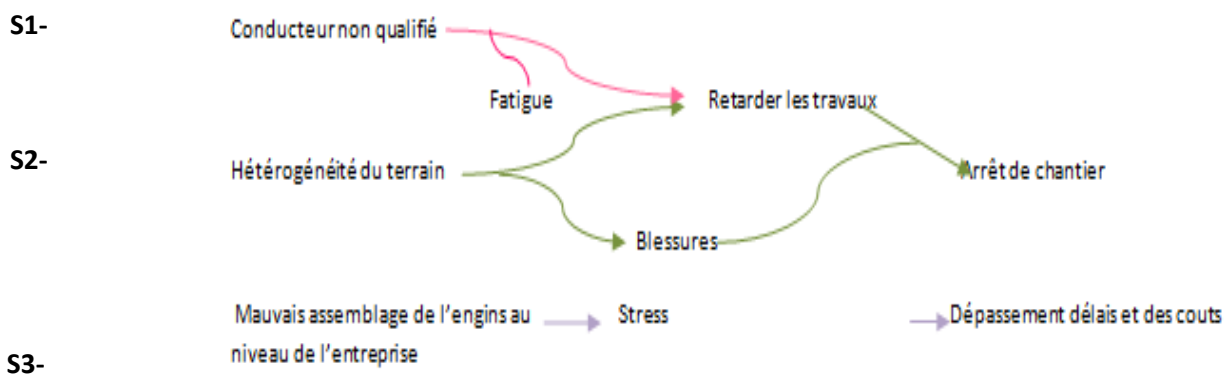
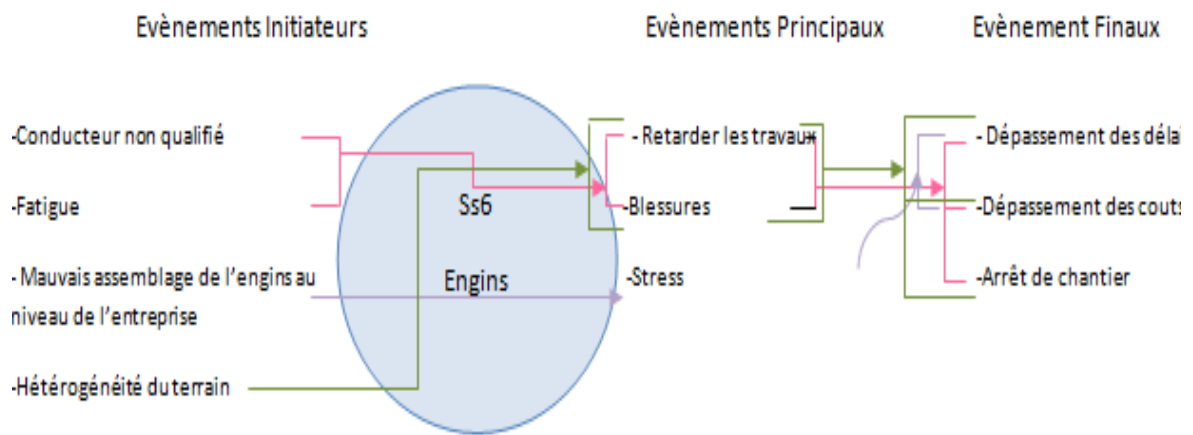


Figure 3-18 Scénarios courts des engins du viaduc

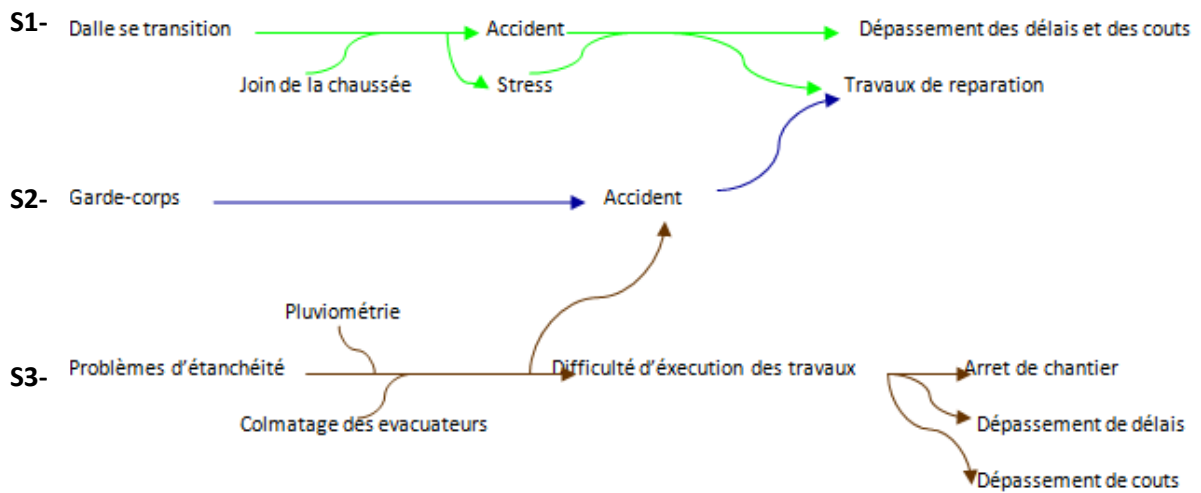
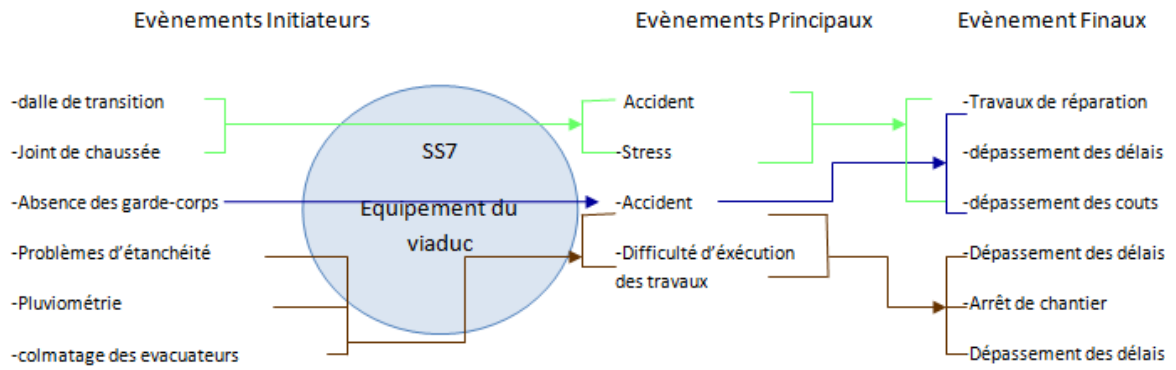


Figure 3-19 Scénario court du SS7 Équipement du viaduc

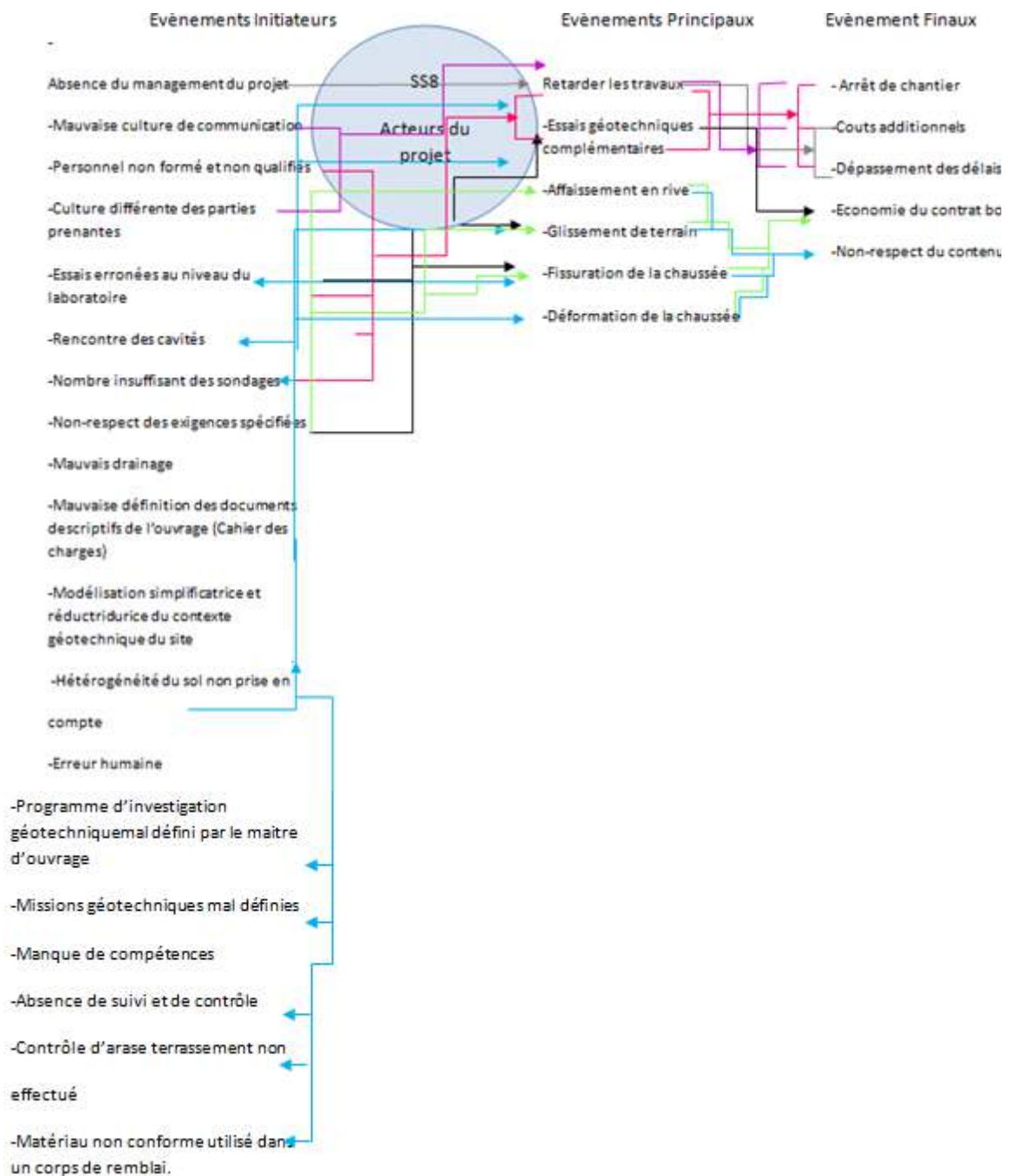


Figure 3-20a Scénario court du SS8 Acteurs du projet

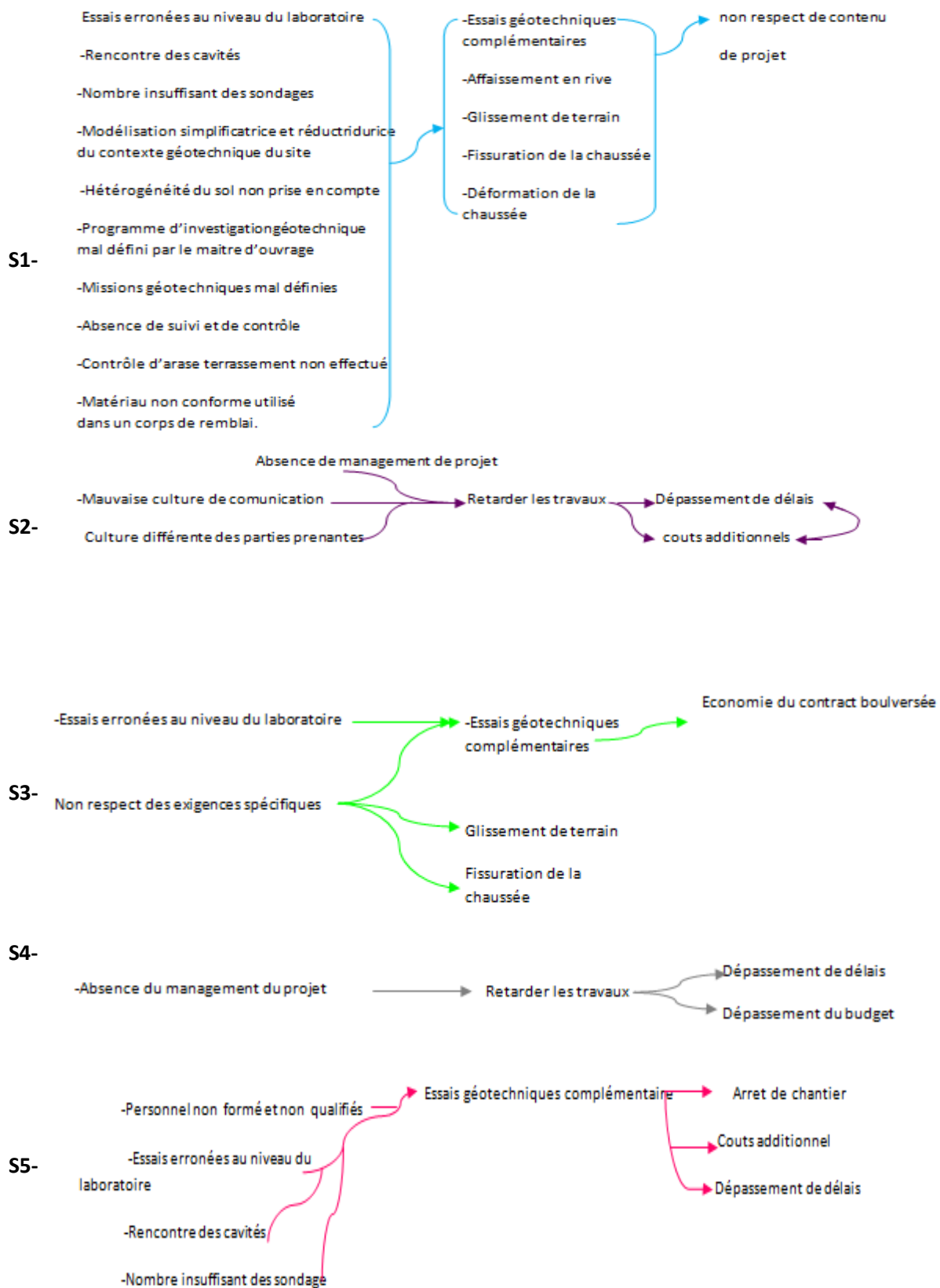


Figure 3-20b Scénario court du SS8 Acteurs du projet

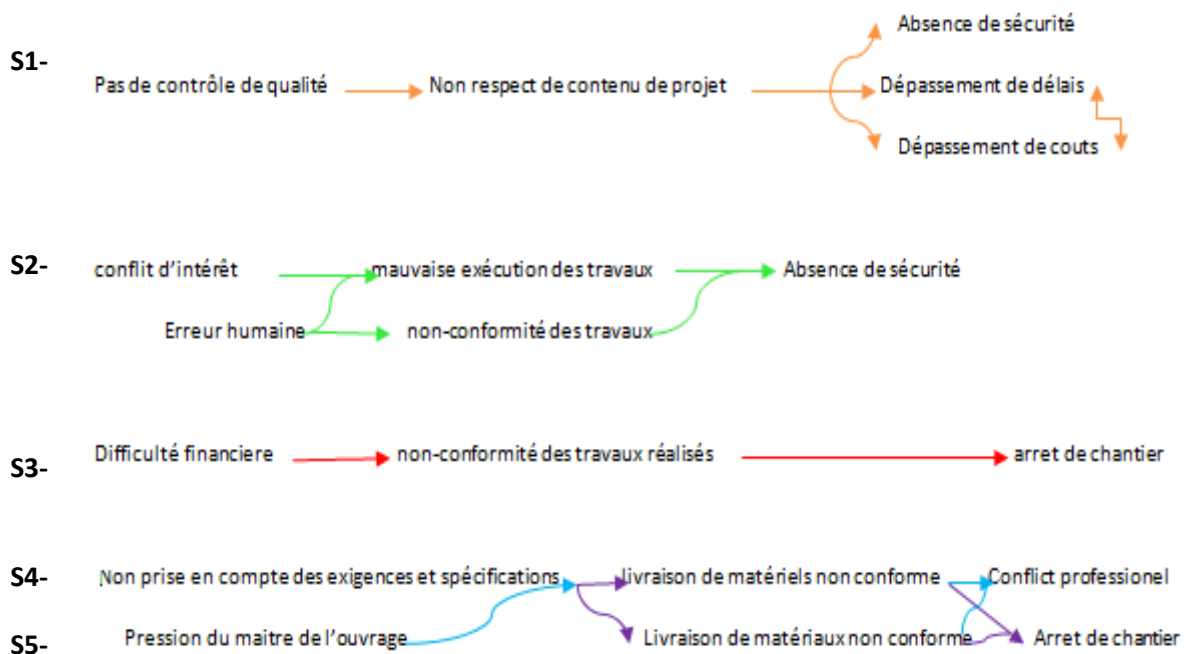
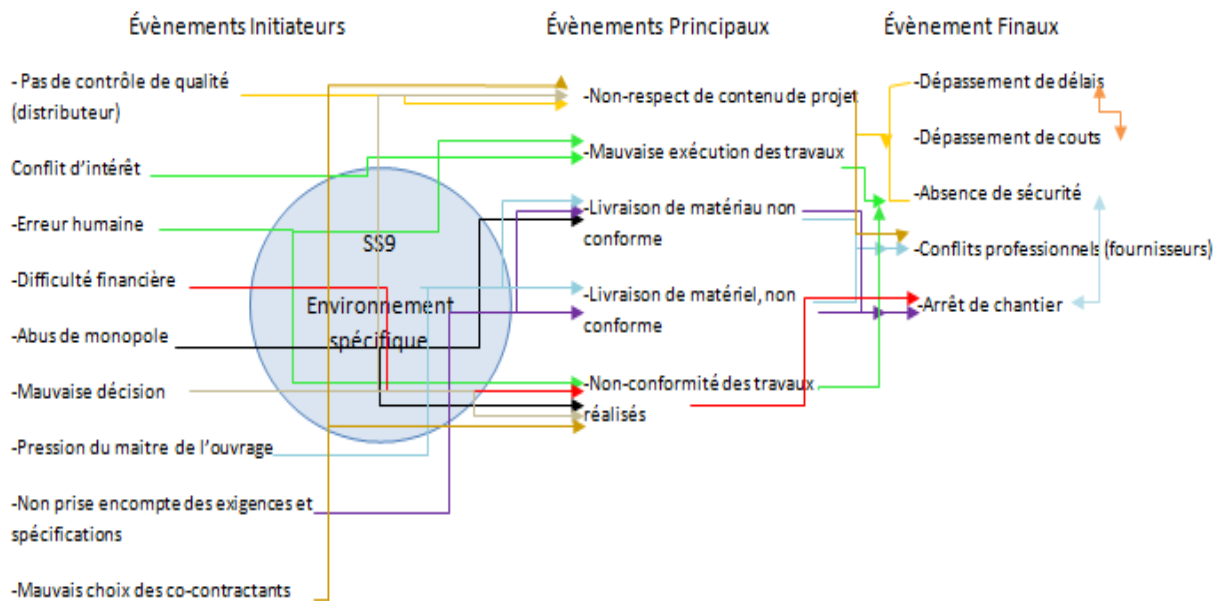


Figure 3-21 Scénario court du SS9 Environnement spécifique

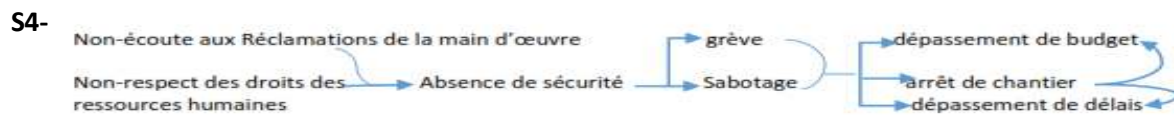
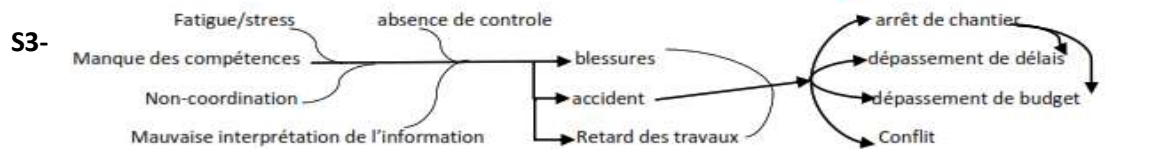
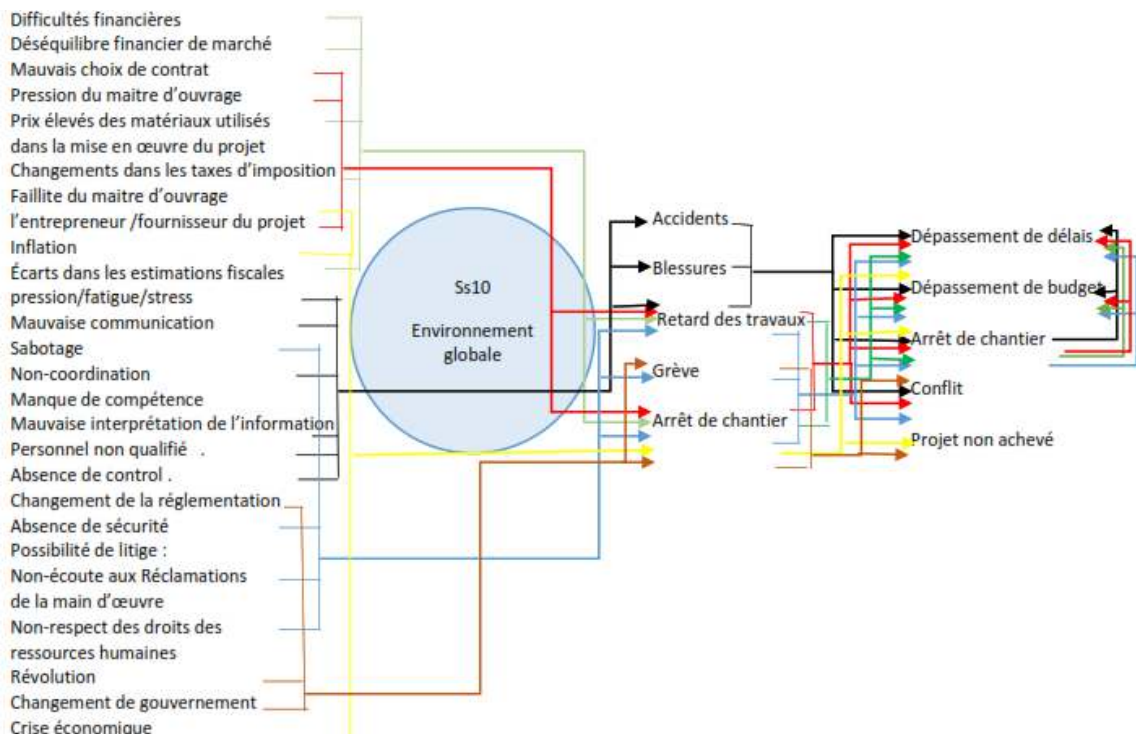


Figure 3-22 Scénarios courts du SS10 Environnement globale

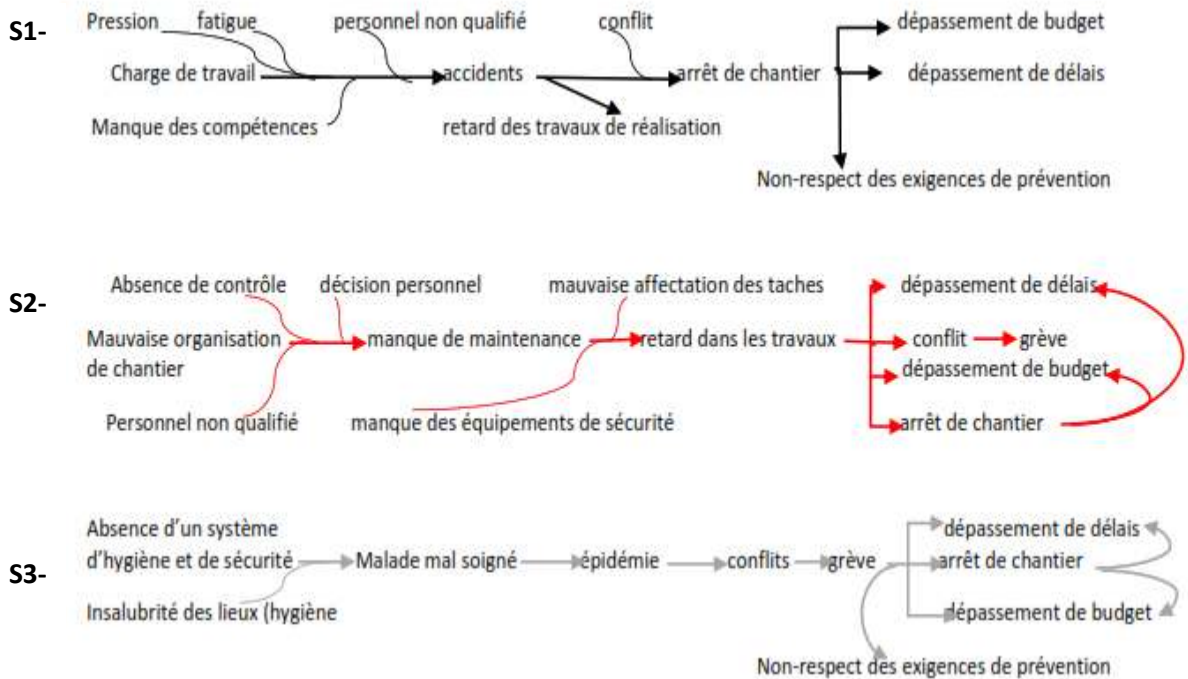
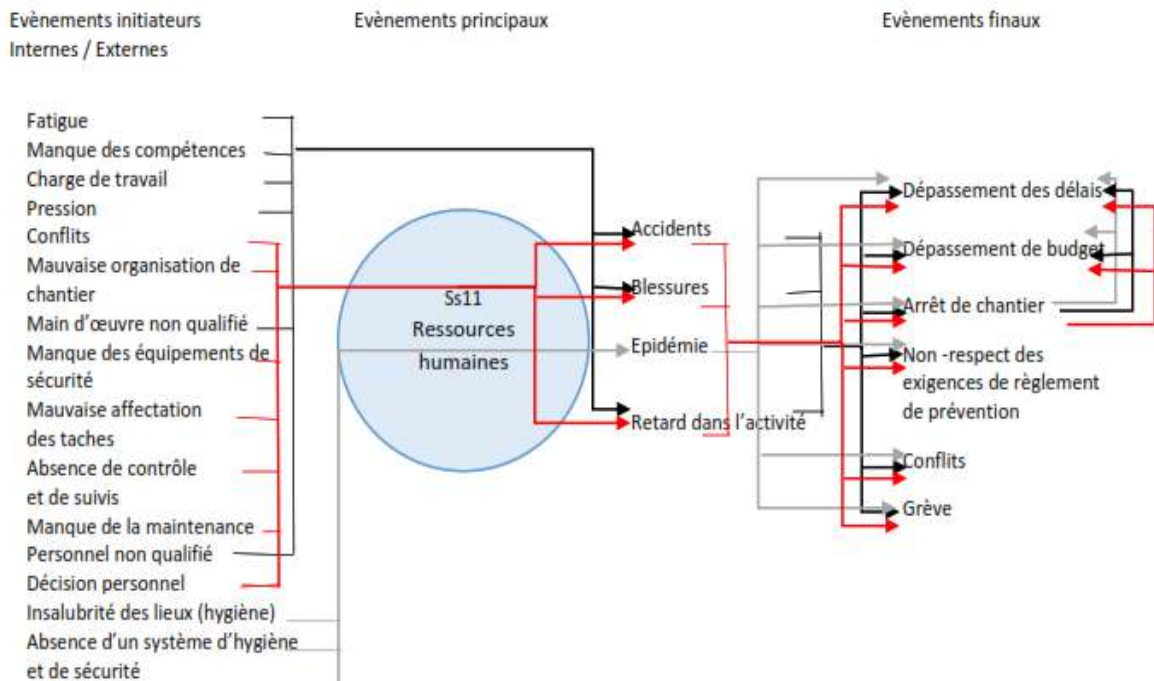


Figure 3-23 Scénario court du SS11 Ressources humaines

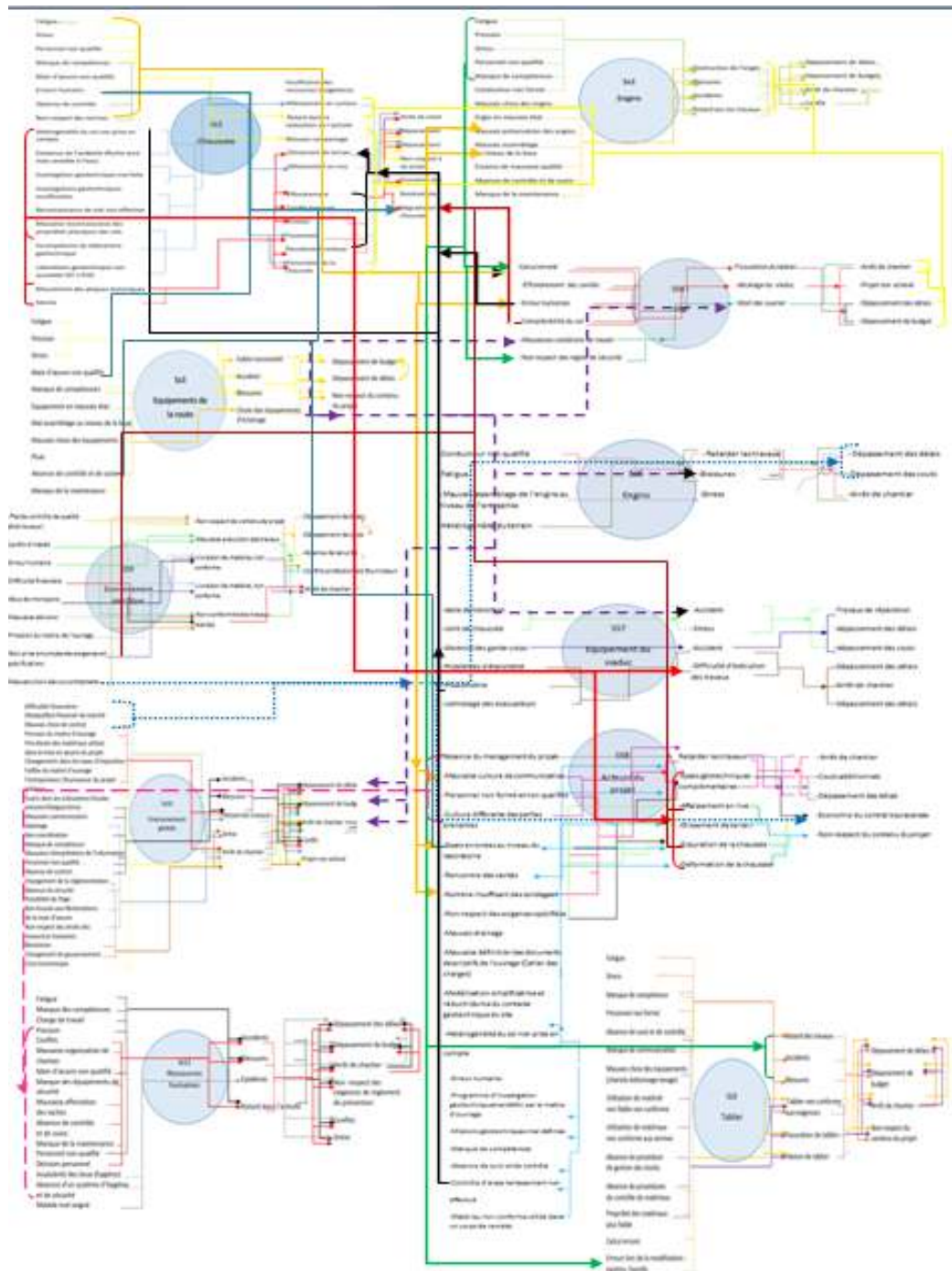
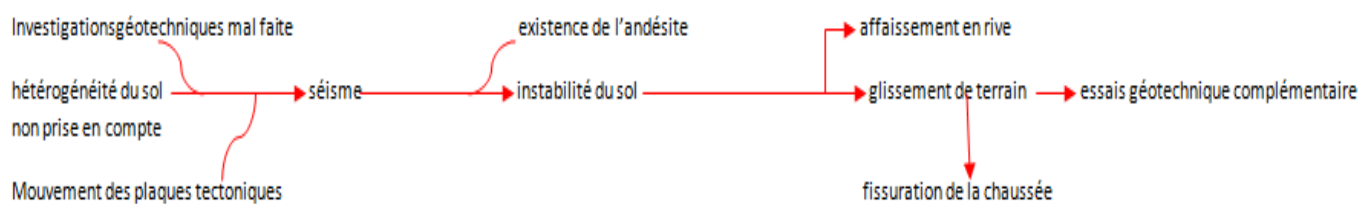


Figure 3.24 Enchaînement de l'événement

Scénario long 1



Scénario long 2 :



Scénario long 3 :

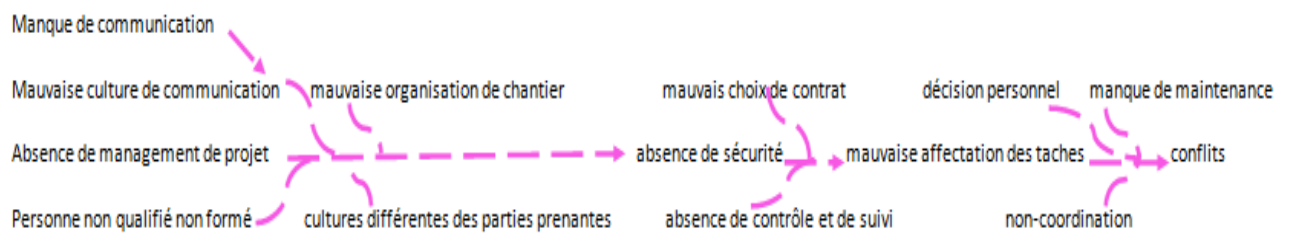
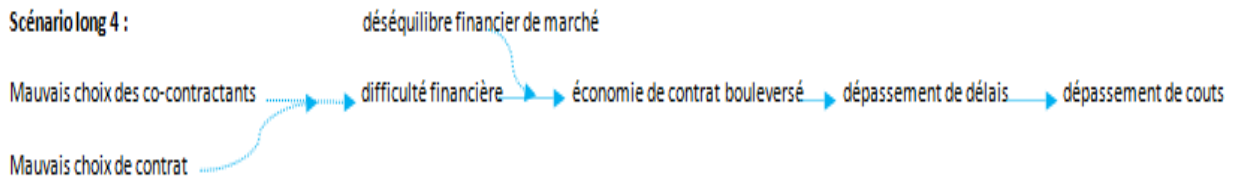
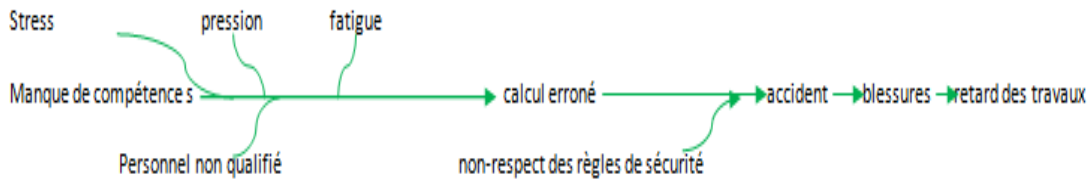


Figure 3-25a Scénarios longs d'enchaînement des événements

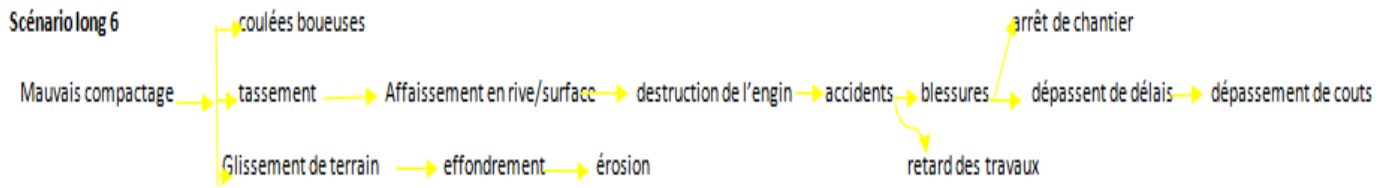
Scénario long 4 :



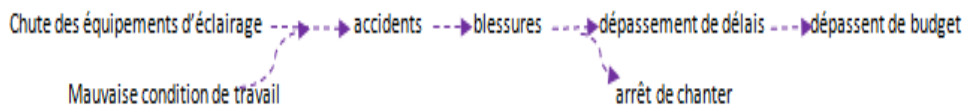
Scénario long 5 :



Scénario long 6 :



Scénario long 7 :



Scénario long 8 :

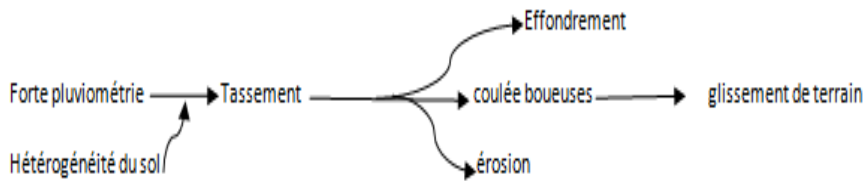
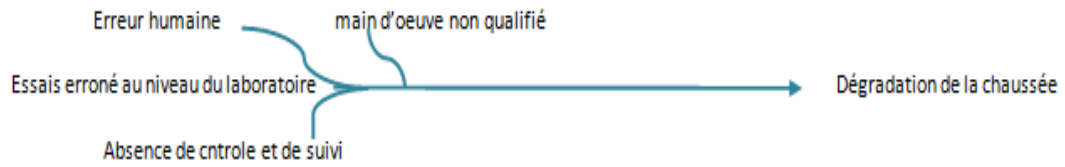


Figure 3-25b Scénarios longs d'enchaînement des événements

Scénario long 9 :



Scénario long 10:



Figure3-25c Scénarios longs d'enchainement des événements

3-6 Étape 6 Construction des arbres logiques

À partir des scénarios longs et courts, on peut construire un arbre logique qui est la première représentation des événements enchainant un ENS. On remarque que la construction des boites noires à générer plusieurs événements non souhaités (ENS). On a choisi de représenté les 05 principaux événements (Figure 3-26 à 3-30)

-Dégradation de la chaussée

-Arrêt de chantier

-Dépassement de délais

-Dépassement de couts

-Glissement de terrain

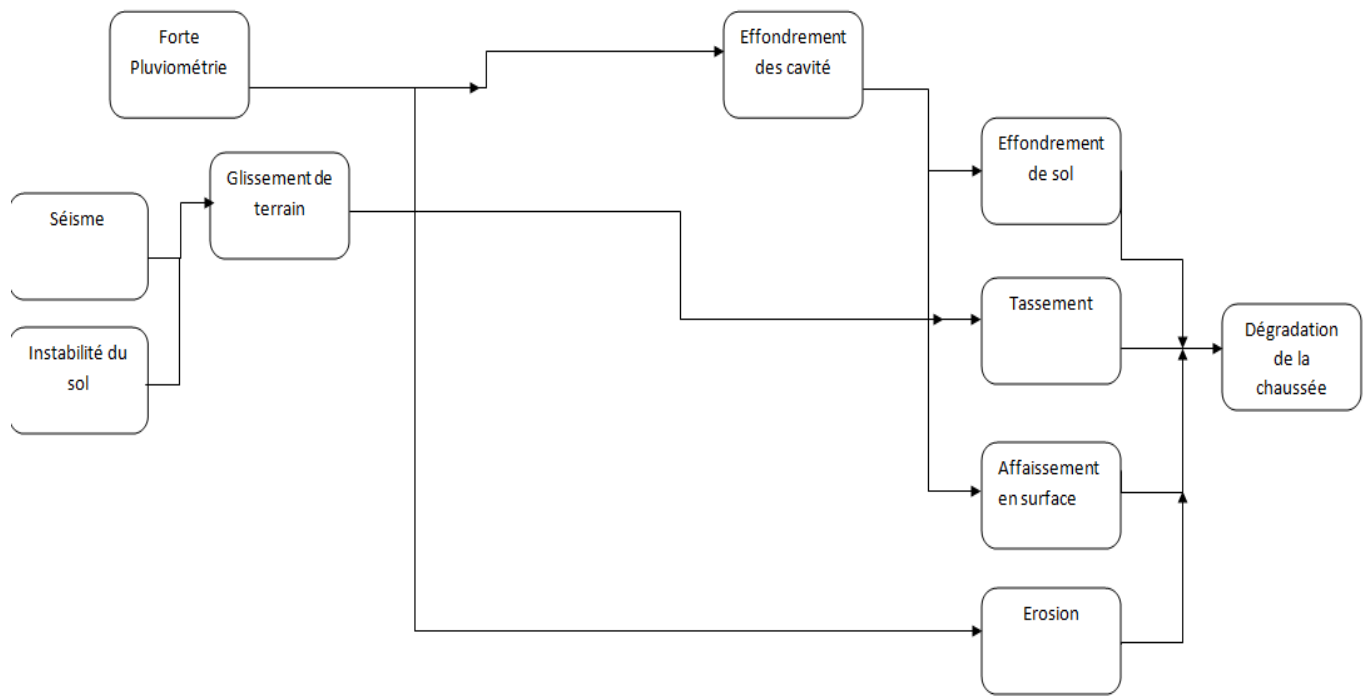


Figure 3-26 Arbre logique dégradation de la chaussée

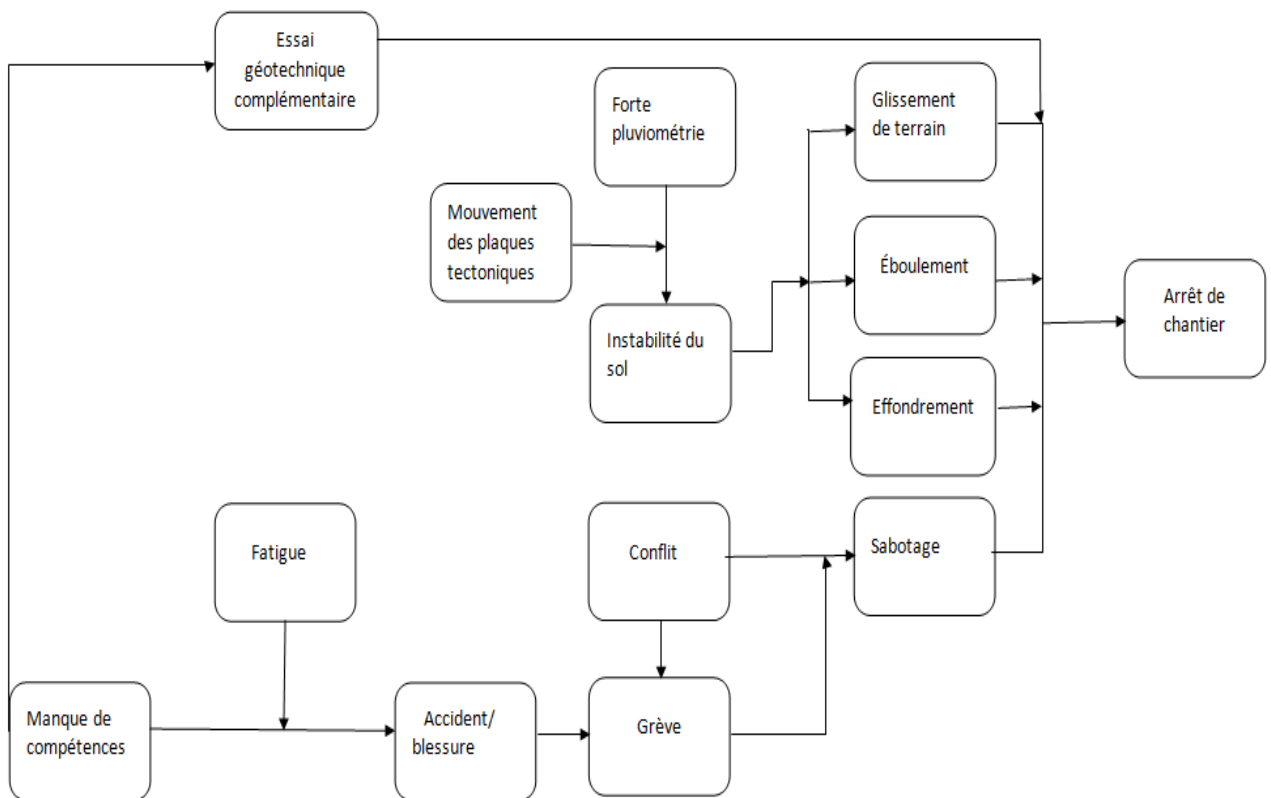


Figure 3-27 Arbre logique arrêt de chantier

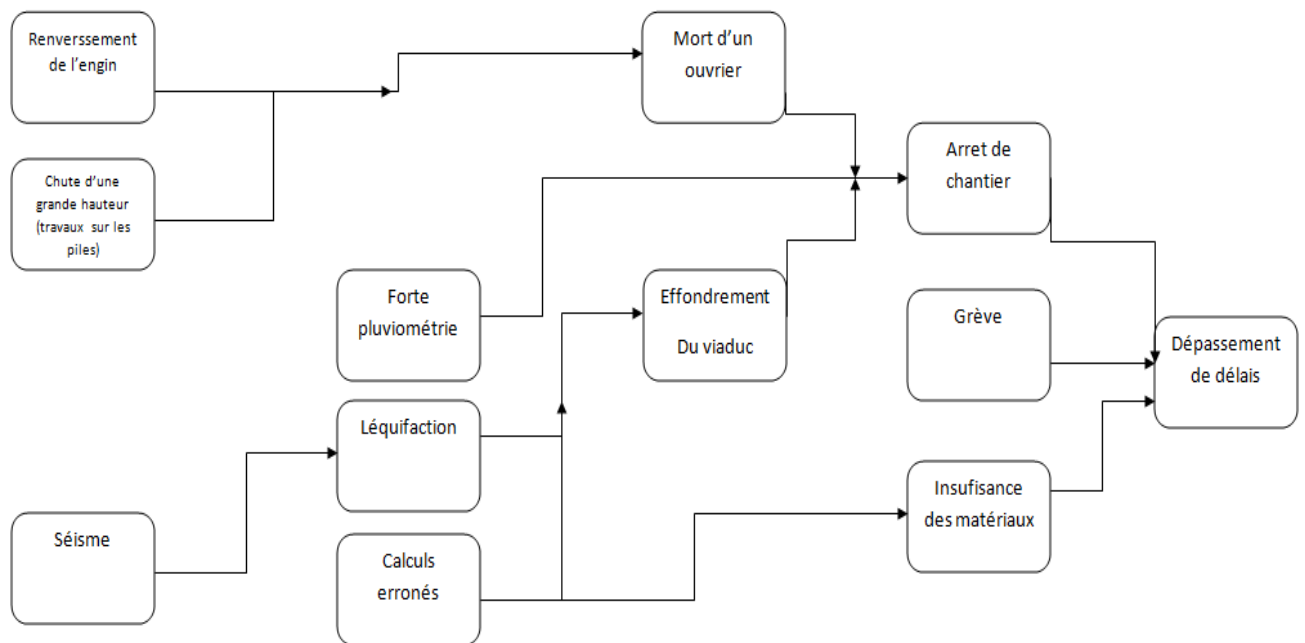


Figure 3-28 Arbre logique dépassent de délais

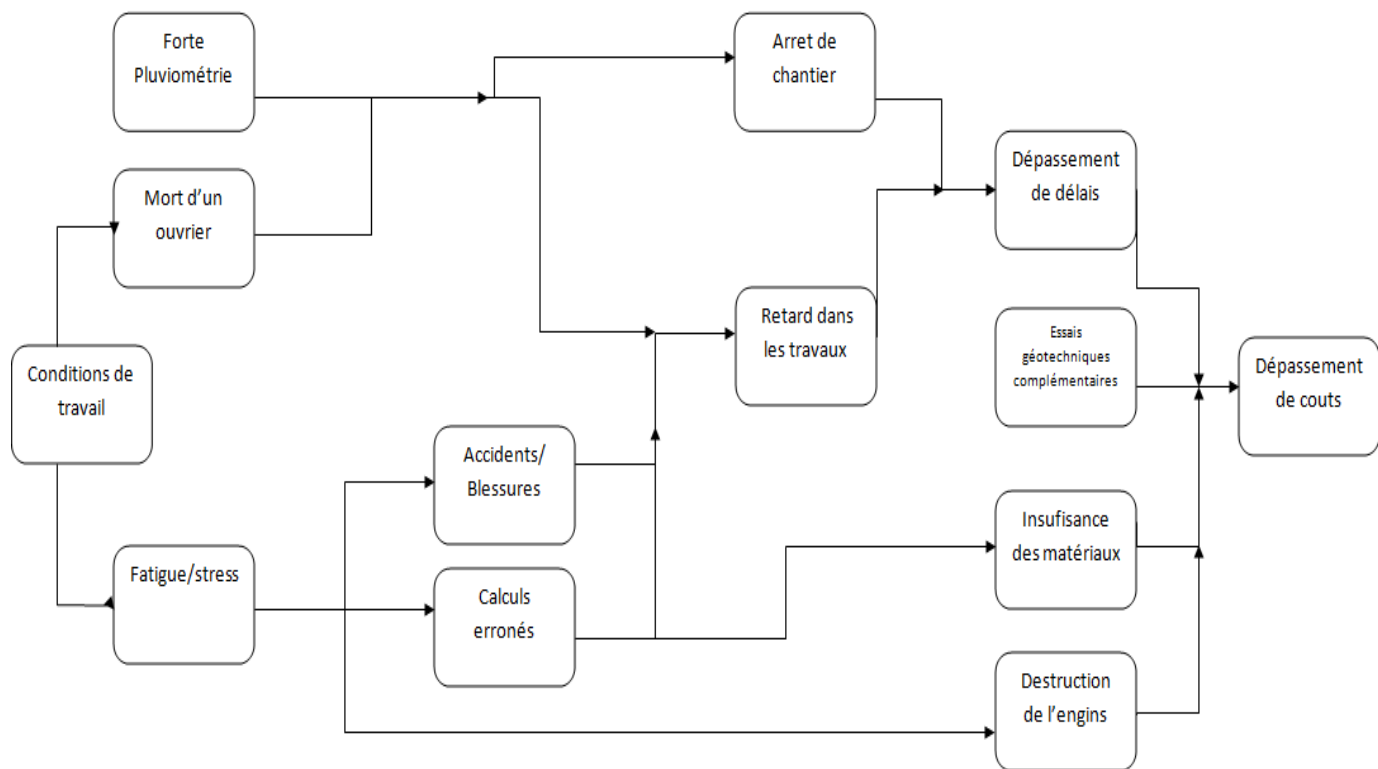


Figure 3-29 Arbre logique dépassent de budget

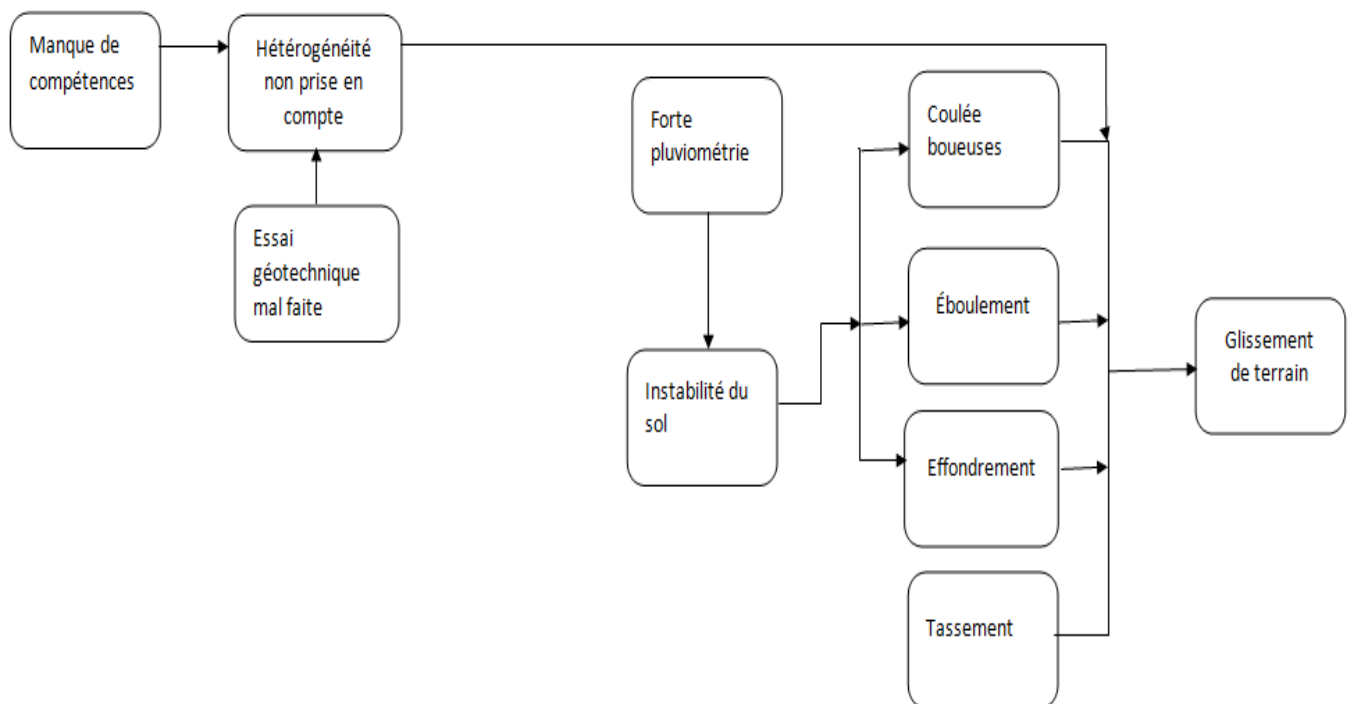


Figure 3-30 Arbre logique Glissement de terrain

3-7 Étape d'évaluation et hiérarchisation des scénarios

Dans cette étape on va voir l'impact des événements sur les cibles à partir d'une grille de criticité (La gravité *La probabilité) (Figure3-31), pour chaque sous-système ; Cette grille permet une évaluation quantitative (Par calcul de probabilité), ou qualitative (à l'aide de jugement des expert ou les bases de données) ce qui est le cas dans notre analyse.) (3-32a à 3-32k)

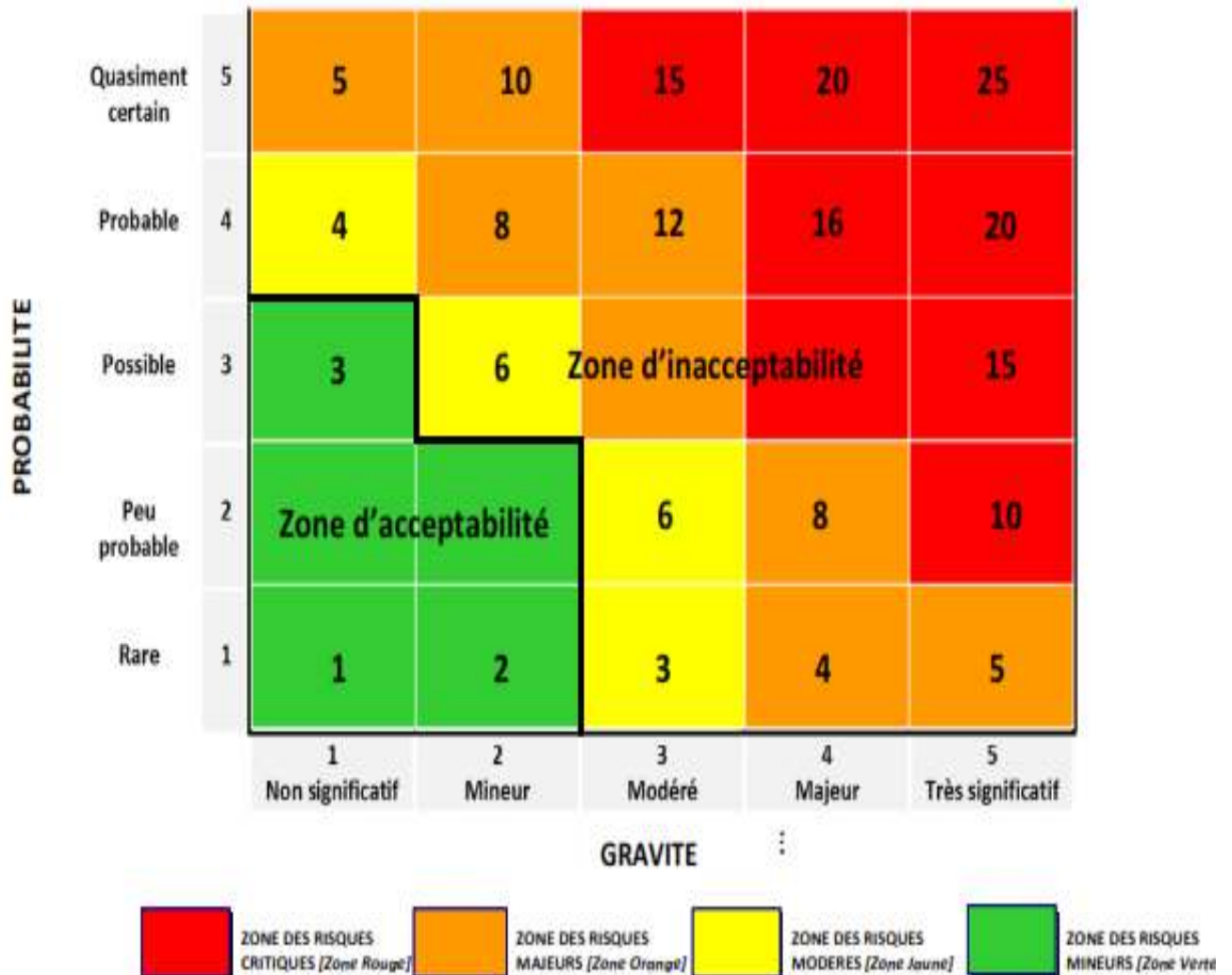


Figure 3-31 Grille de l'échelle Gravité/ Probabilité de l'analyse qualitative (BENACHENHOU, 2019)

PROBABILITE	Quasiment certain	5									
	Probable	4					S1				
	Possible	3					S2				
	Peu probable	2					S3				
	Rare	1									
			1	2	3	4	5				
			Non significatif	Mineur	Modéré	Majeur	Très significatif				
			Gravité								

Figure 3-32a Grilles Gravité x Probabilité pour le SS1 Chaussée

PROBABILITE	Quasiment certain	5						
	Probable	4						
	Possible	3		Zone d'inacceptabilité				
	Peu probable	2	Zone d'acceptabilité		S1 S2			
	Rare	1						
			1	2	3	4	5	
			Non significatif	Mineur	Modéré	Majeur	Très significatif	
			Gravité					

Figure 3-32b Grilles Gravité x Probabilité pour le SS2 engins

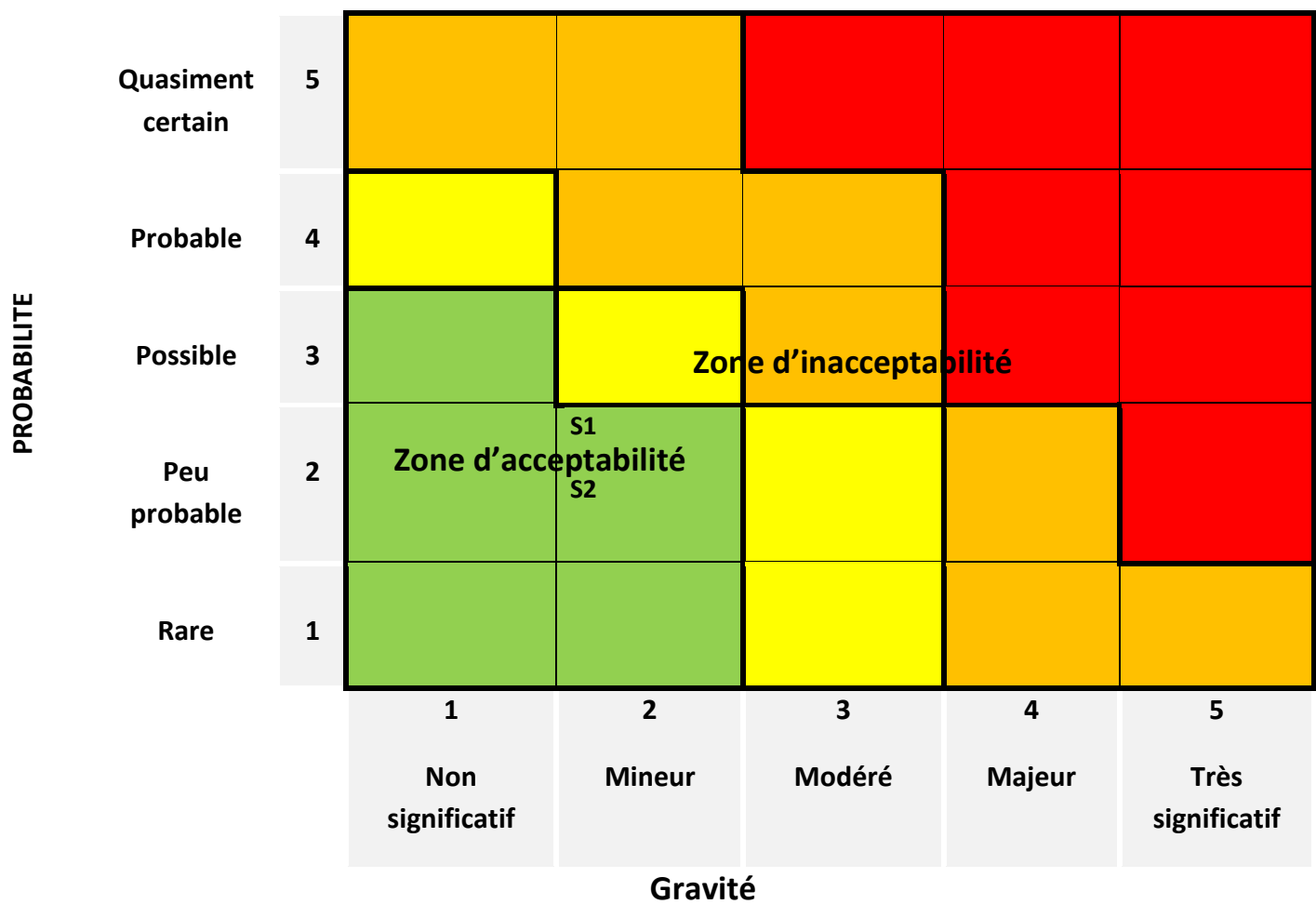


Figure 3-32c Grilles Gravité x Probabilité pour le SS3 équipement de la route

PROBABILITE	Quasiment certain	5					S2	S3	
	Probable	4							
	Possible	3			Zone d'inacceptabilité			S1	
	Peu probable	2	Zone d'acceptabilité						
	Rare	1							
			1	2	3	4	5		
			Non significatif	Mineur	Modéré	Majeur	Très significatif		
			Gravité						

Figure 3-32d Grilles Gravité x Probabilité pour le SS4 Pile

PROBABILITE

<p>Quasiment certain</p> <p>Probable</p> <p>Possible</p> <p>Peu probable</p> <p>Rare</p>	5					S1
	4				S2	
	3			S3		
	2	Zone d'acceptabilité				
	1					
		1	2	3	4	5
		Non significatif	Mineur	Modéré	Majeur	Très significatif
		Gravité				

Figure 3-32e Grilles Gravité x Probabilité pour le SS5 tablier

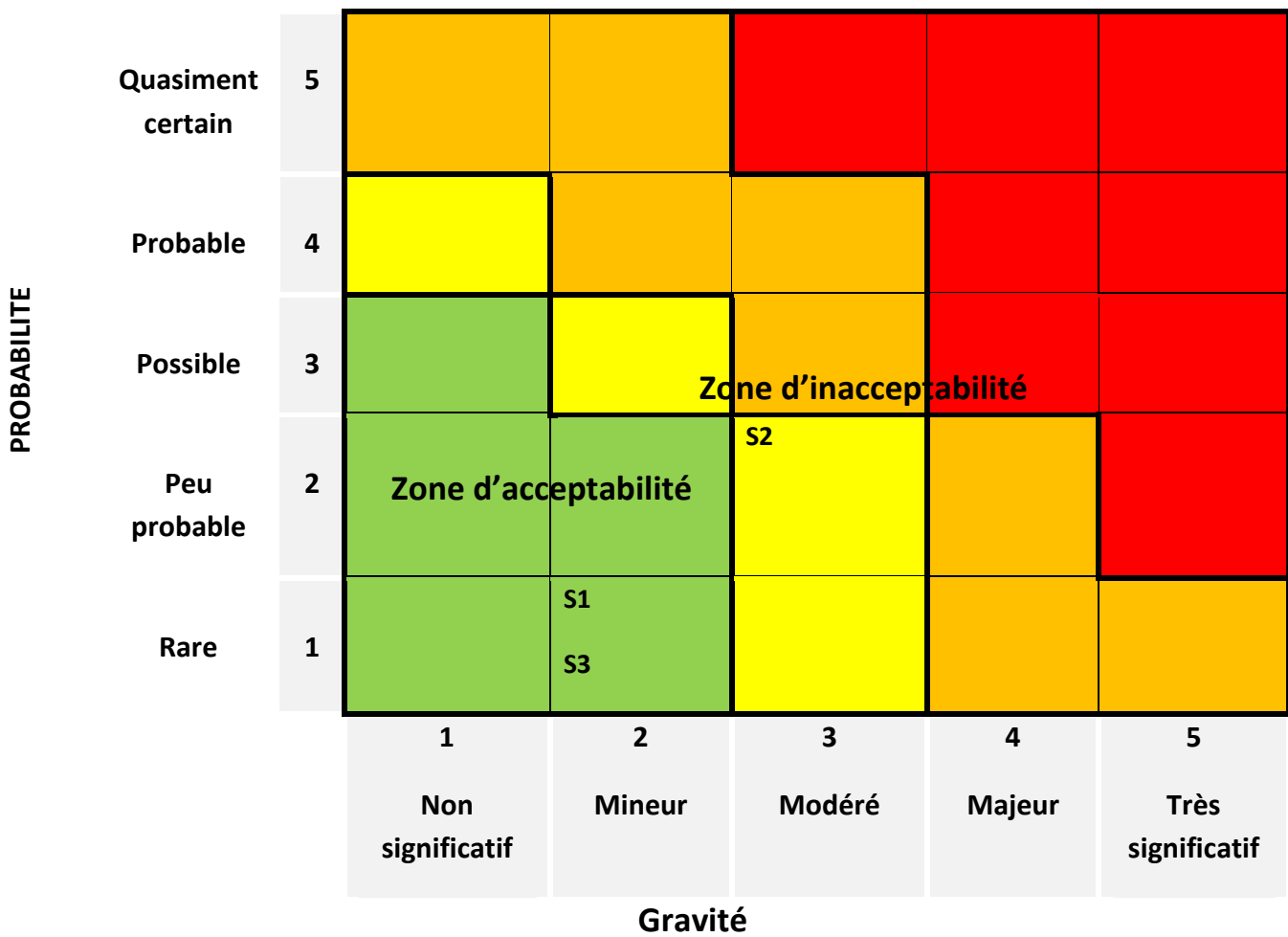


Figure3-32f Grilles Gravité xProbabilité pour le SS6 Engins de viaduc

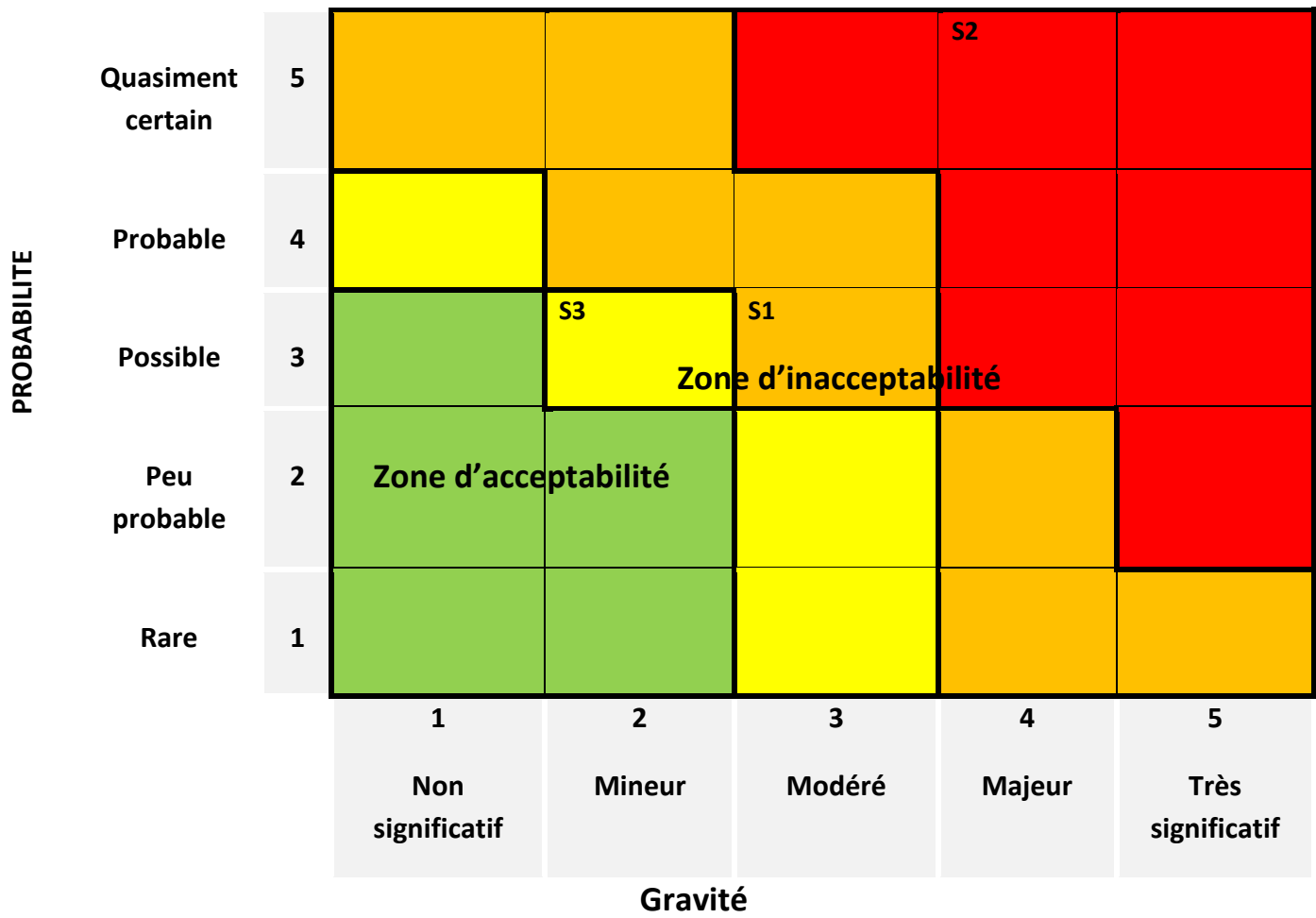


Figure3-32g Grilles Gravité x Probabilité pour le SS7 équipement du viaduc

PROBABILITE	Quasiment certain	5				S2			
	Probable	4				S3			
	Possible	3			S4	S1			
	Peu probable	2	Zone d'acceptabilité						
	Rare	1							
			1	2	3	4	5		
			Non significatif	Mineur	Modéré	Majeur	Très significatif		
			Gravité						

Figure 3-32h Grilles Gravité x Probabilité pour le SS8 acteurs de projet

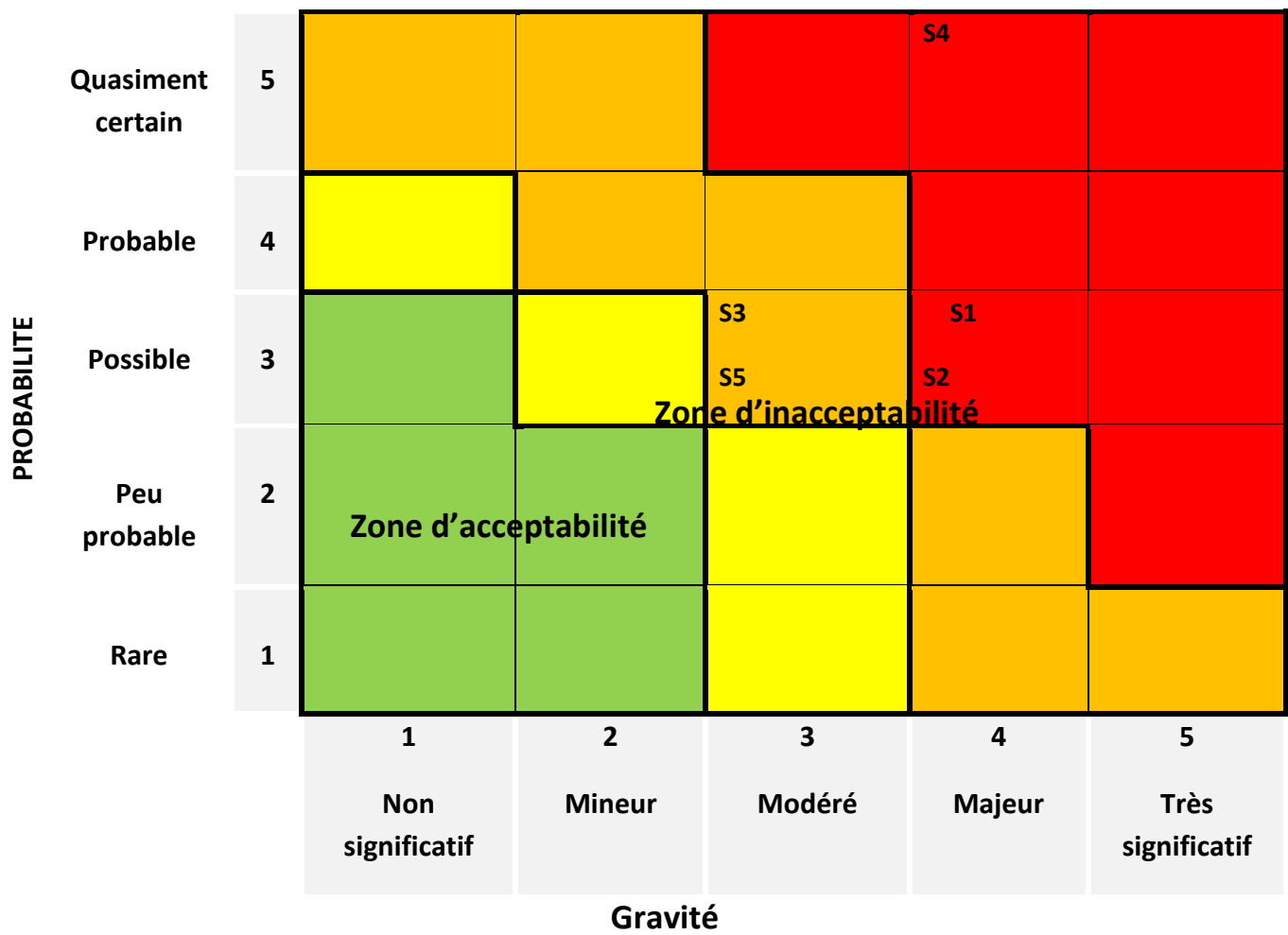


Figure 3-32i Grilles Gravité x Probabilité pour le SS9 environnement spécifique

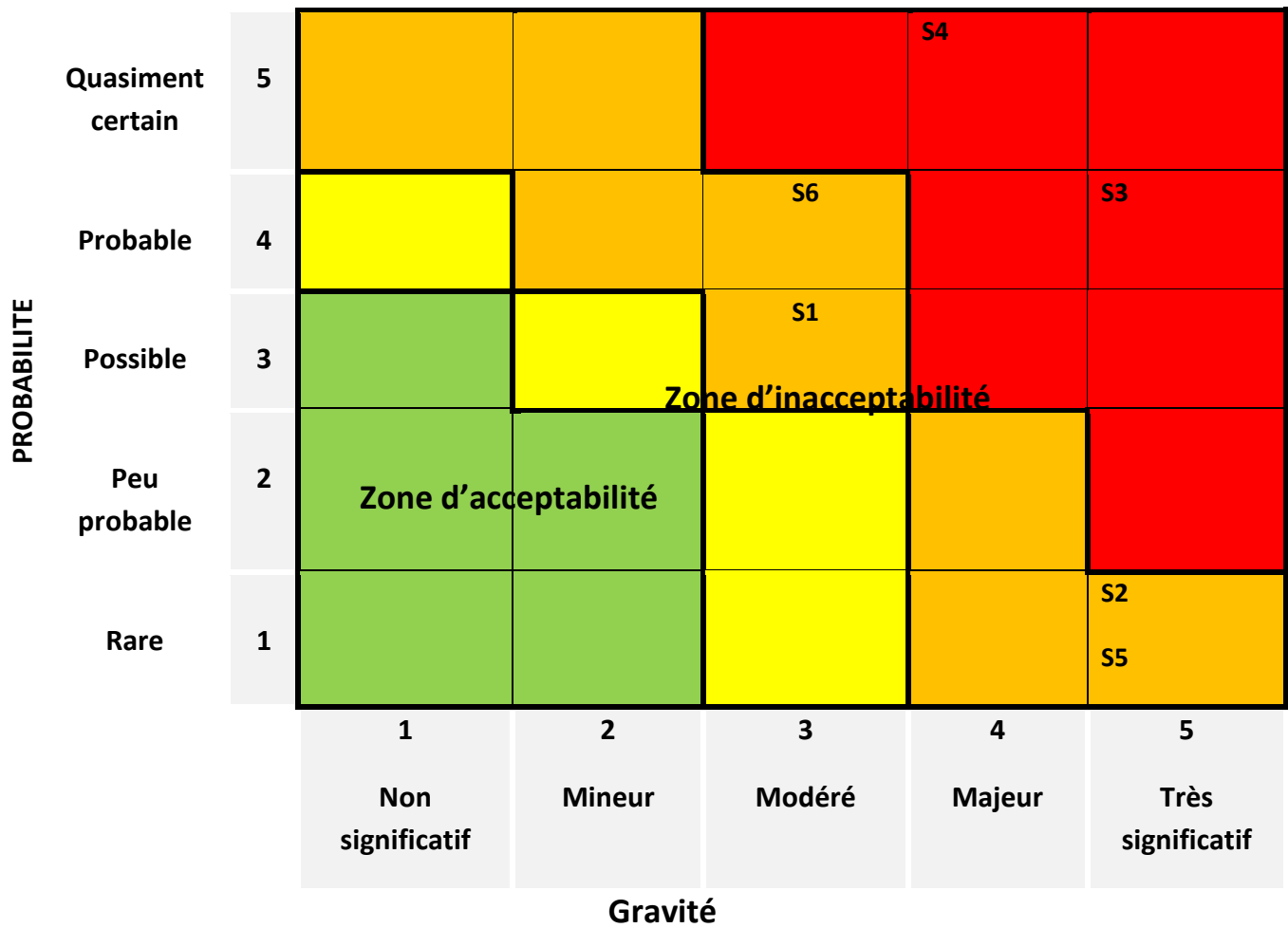


Figure 3-32j Grilles Gravité x Probabilité pour le SS10 environnement globale

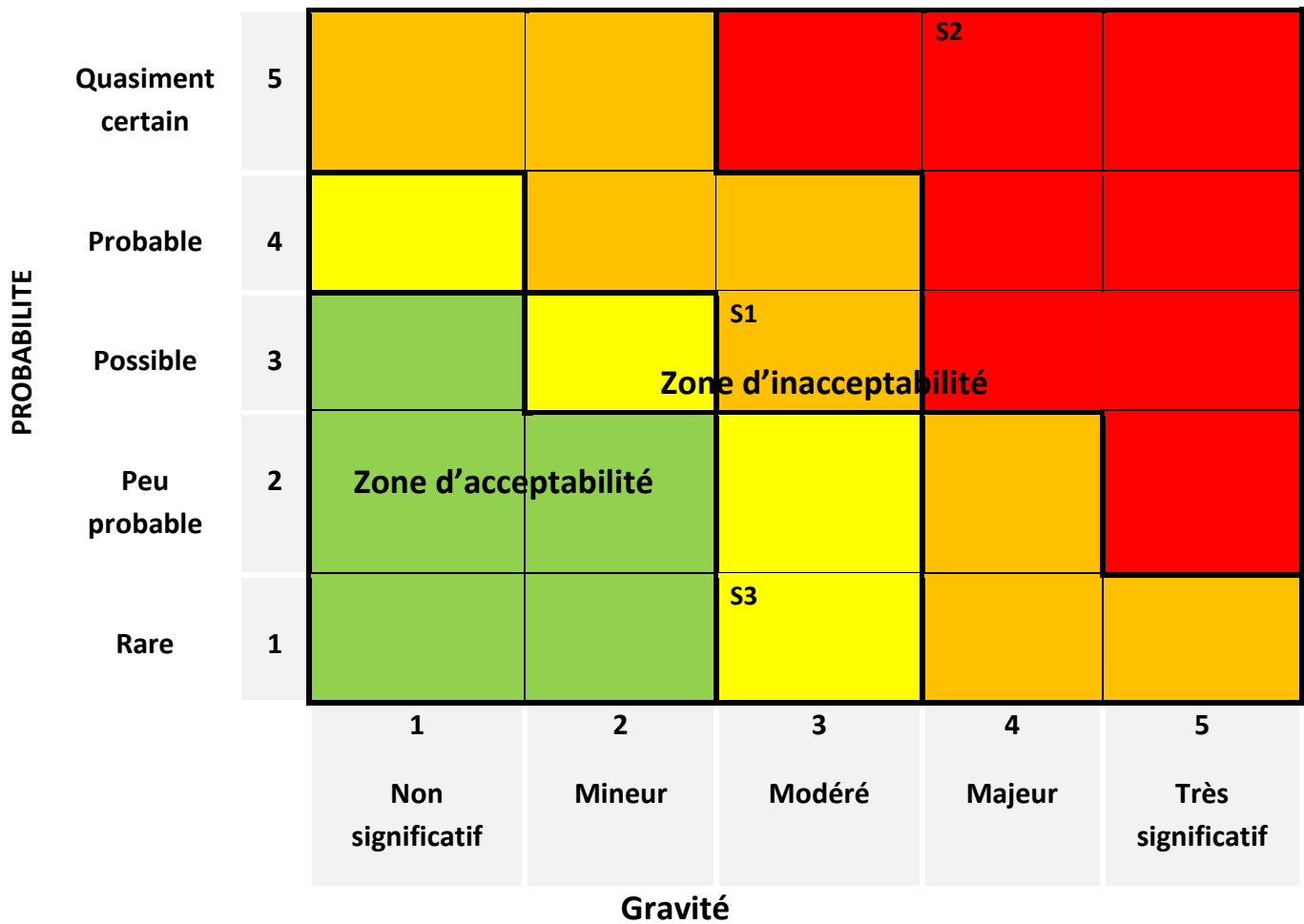


Figure 3-32k Grilles Gravité xProbabilité pour le SS11 ressources humaines

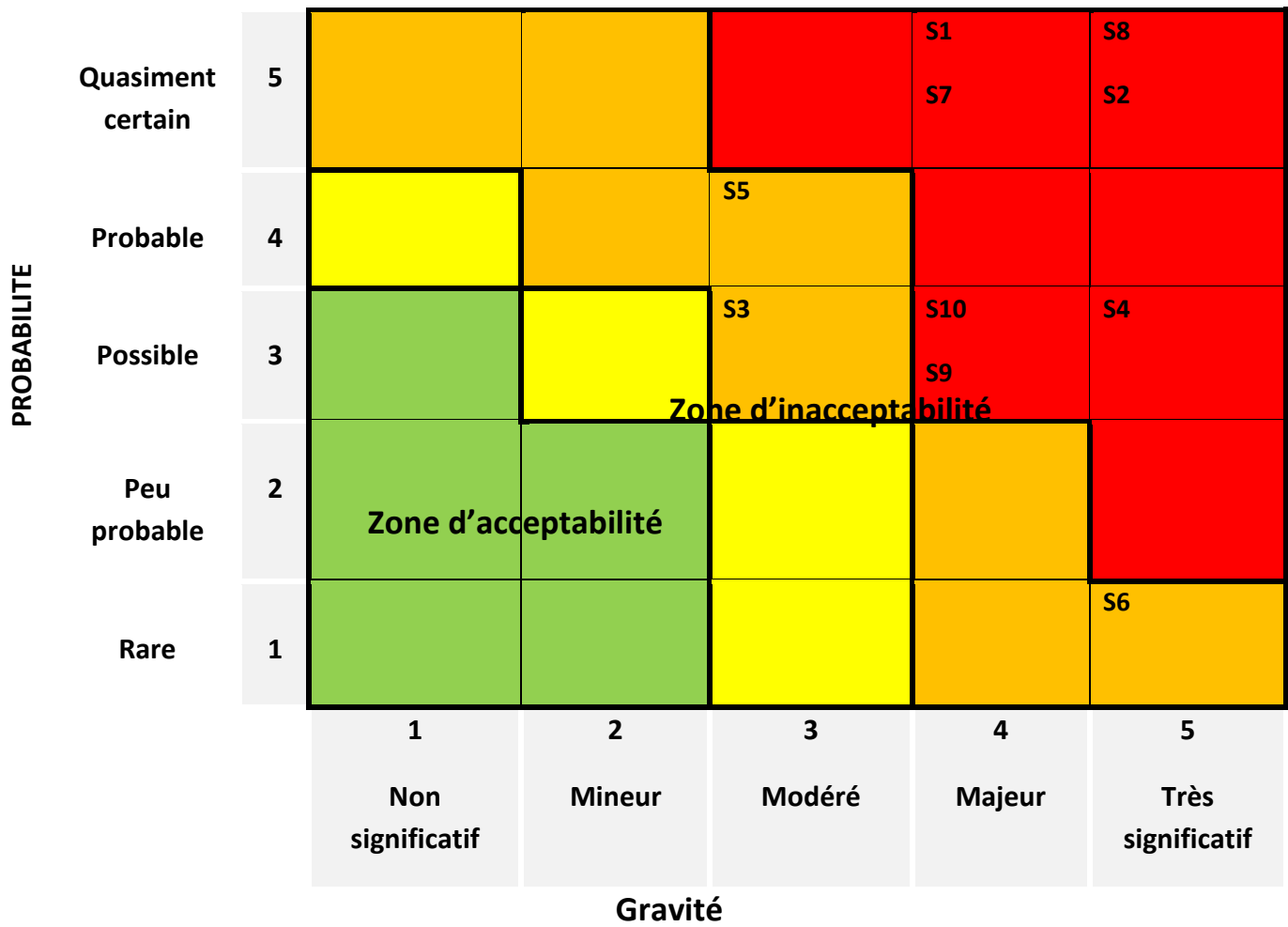


Figure 3-33 Grilles Gravité x Probabilité Globale

3-8 Étape 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. (Tableau3-15)

D'après (PERILHON, 2012), les barrières peuvent être associées :

- à la source de danger elle-même ;
- aux EI ;
- aux EIE ;
- aux EP.

On distinguera deux types de barrières (PERILHON, 2004):

- Barrière technologique : 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 que ne nécessite pas l'intervention humaine.
- Barrière d'utilisation : 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, mode opératoire, application de règles, protections individuelles ...).

Les deux types de barrières proposées par la méthode sont des barrières de prévention et/ou de protection, au travers de matériels (Barrières Technique : BT) ou de procédures (Barrières Utilisateurs : BU). Elles sont destinées à interrompre ou modifier les scénarios d'accident.

Cette proposition n'est pas pertinente dans notre contexte d'étude. En effet dans le domaine de la construction, l'interaction entre l'humain et la technologie est continue, nous avons ainsi jugé utile de ne pas séparer entre les barrières techniques et les barrières d'utilisation (BENACHENHOU, 2019).

Tableau 3-15 Identification des barrières

Type de barrière	scénarios				
	Dépassement de délais	Dépassement de couts	Arrêt de chantier	Dégradation de la chaussée	Glissement De terrain
Formation	-communication -leadership/team building -pacification et ordonnancement -Technique -Management	-communication -leadership/team building	- communication -leadership/team building - Technique - Management - Mangement des coûts	-communication -leadership/team building -Technique -Management	-Technique -Management
Procédures	-plan de communication -un système REX -Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Actions préventives - Actions correctives - de coordination -Enregistrements	-plan de communication -un système REX --Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Achats et gestion des stocks (pièces de rechanges, consommable) - Actions préventives/correctives - Enregistrements	-plan de communication -de coordination -un système REX - Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Enregistrements - Actions préventives - Actions correctives - Système de sécurité	-plan de communication - un système REX -Management des ressources -un système de suivi et de contrôle - Enregistrements - Actions préventives - Actions correctives	- un système REX -un système de suivi et de contrôle - Actions préventives - Actions correctives
Législation, Normes, réglementation	- Certification ISO 9001 : 2015 - Respect des exigences de mise en œuvre. - Définir les caractéristiques des matériaux - Accréditation laboratoire ISO 17025 - Norme NFP-94500 : 2013	- Respect du code des marchés publics - Certification ISO 9001 : 2015	-Respect de la règle d'hygiènes et sécurité	- Respect du code des marchés publics - Certification ISO 9001 : 2015 - Définir les caractéristiques des matériaux - Accréditation ISO 17025 - Norme NFP-94500 : 2013	- Définir les caractéristiques des matériaux - Accréditation ISO 17025
Contrôle et vérification technique	- Contrôle périodique de la conformité et la fiabilité du matériel	- Contrôle périodique de la conformité et la fiabilité du matériel		- Contrôle périodique de la conformité et la fiabilité du matériel	-Suivi et control des travaux exécutés
Contrôle de qualité	- De réception des matériaux - De conformité des travaux - De conformité des essais et de leurs validations	- De réception des matériaux	Péremption des matériaux et matériels de sécurité (Extincteur)	- De conformité des travaux - De conformité des essais et de leurs validations	- De conformité des travaux - De conformité des essais et de leurs validations

3-9 Étape 8 : Identification de mesure de pérennité

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.

L'application de MADS-MOSAR peut s'arrêter à l'étape précédente. et puisqu'il est impossible d'exécuter cette étape dans notre cas, alors notre analyse avec MADS-MOSAR se termine à l'étape d'identification des mesures de maîtrise des risques.

4- CONCLUSION

Dans le développement de ce chapitre on a vu que l'application de la méthode MADS-MOSAR est possible, il suffit juste de bien prendre en compte les sources de danger possible, mais la méthode peut devenir complexe si le système est complexe. La méthode nous a permis de faire ressortir les sources de danger, les interactions entre les scénarios et l'identification des barrières pour neutraliser les scénarios identifiés. L'utilisation de la méthode nous montre que les risques géotechniques sont présents et les plus importants sont les glissements de terrain. On retrouve aussi les phénomènes de dégradation de la chaussée dus principalement à l'erreur humaine. La méthode nous a permis aussi de faire ressortir d'autres risques qui ne sont pas liés à la géotechnique et induisent presque à chaque fois l'arrêt du chantier, le dépassement de délais et le dépassement de budget. En effet ce ci reflète la réalité des projets de construction dans l'environnement Algérien.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le risque dans la construction est présent depuis toujours, l'ignorer revient à se retrouver avec un bilan lourd de dommages, d'accidents voire de catastrophes dans les projets. En Algérie, presque tous les projets de construction sont en souffrance. Les causes sont multiples mais dus principalement à une non mise en œuvre d'un système de gestion des risques.

Afin d'aboutir à un ouvrage routier de qualité et durable, la mise en place des études géotechniques dès le début de la conception est primordial. En effet, la géotechnique est indispensable à l'art de construire et les études géotechniques doivent nécessairement être mises en œuvre suivant la norme NF P94 500 par des géotechniciens et des techniciens qualifiés afin d'identifier les risques et de les maîtriser. Le projet autoroutier est souvent soumis à des risques géotechniques multiples d'origines anthropiques et/ ou naturels. Il est donc indispensable de mettre en place un système de management de risques.

Dans la partie théorique de ce travail ; la présentation des outils et méthodes de gestion des risques, ainsi que la classification des risques géotechniques nous ont permis l'acquisition des connaissances nécessaires pour l'application de la méthode MADS-MOSAR dans notre cas d'étude la pénétrante autoroutière Ghazaouet Tlemcen. MADS-MOSAR est largement utilisée dans le domaine industriel. Elle a été appliquée dans le domaine du génie civil pour un projet routier par BENACHENHOU (2019) ou une grille de système source de danger spécifique aux projets de construction a été établi.

L'utilisation de la méthode MADS-MOSAR nous montre que les risques géotechniques sont présents et les plus importants sont les glissements de terrain. On retrouve aussi les phénomènes de dégradation de la chaussée dus principalement à l'erreur humaine. La méthode nous a permis aussi de faire ressortir d'autres risques qui ne sont pas liés à la géotechnique et induisent presque à chaque fois l'arrêt du chantier, le dépassement de délais et le dépassement de budget et ceci reflète parfaitement la réalité des projets de construction dans l'environnement Algérien et plus encore notre cas d'étude puisque les délais sont dépassés (date d'achèvement prévu 09/06/2019). Le recensement final des barrières donne une liste assez exhaustive de solutions à mettre en place pour prévenir les risques identifiés dans la méthode. Il est à noter que l'utilisation de cette méthode requière l'implication d'un groupe d'experts pluridisciplinaire pour essayer d'atteindre l'exhaustivité dans l'identification des risques.

Et à la fin de ce travail, nous rejoignons ce dicton, 'Il n'ya pas de bon sol ou de mauvais sol ; Il ya des bons ingénieurs ou de mauvais ingénieurs''. C'est à nous de mettre et d'utiliser les moyens nécessaires pour assurer la durabilité des ouvrages.

BIBLIOGRAPHIE

- AMAROUCHE T., BADOUD A., (2015), « Étude géotechnique de la stabilité des talus cas de la carrière de Meftah .w .Blida », Faculté de technologie-Bejaia, Master en mines et géologie.
- BEKKOUCHE A., (2016), « mécanique des sols et ingénierie géotechnique MDS1 », université de Tlemcen.
- BEKKOUCHE A., (2017), « Aléas et risques géotechnique, Master1 géotechnique », université de Tlemcen.
- BENACHENHOU K., (2019), « Approche systémique du management des risques dans l'ingénierie géotechnique : pour une interprobabilité des acteurs dans l'environnement algérien », Faculté de technologie-Tlemcen, thèse de doctorat.
- BERNOULLI D., (1738), « Esquisse d'une théorie nouvelle de mesure du sort, Spécimen theoriæ novæ de mensura sortis »
- BREYSSE D., (2009) « Maitrise des risques en génie civil 1 multiples dimensions des risques en génie civil », Hermès science publications, France, ISBN 9782746224414.
- CEI 61882 (2001), « Études de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) – Guide d'application », 1ère édition.
- CEI-300-3-9 (1995), « Gestion de la sûreté de fonctionnement —Partie 3:Guide d'application Section 9: Analyse du risque des systèmes technologiques »
- CHERKI S., HEMAHI M., (2014), « Management des risques géotechniques par la méthode « amdec » dans l'aménagement urbain et la construction: du PDAU au projet de bâtiment », Faculté de technologie –Tlemcen, Master en Génie Civil.
- DIONNE G., (2013) « Gestion des risques Histoire, définition et critique », HEC Montréal - Département of Finance.
- FELLAHI W., (2012), « Caractérisation et résilience des risques géotechnique dans un projet routier », Faculté de technologie-Tlemcen, Master en Génie civil.
- FLANAGAN R., NORMAN G., CHAPMAN R., (2006), «Risk management and construction», 2ème edition, Oxford: Blackwell Pub.
- FRAISSE M., HAUDIN D., KIPP J., CHANTELAVE G., (2002), « METHODE MOSAR APPLIQUEE AU DOMAINE MARITIME », école nationale supérieure des mines Saint-Etienne en Rhône-Alpes.
- GRANDAMAS O., (2010), « Méthode MADS-MOSAR - Pour en favoriser la mise en œuvre, Technique de l'ingénieur », [se4062], France.
- HAMZAOUI F., TAILLANDIER F., MEHDIZADEH R., BREYSSE D, ALLAL A., (2012) « Gestion des projets de construction par des RBS évolutives, Application à un réseau de voie ferrée en Algérie », 7^{èmes} Journées nationales de Fiabilité, Fiabilité des Matériaux et des Structures, Chambéry 4-6 juin, 2012.

- HILLSON D.,(2002), «Use a Risk Breakdown Structure (RBS) to Understand Your Risks» , Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium October 3–10, 2002, San Antonio, Texas, USA.
- INERIS-DRA., (2006), « Méthodes d’analyse des risque générés par une installation industrielle », Rapport d’étude N°INERIS-DRA-2006-P46055-CL47569.
- ISO 17025 (2005), « Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d’étalonnage et d’essais », Suisse
- ISO 31000 (2009), « Management des risques, Principes et Lignes Directrices », Suisse.
- ISO Guide 73 (2009), « Management du risque-vocabulaire », 1ère édition.
- LE PETIT ROBERT (1996), Nom de publication: Le Petit Robert, Langue: Français ; ISBN 2-85036-506-8, Année d’édition: 1996.
- LOUNIS Z., BENOMAR F., BEROUANE M., (2016), « Étude de danger des réservoirs de stockage souterrains de gaz en utilisant la méthode MADS-MOSAR », Colloque National Maintenance - Qualité CNMQ-16, IMSI: 16-17 mars 2016.
- MAZOUNI M., (2009), « Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d’aide à la décision », Institut National Polytechnique de Lorraine, thèse de doctorat.
- MEHDIZADEH R., TAILLANDIER F., BREYSSE D., NIANDOU H.,(2012), « Methodology and tools for risk evaluation in construction projects using Risk Breakdown Structure», European Journal of Environmental and Civil Engineering.
- MORTUREUX Y., (2005), « AMDE(C), technique de l’ingénieur », se4040, France.
- MORTUREUX Y., (2017), « Arbres de défaillance, des causes et d’événement, Techniques de l’Ingénieur », se4050, France.
- MUNOZ G., (2007), « Utilisation de l’ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l’évaluation des systèmes de barrières de sécurité application au secteur minier colombien », Thèse de Doctorat en Génie des Procédés et des Produits, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.
- NF-P94 500, (2013), « Missions d’ingénierie géotechnique classification et spécifications », France.
- PÉRILHON P., (1998), « Du Risque à l’Analyse de Risques, Développement d’une méthode, Mosar, Méthode Organisée et Systémique d’Analyse de Risques ».
- PÉRILHON P., (2004), « MOSAR - Cas industriel, Technique de l’ingénieur », se4061, France.
- PÉRILHON P., (2012), « MOSAR-Présentation de la méthode, Techniques de l’ingénieur », se4060, France.
- BRAJA.,(2006), «Principals of geotechnical engineering»; 5th edition.
- VERDEL T., (2000), « Méthodologies d’évaluation globale des risques-Applications potentielles au génie civil », Colloque International Risques et Génie Civil, 8–9

Novembre 2000, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, pp 23-38, France.

- ZACHARIAS et al, (2008), cité par TAILLANDIER F., MEHDIZADEH R., BREYSSE D., (2012), « Évaluation et agrégation des risques pour les projets de construction par le recours aux Risk Breakdown Structures », page 03.