

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM

FACULTE DE TECHNOLOGIE



Département de Génie Civil

Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil
Option Infrastructure de Base et Géotechnique

Thème

CARACTERISATION ET RESILIENCE DES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS UN PROJET ROUTIER

Présenté par:

FELLAHI WASSIM

Soutenu en Septembre 2012 devant le jury composé de :

M. BENYELLES Z	Maître-Assistant A	Président
M. ALLAL M. A	Professeur	Encadreur
Mme. BENACHENHOU K. A. ép. HAKIKI	Maître-Assistante B	Encadreur
M. HAMZAOUI F	Maître-Assistant A	Examineur
M. BENAMAR A	Maître-Assistant B	Examineur

REMERCIEMENTS

A travers ces quelques lignes, je tiens à exprimer mes remerciements et l'expression de mon profond respect et gratitude pour tous ceux et celles qui m'ont aidé à la concrétisation de ce mémoire de projet de fin d'études.

Je tiens tout d'abord à exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur ALLAL M. A, Professeur à l'université de Tlemcen, pour sa confiance, sa disponibilité et le grand intérêt qu'il ma toujours manifesté, durant ma formation et la préparation de ce mémoire. Son enthousiasme et optimisme communicatif m'ont été fort précieux. J'adresse mes remerciements à Madame BENACHENHOU K. A. ép. HAKIKI, Maître-Assistante B à l'Université de Tlemcen, pour son encadrement, son soutien et son aide qui m'a était forte précieuse.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur BENYELLES Z, Maître-Assistant A à l'Université de Tlemcen, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury. Que Monsieur HAMZAOUI F, Maître-Assistant A et Monsieur BENAMAR A, Maître-Assistant B à l'Université de Tlemcen, reçoivent l'expression de ma profonde reconnaissance d'avoir accepté d'être examinateurs de ce travail.

Mes remerciements s'attarderont aussi à mes amis de plus longue date. Les nommer serait inutile, ils se reconnaîtront. Qu'ils sachent que leur amitié m'est précieuse.

Je remercie du fond du cœur mes parents, mon frère et mes sœurs, de m'avoir encouragé, soutenu, cru en mes capacités et d'être de tout temps à mes cotés le long de ces années d'études. Un grand merci aussi toute ma grande famille, que chacun trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

RESUME

Ce travail fait partie d'une série de recherches consacrées à la caractérisation et la résilience des risques géotechniques dans un projet routier, qui se fait avec une approche du management des risques.

Tous d'abord, nous avons commencé par définir les étapes de projet routier et l'importance de la géotechnique dans les projets routiers.

Ensuite, nous avons essayé de mieux caractériser les risques géotechniques et de mieux comprendre les causes qui font déclencher ces événements.

Après avoir cadré les risques géotechniques, nous avons abordé l'essentiel des activités relatives du management des risques et son processus général : l'identification, l'évaluation, et les stratégies de réponse pour les risques dans les projets routiers.

Aussi, pour manager les risques géotechniques avec plus d'efficacité, nous avons proposé une nouvelle forme de la gestion des risques dans les projets routiers basée sur la stratégie de la résilience. Les risques vont être réduits et mitigés par l'approche de résilience, qui consiste à résister et à s'adapter à un risque, ainsi à en gérer ou éviter les conséquences négatives.

Mots clés : *Projet routier, Géotechnique, Management, Risque, Résilience.*

ABSTRACT

This work is part of a series of research devoted to the characterization and the resilience of geotechnical risks in a road project, which is done with an approach to risk management.

First of all, we started by definition the steps of road project and the importance of the geotechnical in road projects.

Then, we have tried to characterize the geotechnical risks and to understanding the causes that are trigger these events with better way.

After corresponding geotechnical risks, we have addressed the essential related activities of risk management and general process: identification, assessment, and strategies in response to the risks in the road projects.

Also, to manage the geotechnical risks with more efficiency, we have proposed a new form of risk management in the road projects based on the strategy of resilience. The risks will be reduced and mitigated by the approach of resilience, which is to resist and to adapt to a risk and to manage or avoid negative consequences.

Keywords: *Road Project, Geotechnical, Management, Risk, Resilience.*

يندرج هذا العمل ضمن سلسلة من البحوث المختصة بتوصيف و مرونة المخاطر الجيوتقنية أو القدرة على مواجهتها في مشروع مختص بالطرق مع استعمال منهج تسيير أو إدارة المخاطر. أولاً بدأنا بتعريف مراحل مشروع الطريق و أهمية الجيوتقنية في المشاريع المختصة بالطرق. ثم حاولنا وصف المخاطر الجيوتقنية على أحسن وجه والفهم بطريقة أفضل الأسباب التي تنطلق منها الأحداث .

بعد تأطير المخاطر الجيوتقنية تحدثنا عن أهمية النشاطات و السيوروة العامة المرتبطة بتسيير المخاطر: التحديد, التقييم و إستراتيجية رد الفعل للمخاطر في المشاريع المتعلقة بالطرق.

كذلك لتسيير المخاطر الجيوتقنية بفعالية أكثر, اقترحنا شكلا جديدا للتحكم فيها, لنقص من حدة خطرها و تسيير أو تفادي النتائج السلبية بناء على إستراتيجية مرونة المخاطر.

الكلمات الرئيسية : مشروع طريق, الجيوتقنية, تسيير المخاطر, مخاطر, مرونة المخاطر

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	II
RESUME.....	III
ABSTRACT	IV
ملخص	V
TABLE DES MATIERES.....	VI
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX.....	X
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	XII
INTRODUCTION GENERALE.....	2
CHAPITRE 1 : LE PROJET ROUTIER	5
1. INTRODUCTION	6
2. LE RESEAU ROUTIER EN ALGERIE.....	6
3. CYCLE DE VIE D'UN PROJET ROUTIER	7
3.1 Phase 1 : « Études préalables ».....	8
3.1.1 Étape 1 : Études d'opportunité.....	8
3.1.2 Étape 2 : Études de faisabilité	8
3.1.3 Étape 3 : Cadrage du projet.....	8
3.2 Phase 2 : « Conception ».....	9
3.2.1 Étape 1 : Avant-projet sommaire (APS)	10
3.2.2 Étape 2 : Avant-projet définitif (APD).....	10
3.2.3 Étape 3 : Procédure contractuelle.....	11
3.3 Phase 3 : « Construction »	11
3.3.1 Étape 1 : Exécution des travaux.....	11
3.3.2 Étape 2 : Suivi des travaux.....	12
3.4 Phase 4 : « Clôture ».....	12
3.4.1 Étape 1 : Procédure de clôture	12
3.4.2 Étape 2 : Transfert à l'exploitant	13
3.4.3 Étape 3 : Evaluation	13
4. LES ACTEURS DU PROJET ROUTIER.....	13
5. L'IMPORTANCE DE LA GEOTECHNIQUE DANS LES PROJETS ROUTIERS.....	15
5.1 Les différentes missions d'ingénierie géotechniques suivant la norme NF P 94-500	16
5.2 Cycle de vie de projet routier et les missions géotechniques	17
6. CONCLUSION	20

CHAPITRE 2 : LES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS LE PROJET ROUTIER	21
1. INTRODUCTION	22
2. LE RISQUE.....	22
2.1 Définition du risque	22
2.2 Classification des risques	26
3. RISQUES GEOTECHNIQUES.....	24
3.1 Les paramètres incertains en géotechnique	24
3.1.1 Origines et caractéristiques de la variabilité des sols	24
3.1.2 Erreurs et incertitudes sur les sols.....	26
3.1.2.1 Les erreurs d'observation.....	26
3.1.2.2 Les erreurs d'enquête.....	26
3.1.2.3 L'erreur humaine	27
3.1.3 Face à cette complexité du contexte géotechnique, que faire pour les ouvrages géotechniques ?.....	27
3.2 Risques naturels	28
3.2.1 Glissements de terrain.....	28
3.2.1.1 Les causes probables des glissements de terrain	29
3.2.1.2 Les différentes manifestations	29
3.2.1.3 Propositions des solutions	30
3.2.2 Éboulements.....	31
3.2.2.1 Les causes probables des éboulements	32
3.2.2.2 Les différentes manifestations	32
3.2.2.3 Propositions des solutions	32
3.2.3 Coulées boueuses	33
3.2.3.1 Les causes probables des coulées boueuses.....	33
3.2.3.2 Les différentes manifestations	34
3.2.3.3 Propositions des solutions	34
3.2.4 Affaissements/Effondrements.....	34
3.2.4.1 Les causes probables des affaissements/ effondrements.....	35
3.2.4.2 Les différentes manifestations	35
3.2.4.3. Propositions des solutions	35
3.2.5 Le phénomène de retrait-gonflement.....	36
3.2.5.1 Les causes probables de retrait-gonflement	36
3.2.5.2 Les différentes manifestations	37
3.2.5.3 Propositions des solutions	37
3.3 Risques anthropiques	37
3.3.1 Terrassements	38
3.3.1.1 Déblais.....	38
3.3.1.2 Remblais.....	39
3.3.1.3 La stabilité des talus de terrassements	39
3.3.1.4 Techniques pour la stabilité des talus	40
3.3.2 Tassements	40

3.4 Les chaussées	41
3.4.1 Les phénomènes de dégradation des chaussées.....	42
3.4.2 Classements des dégradations.....	42
3.4.3 Les principales causes de dégradations des chaussées souples.....	43
3.4.4 Les causes probables de chaque type de dégradation	43
4. Conclusion.....	45
CHAPITRE 3 : MANAGEMENT DES RISQUES DANS LE PROJET ROUTIER	46
1. INTRODUCTION.....	47
2. QU'EST-CE QUE LA GESTION DES RISQUES ?.....	47
3. APPROCHES METHODOLOGIQUES D'ETUDE DES RISQUES	48
4. ACTION ET PHASES DE GESTION DES RISQUES	50
5. GESTION DES RISQUES DANS LES PROJETS ROUTIERS	51
5.1 Etape 1 : L'identification des risques.....	52
5.2 Etape 2 : Évaluation des risques	53
5.2.1 Outils d'évaluation des risques.....	54
5.2.1.1 Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets (AMDE)/ et de leur Criticité (AMDEC).....	54
5.2.1.2 Nœud papillon ou la méthode du diagramme causes conséquences	55
5.2.1.3 La méthode de simulation de Monte Carlo	56
5.2.1.4 La méthode matricielle ou criticité	57
5.3 Etape 3 : le développement des stratégies de réponse	60
5.3.1 Stratégie de réponse aux risques	60
5.3.2 Le plan de substitution.....	61
5.4 Etape 4 : Le contrôle des stratégies de réponse aux risques	64
6. Retour d'Expérience (REX)	67
7. CONCLUSION.....	68
CHAPITRE 4 : RESILIENCE DES RISQUES GEOTECHNIQUE DANS LE PROJET ROUTIER	69
1. INTRODUCTION	70
2. LE CONCEPT DE RESILIENCE.....	70
3. LA RESILIENCE COMME OUTIL DE GESTION DES RISQUES.....	71
4. PROPOSITION D'UNE METHODE DE GESTION GLOBALE DES RISQUES.....	72
5. RESILIENCE DES RISQUES DANS LES PROJETS ROUTIERS	75
5.1 Résilience des risques naturels	77
5.1.1 Prévenir la survenue d'un événement à risque	78
5.1.1.1 La cartographie.....	78
5.1.1.2 La surveillance	80

5.1.2 Minimiser les conséquences négatives d'un événement à risques	80
5.1.2.1 Investigations géologiques et géotechniques	80
5.1.2.2 Protections et mitigations	82
5.1.3 Surmonter la survenue d'un événement à risques	83
5.1.3.1 Réparations et renforcements	83
5.1.4 Retour d'expérience	83
5.2 Résilience des risques liés aux mesures et incertitudes	84
5.2.1 Préventions	84
5.2.1.1 Maîtrise des missions géotechniques conformément à la norme NF P 94 500	85
5.2.1.2 Accréditation selon la norme ISO 17025	86
5.2.2 Protections et mitigations	87
5.2.2.1 Maîtrise des moyens de surveillance	87
5.2.2.2 Accréditation selon la norme ISO 17025	87
5.3 Résilience des risques anthropiques	92
5.3.1 Préventions	92
5.3.1.1 Investigations géologiques et géotechniques	93
5.3.1.2 Surveillance et alerte	93
5.3.1.3 Techniques de traitement	94
5.3.1.4 Compétence et expertise	96
5.3.2 Protections et mitigations	96
5.3.2.1 Réparations et renforcements	96
5.3.2.2 Organisation des secours	97
5.4 Résilience des risques affectant les chaussées	97
5.4.1 Préventions	98
5.4.1.1 Dimensionnement des structures de chaussées	98
5.4.1.2 Compactage	99
5.4.2 Protections des chaussées	99
5.4.2.1 Protection contre l'effet du trafic	99
5.4.2.2 Drainages	100
5.4.2.3 Protection contre l'effet de bord	101
5.4.3 Réparations et renforcements	101
5.4.3.1 Traitement des dégradations	101
5.4.3.2 Réhabilitation	102
6. CONCLUSION	102
CONCLUSION GENERALE	104
BIBLIOGRAPHIE	107
WEBOGRAPHIE	112

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

1. LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Cycle de vie d'un projet routier	8
Figure 1.2 Démarche d'élaboration de la solution dans d'un projet routier	11
Figure 1.3 Les acteurs du projet routier	14
Figure 1.4 Schéma d'enchaînement des missions géotechniques (Hakiki K. A., 2010) ..	18
Figure 1.5 Cycle de vie de projet routier et missions géotechniques	20
Figure 2.1 Types des incertitudes des propriétés du sol (Baziz M. K., 2011)	26
Figure 2.2 Glissement de terrain du chemin communal de Mostaganem (LTPO, 2012) ..	30
Figure 2.3 système de parades (Bedr S., 2008)	32
Figure 2.4 Systèmes de parades par approche douce (Bedr S., 2008)	32
Figure 2.5 Systèmes de parades par approche dure (Bedr S., 2008)	33
Figure 2.6 L'éboulement de la falaise de Belle Fontaine en 1991(Ladghem C. F., 2009)	33
Figure 2.7 Techniques de stabilisation (Hemri K et al, 2010)	35
Figure 2.8 Coulée de boue à Noduvez, dans l'Est du Brabant wallon en 2011	35
Figure 2.9 Affaissement routier à Béjaïa en 2012	37
Figure 2.10 Effondrement d'une route (Dodelin R., 2001)	37
Figure 2.11 Fissuration due au retrait-gonflement (Ferber V., 2005)	39
Figure 2.12 Exemple d'angle de stabilité (SETRA, 2008)	43
Figure 2.13 Les risques géotechniques dans un projet routier	49
Figure 3.1 Processus de gestion des risques simples (AIPCR, 2010)	52
Figure 3.2 Les principaux éléments pour développer la compréhension de risque (Bouhlali M., 2006)	53
Figure 3.3 Démarche ISO pour l'étude du risque (INERIS., 2003)	54
Figure 3.4 Les éléments principaux de management des risques pour différents types (Bouhlali M., (2006)	55
Figure 3.5 Processus de gestion des risques	56
Figure 3.6 Exemple d'analyse par nœud papillon	61
Figure 3.7 Exemple de processus de contrôle de changement (Allal M. A., 2008)	72
Figure 4.1 Processus de danger du modèle MADS (Perilhon, 1999)	73
Figure 4.2 Structure simplifiée de MOSAR module 'A' (Mazouni M. H., 2008)	74
Figure 4.3 Structure simplifiée de MOSAR module 'B' (Mazouni M. H., 2008)	75
Figure 4.4 Résilience des risques géotechniques dans les projets routiers	77
Figure 4.5 Résilience des risques naturels	78
Figure 4.6 Résilience des risques liés aux mesures et incertitudes	84
Figure 4.7 Résilience des risques anthropiques	92
Figure 4.8 Résilience des risques affectant les chaussées	98

2. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 L'état du réseau routier national (2011)	6
Tableau 2.1 Liste non exhaustive de risques (naturels et anthropiques)	25
Tableau 2.2 Liste non exhaustive des causes probables de dégradations.....	47
Tableau 3.1 Exemple d'identifications des risques géotechniques dans un projet routier	57
Tableau 3.2 Exemple de tableau AMDEC (Kara-Terki D., 2011)	60
Tableau 3.3 Exemple de matrice de la gravité des risques	64
Tableau 3.4 Exemple de classes de probabilité	65
Tableau 3.5 Exemple de classes d'impact.....	65
Tableau 3.6 Exemple de matrice d'analyse des risques	68
Tableau 4.1 Exigences générales pour l'accréditation des laboratoires selon la norme ISO 17025.....	88

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

AFNOR	Association Française de Normalisation (France)
AIPCR	Association mondiale de la route
CNERIB	Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (Algérie)
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CFGI	Comité Français de Géologie de l'Ingénieur (France)
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (France)
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
LTPO	Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (Algérie)
LTPP	Laboratoire des Travaux Publics de Polynésie (France)
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France)
SETRA	Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (France)
USG	Union Syndicale Géotechnique (France)
UNISDR	Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes des Nations Unies (Suisse)
ACT	Assistance aux Contrats de Travaux
APS	Avant Projet Sommaire
APD	Avant Projet Détaillé
STD	Spécifications Techniques Détaillées
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
CGT	Contrôle Général des Travaux
RDT	Réception Des Travaux
AMDE	Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets et de leur Criticité
MADS	Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes
MOSAR	Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risques
WBS	Work Breakdown Structure (Structure de découpage du projet)
PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

POS	Plan d'Occupation des Sols
PPR	Plan de Prévention des Risques
REX	Retour d'Expérience
RBS	Risk Breakdown Structure

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En général, les risques existent dans n'importe quel projet, on ne peut guère réaliser un projet sans prendre des risques. Les projets routiers sont des projets assez complexes dans leur conception, construction et exploitation, et sont souvent soumis à des risques géotechniques multiples pouvant influencer à leur fiabilité, et peuvent avoir un impact négatif sur leur environnement (perte humaine, matérielles, pollution, etc.). Pour cela, intégrer le processus du management des risques dans les projets routiers s'avère nécessaire.

Le projet routier est élaboré en assurant le respect des objectifs à atteindre, tout en tenant compte de multiples contraintes liées à l'environnement humain et naturel, à la technique, à l'économie ou aux aspects sociaux. Cependant, beaucoup des risques peuvent intervenir pendant la construction du projet, et dont les contenus qui ne sont pas les moindres. Ils peuvent avoir un impact très fort sur les coûts, les délais de réalisation du projet et la qualité des ouvrages. Parmi tous les risques pouvant impacter un projet routier, nous avons les risques géotechniques. Ces derniers sont de natures très différentes, leur prise en considération est nécessaire dès la phase de faisabilité afin d'assurer une gestion optimale du projet.

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

- Les terrains disponibles à la construction des ouvrages sont de plus en plus rares, et de taille plus réduite, sur des sols de plus en plus médiocres ;

- Les ouvrages sont plus lourds, et les interactions sont plus fortes avec l'environnement géotechnique et les autres ouvrages ;
- Des risques anthropiques dans les travaux de construction ;
- Des risques naturels spécifiques (glissement de terrain, retrait-gonflement, séisme, etc.) ;
- Des techniciens non qualifiés ;
- Des études insuffisantes au regard de l'ampleur du projet ;
- La qualité d'exécution mal maîtrisée ;
- Maintenance et suivi négligés.

Pour cela, la prise en compte des risques lors de la faisabilité, de la conception, au stade de l'étude, et aux cours de la réalisation (et ainsi pendant l'exploitation) est le moyen de prévention contre les dommages liés aux risques. L'ingénieur est confronté, aujourd'hui, à gérer ces risques au mieux, le plus tôt possible et tout au long du projet et aussi, à définir des adaptations et dispositions à prendre vis-à-vis de ces risques.

On ne peut guère dissocier le management de projet et le management des risques. En effet, pour réussir un projet, il faut anticiper ses risques, bien les gérer et prévoir un planning d'urgence tout en incluant l'impact sur ces trois paramètres : coûts, délais et performances techniques. Le management des risques cherche à identifier, à évaluer, à développer des stratégies de réponse et à contrôler les risques. Il est un outil qui facilite la prise de décision pour les managers.

Pour réduire les effets dommageables des catastrophes, une nouvelle stratégie fondée sur le concept de résilience est adopté. Cette stratégie est comme outil de gestion des risques ; elle vise à renforcer un système contre un événement à risque.

La résilience, qui est l'aptitude d'un système à maintenir ou rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des défaillances, devient actuellement, l'axe majeur des stratégies de gestion des risques.

Vu de la complexité des projets routiers, il est donc nécessaire de la prise en compte de la résilience pour améliorer la gestion des risques. Il existe en effet un lien entre la vulnérabilité et la résilience. Cependant, une augmentation de la résilience, peut limiter les dégâts d'un risque naturel ou anthropique. De ce fait, l'évolution de la résilience guide une approche prospective. Un système plus résilient encaisse mieux les fortes perturbations, les principaux aléas. Donc, de ce fait, il est souhaitable de favoriser l'élévation de la résilience dans les projets routiers.

Dans ce contexte, on propose de caractériser les risques géotechniques dans le projet routier, d'identifier les mesures à prendre pour en limiter les conséquences ou, mieux, les prévenir et à mieux conduire la réaction à tout événement catastrophique. On cherchera donc à définir et à mettre en œuvre les stratégies de réponse pour la résilience et la mitigation de ces risques d'une part, et de manager avec plus d'efficacité les risques géotechniques dans le projet routier, d'autre part.

Le mémoire présenté comprend, après une introduction générale, quatre chapitres essentiels :

Le premier chapitre s'articule autour du projet routier et les différentes étapes pour la réalisation du projet routier d'une manière optimale en utilisant les procédures existantes. Aussi, il s'intéresse à l'identification des acteurs du projet routier. Pour des études fiables dans les projets routiers, nous présenterons l'importance de la géotechnique et les différentes missions d'ingénierie géotechniques suivant la norme NF P 94-500.

Le deuxième chapitre fait le point sur le risque en général. Il nous renseigne sur les différentes définitions du risque, l'aléa et la vulnérabilité. Ensuite, les différents types de risques géotechniques qui impactent le projet routier tout en définissant les causes probables et les solutions pour chaque type de risques.

Le troisième chapitre de ce mémoire se base sur la description de la démarche du management des risques et ses objectifs à travers l'identification des événements à risques et leurs impacts sur le projet routier. Dans cette optique, nous avons appréhendé quelques notions importantes sur la gestion des risques et les stratégies de réponses à apporter pour l'atteinte des objectifs. Le management des risques intègre le retour d'expérience qui a pour rôle de réduire les incertitudes et améliorer la connaissance d'un système.

Le quatrième et le dernier chapitre de ce mémoire présente une nouvelle stratégie pour la gestion des risques dite « résilience ». Cette dernière vise à renforcer l'organisation face à un événement à risque, et elle vise aussi à réduire la vulnérabilité. Ensuite il montre comment manager les différents risques géotechniques dans un projet routier pour minimiser les dommages provoqués par chaque type de risque et pour la résilience de ces risques.

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

Chapitre 1
LE PROJET ROUTIER

1. INTRODUCTION

Une route est, par essence, un élément linéaire reliant deux points, l'origine et la destination. Cette définition d'un simple ruban bitumineux, ouvrage artificiel s'insérant plus ou moins harmonieusement dans le paysage, est cependant insuffisante. En effet, une route n'est finalement rien d'autre qu'un simple élément d'une organisation dense et beaucoup plus complexe, le réseau routier. Ce dernier assure une diffusion maximale dans l'espace des effets bénéfiques ou néfastes liés à la motorisation plus que tout autre réseau de transport (Tille M., 2001).

La réalisation des projets routiers fait appel à un ensemble d'activités de plus en plus nombreuses et complexes qui demandent des efforts importants et soutenus en matière de gestion de projet. En effet tout projet, dans quelque domaine qu'il intervienne, nécessite des études successives dont les portées et les objectifs seront différents et adaptés aux problématiques propres à chaque niveau de définition.

Ce chapitre présente une vue générale sur le réseau routier en Algérie, les étapes de réalisation d'un projet routier (cycle de vie d'un projet routier) en se référant aux guides et aux normes qui s'appliquent. Il présente aussi, les acteurs, les rôles et les responsabilités des principaux intervenants, et finalement présente l'importance de la géotechnique dans les projets routiers et les missions d'ingénierie géotechniques.

2. LE RESEAU ROUTIER EN ALGERIE

En Algérie la route a un rôle éminemment stratégique tant au plan du développement économique et social que celui de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Le réseau routier national assure à lui seul près de 90 % du volume des échanges, dont le plus important est enregistré sur le réseau économique de base (routes nationales, chemins des wilayas et autoroutes).

Selon le ministre des Travaux publics, le réseau routier algérien compte actuellement un linéaire de plus de 180 039 km qui se présente comme suit (tableau 1.1).

Tableau 1.1 L'état du réseau routier national (2011)

Catégorie de route	(Km)
Routes Nationales	29 107
Chemins de Wilayas	23 888
Chemins Communaux	59 044
Voiries urbaines	68 000

L'étendue géographique de notre pays et l'importance des échanges, nécessite un secteur routier plus important et plus diversifier pour répondre aux besoins de toute activité économique dans, non seulement le pays mais aussi toute la région.

Dans le cadre d'une consolidation du réseau routier en Algérie, et afin d'améliorer les conditions de circulation sur nos routes, l'état algérien compte mettre le paquet en faveur du réseau routier interne puisqu'il est d'une grande importance pour l'Algérie, il s'agit notamment des routes nationales et chemins de wilaya et des communes « Le gouvernement algérien mobilise près de 300 milliards de dinars, destinés au revêtement et à l'entretien des routes et des chemins de wilayas et des communes ». À ce stade plusieurs projets de routes et d'autoroutes sont en cours de réalisation pour renforcer le réseau routier national.

Le futur réseau routier qui est entrain de se réaliser a beaucoup d'avantage sur le développement socio- économique d'Algérie, et le développement du système des transports.

3. CYCLE DE VIE D'UN PROJET ROUTIER

Un projet se démarque par son cycle de vie, qui est généralement présenté comme étant constitué de phases. Le nombre de phases ainsi que leur appellation peuvent varier d'une application à une autre, d'un domaine d'application à un autre et d'un auteur à un autre. On appelle « cycle de vie du projet » l'enchaînement dans le temps des étapes et des validations entre l'émergence du besoin et la livraison du produit.

Une route doit être considérée sur un cycle de vie : elle est planifiée, conçue, construite, utilisée, exploitée et entretenue.

Le cycle de vie d'un projet routier passe par quatre phases : «Études préalables », « Conception », « Construction » et « clôture ». Certaines des phases se scindent en deux ou trois étapes. La figure 1.1 présente les grandes lignes de ce cycle explicité ci-dessous :

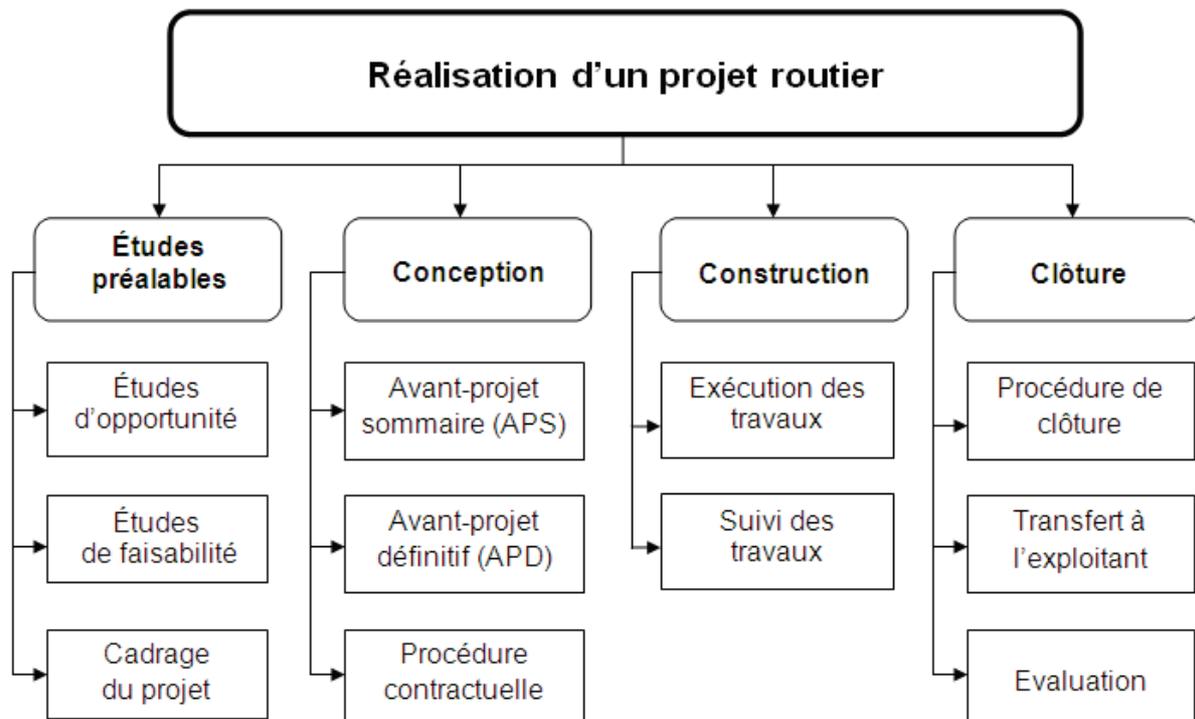


Figure 1.1 Cycle de vie d'un projet routier

3.1 Phase 1 : « Études préalables »

Cette phase vise à déterminer les besoins qui justifient l'existence, du projet et la faisabilité de l'opération. Elles peuvent comporter trois étapes et se concluent par le lancement de l'enquête publique.

3.1.1 Étape 1 : Études d'opportunité

L'étude d'opportunité a pour objectif de faire émerger un projet en posant de façon claire les termes du problème.

Les études menées au cours de cette phase pouvant comporter une analyse des trafics et une évaluation socio-économique et environnementale, permettent de recenser les besoins de déplacements et d'identifier les objectifs auxquels une nouvelle infrastructure devrait répondre. Elles visent ainsi à définir le type d'infrastructure routière la mieux adaptée, à préciser ses principales fonctionnalités et caractéristiques, ainsi que les enjeux socio économiques et les impacts sur l'environnement et l'aménagement du territoire qui lui sont associés.

Lors de la phase d'opportunité sont réalisées l'identification et l'analyse complète des éléments qui pourraient justifier une intervention sur le réseau routier. Cette étude est faite dans le but de caractériser les problématiques de transport en déterminant les différents éléments (techniques, socioéconomiques, environnementaux, etc.). Il est nécessaire d'assurer un équilibre entre les besoins sociaux, environnementaux et économiques, ainsi les besoins doivent être durables, c'est-à-dire offrir une satisfaction à long terme en répondant à des besoins collectifs comme l'accessibilité ou la mobilité.

3.1.2 Étape 2 : Études de faisabilité

L'étude de faisabilité vise à analyser la faisabilité économique, organisationnelle et technique de projet, elle doit comporter des renseignements généraux qui permettront au maître d'ouvrage, en toute connaissance de cause, de rendre la décision de poursuivre son projet.

À cette étape, un ensemble d'études seront menées pour analyser les éléments relatifs au projet. Elle consiste essentiellement à produire de façon précise et détaillée, le programme des besoins à partir de l'analyse sommaire de solutions pertinentes par rapport aux besoins, il convient de faire une estimation grossière du coût d'investissement et de fonctionnement du projet (en termes de moyens humains et matériels), des délais envisagés et des éventuels retours sur investissement, étude de rentabilité du projet. Ainsi qu'à identifier les contraintes susceptibles de faire obstacle à la réalisation du projet.

3.1.3 Étape 3 : Cadrage du projet

Cette étape du cadrage du projet est essentielle pour la réussite du projet. Le but est de faciliter la compréhension et la manipulation du projet ; il s'agit d'énoncer le titre du projet où les mots clés doivent apparaître, de rendre l'idée du projet compréhensible.

Afin de réussir d'exprimer l'idée de projet, il faut obtenir une vue d'ensemble sur les facteurs déclencheurs du projet, de préciser les besoins du demandeur, de vérifier l'opportunité du projet, ainsi que d'analyser les données disponibles. Il convient de préciser les orientations de base, de définir clairement les objectifs principaux du projet, de préciser les caractéristiques essentielles du projet et de ses variantes et d'en évaluer les coûts potentiels du projet et de définir les délais de réalisation du projet (la date du début, et la date de fin du projet).

Ainsi, il est nécessaire de décrire les différents acteurs intervenant, en termes de rôles et responsabilités. Pour cela, il faut tout d'abord avoir identifié les parties prenantes du projet (maître d'œuvre, fournisseurs, entrepreneur, etc.).

En outre, cette étape comporte une étude d'impact sur des milieux de natures totalement différentes (politique, commercial, environnement, social, etc.). L'objet d'une étude d'impact est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme du projet et de proposer les mesures adéquates pour limiter les effets négatifs du projet.

Enfin, une définition des risques principaux qui affectant le projet (technique, social, commercial, naturel, économique, etc.).

Le cadrage est donc la partie essentielle de la définition du plan de projet, il conduit à envisager plusieurs scénarios. Chaque scénario envisagé permet d'évaluer les risques pesant sur le projet et doit s'accompagner d'un bilan prévisionnel présentant le coût et les avantages du chaque scénario. Le plus grand nombre de solutions doit être considéré pour obtenir une étude complète et originale. Le principal défi est d'offrir des solutions qui permettent de tenir compte des contraintes techniques du site, tout en assurant une bonne insertion du projet potentiel dans le milieu humain et naturel.

A partir des études préalables, une enquête publique peut être exigée par différentes procédures inscrites soit au code de l'environnement, soit au code de l'expropriation, portant sur l'utilité publique de l'infrastructure. Elle peut avoir différents objets :

- Connaître précisément les propriétaires de chaque parcelle touchée par le projet ;
- Assurer la mise en compatibilité des documents d'urbanisme ;
- Attribuer les statuts appropriés à l'infrastructure ;
- Classer ou déclasser des infrastructures dans des domaines différents ;

Dès que le principe de mise à l'enquête est arrêté, le maître d'ouvrage a en charge des mesures de publicité de cette enquête ou se prononce, par une déclaration de projet, sur l'intérêt général de l'opération.

3.2 Phase 2 : « Conception »

Cette phase vise à concevoir la réponse la mieux appropriée aux besoins d'origine.

À partir des solutions énoncées à la phase précédente, plusieurs possibilités (scénarios et variantes) sont élaborées et analysées, pour finalement réaliser un projet qui répondra le mieux aux besoins tout en respectant le cadre budgétaire du projet. Elle est

constituée de trois étapes « Avant projet sommaire », « Avant-projet définitif » et « Procédure contractuelle ».

3.2.1 Étape 1 : Avant-projet sommaire (APS)

Cette étape permet l'élaboration de scénarios relativement détaillés assurant la réponse technique du projet. Leur conception résulte de la participation ou de la consultation d'intervenants de multiples secteurs d'activité. À ce moment, des scénarios seront élaborés pour chaque solution et le choix du meilleur scénario sera fait dans cette étape.

Plusieurs études sont abordées dont des études géologiques, géotechniques, hydrologiques, topographiques, etc. Elles permettent de préciser les fonctions locales de l'aménagement et de définir le meilleur tracé en comparant plusieurs variantes, ainsi qu'une estimation suffisamment précise des quantités et des coûts associé à chaque scénario pour la réalisation de cette étape. La cohérence des scénarios doit être régulièrement évaluée par rapport aux priorités du maître d'ouvrage.

L'échelle de précision permet encore de déplacer le tracé à l'intérieur d'un fuseau, pour les projets importants on parle de bande des 300 m.

3.2.2 Étape 2 : Avant-projet définitif (APD)

Pendant le déroulement de cette étape, plusieurs études approfondies viennent appuyer la démarche d'optimisation et d'amélioration de la solution technique entreprise depuis le début de préparation du projet. C'est généralement à cette étape que l'on amorce les procédures pour l'obtention des permis et autorisations nécessaires à la réalisation du projet. Elle se concentre sur la conception de variantes permettant d'optimiser l'ensemble des composantes du scénario. La variante retenue à l'issue de l'avant-projet sommaire est élaborée en profondeur avec une fixation des coûts à partir des calculs précis des quantités tout en définissant les caractéristiques des éléments nécessaires à sa réalisation.

Lorsque la conception de tous les éléments du projet est terminée et qu'elle a fait l'objet d'une approbation, il y a lieu de procéder à la préparation des plans de construction et de détail du projet et de rédiger les clauses administratives et techniques des devis qui permettront de procéder à l'appel d'offres et à la réalisation des travaux. Les plans et devis sont rédigés en fonction des conclusions et des décisions prises par les autorités compétentes lors des étapes précédentes. La figure 1.2 schématise la démarche d'élaboration de la solution dans un projet routier.

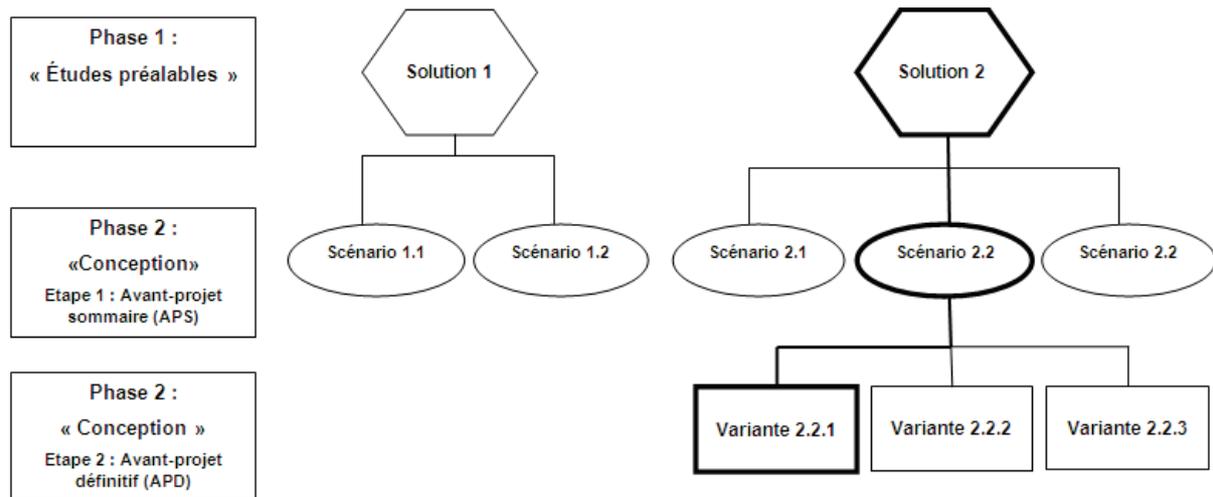


Figure 1.2 Démarche d'élaboration de la solution dans d'un projet routier

3.2.3 Étape 3 : Procédure contractuelle

Cette étape, est celle par laquelle le maître d'ouvrage lance le processus d'appel d'offres auprès des entrepreneurs, pour la réalisation des travaux de construction d'un ouvrage routier ou d'une infrastructure routière. Cette démarche se veut conforme au processus d'appel d'offres public, le maître d'ouvrage offre un contrat pour signature et exécution à l'adjudicataire qui présente l'offre la plus prometteuse.

En parallèle et lorsque la surveillance et le contrôle des matériaux sont réalisés par un ou des prestataires de services, le maître d'ouvrage doit préparer et accorder les mandats requis pour la réalisation de ces activités, et ce, en conformité avec les règles administratives en vigueur.

Finalement, c'est à cette étape que sont déposés le plan de surveillance et le plan qualité de mise en œuvre des travaux.

3.3 Phase 3 : « Construction »

La phase de « construction » consiste principalement en la mise en œuvre des plans et devis, elle vise à concrétiser la solution retenue. Elle est constituée de deux étapes « Exécution des travaux » et « Suivi des travaux ».

3.3.1 Étape 1 : Exécution des travaux

C'est l'étape de la mise en œuvre du projet routier sur le terrain, donc du chantier.

L'entrepreneur, les prestataires de services et les fournisseurs exécutent leurs contrats dans le respect des exigences et des spécifications émises dans les plans et devis. Le maître d'ouvrage, pour sa part, s'assure de la réalisation et de la conformité des biens livrables demandés dans les documents contractuels et effectue les paiements en fonction de l'avancement des travaux réalisés.

Il incombe au maître d'ouvrage de prendre toutes mesures pour mettre à la disposition de l'entrepreneur les terrains nécessaires et il doit, à cette occasion, lui délivrer un plan général d'implantation de l'ouvrage.

À ce titre, l'entrepreneur doit exécuter les travaux dans le délai prévu au marché. Le délai d'exécution des travaux part en principe de la date de notification du marché et expire à la date d'achèvement des travaux fixée par le maître de l'ouvrage à l'occasion des opérations de réception.

3.3.2 Étape 2 : Suivi des travaux

Le but de cette étape est de mesurer et surveiller régulièrement la progression et la conformité du projet et d'assurer la bonne intégration des modifications ou changements approuvés dans le cadre du projet. Elle impose l'établissement des procédures d'exécution qui décrivent la méthodologie, les moyens et les plans de contrôle et de suivi pour l'exécution des différents travaux.

L'entrepreneur doit prendre toutes dispositions ou établir tous documents nécessaires à la réalisation de l'ouvrage, ce qui comporte d'abord l'exécution d'opérations matérielles (aménagement des voies et moyens de transport, logement du personnel, installation du chantier proprement dit, etc.). Cela implique surtout la mise au point de toutes les mesures qui détermineront le déroulement du chantier (programme d'exécution des travaux qui indique notamment les moyens du chantier et le calendrier d'exécution) et la mise au point du plan d'exécution des ouvrages (définissant le dimensionnement des ouvrages et les caractéristiques des matériaux, produits et composants de construction). Ces documents sont tous établis sur la base des pièces contractuelles.

3.4 Phase 4 : « Clôture »

La phase de clôture est la dernière phase du projet, elle met formellement fin à toutes les activités du projet et permet d'évaluer l'adéquation de solution retenue avec les besoins d'origine.

3.4.1 Étape 1 : Procédure de clôture

Le projet prend fin avec la réception finale des travaux, la recommandation de paiement final par le surveillant, l'évaluation du rendement de l'entrepreneur, des prestataires de services et des fournisseurs, etc.

Donc à l'issue de cette étape s'effectue la réception des travaux. L'entrepreneur avise le maître d'ouvrage de la fin des travaux. Le maître d'œuvre assure le contrôle des opérations de réception. Dès l'achèvement des travaux par le titulaire, le maître d'ouvrage doit prendre possession des ouvrages et il lui incombe donc de vérifier que les prestations ont bien été exécutées conformément aux pièces contractuelles.

Après la réception définitive des travaux, Un rapport final du projet devra être établi, qui sera examiné par le maître d'ouvrage pour la clôture des contrats (l'activité qui consiste à analyser et à évaluer tous les aspects du rendement et de la conformité des ouvrages)

et la clôture du projet (l'activité qui consiste à réunir et à évaluer les données sur le rendement du projet).

3.4.2 Étape 2 : Transfert à l'exploitant

Le transfert à l'exploitant constitue une étape clé, correspondant à un transfert des ouvrages à l'unité administrative responsable de l'entretien et de l'exploitation. Ce transfert contient tous les renseignements concernant le projet dont l'exploitant aura besoin pour mener à bien ses opérations courantes, notamment le rapport final de surveillance et les plans «Tel que construit».

3.4.3 Étape 3 : Evaluation

Cette étape d'évaluation est faite en relation avec les objectifs qui ont motivé la construction de l'ouvrage routier et à l'aide du suivi effectué après sa mise en fonction. Selon les besoins qui ont motivé l'amorce du projet et la nature des interventions réalisées sur le terrain, l'évaluation permet de cibler les objectifs de rendement qui ont été atteints ou surpassés ou qui n'ont pas été atteints.

L'évaluation de projets est une partie importante à l'évolution et à l'amélioration continues d'une organisation. Elle permet, sur la base de la documentation produite de passer en revue l'ensemble du projet. L'analyse des différents documents assurera la mise en évidence des belles réalisations et les moins réussies, et alimentera le processus d'amélioration continue du maître d'ouvrage pour sa gestion de projets routiers.

4. LES ACTEURS DU PROJET ROUTIER

Le terme « acteur d'un projet » concerne l'ensemble des individus, des collectivités, et des personnes morales privées ou publiques qui participent à l'élaboration du projet (Tille M., 2001). Un projet associe un ensemble d'acteurs directement ou indirectement concernés, ils pourront être moteurs, décideurs, mais aussi opposants. Les acteurs et leurs fonctions, identifiés dans un projet routier sont présenté par la figure 1.3.

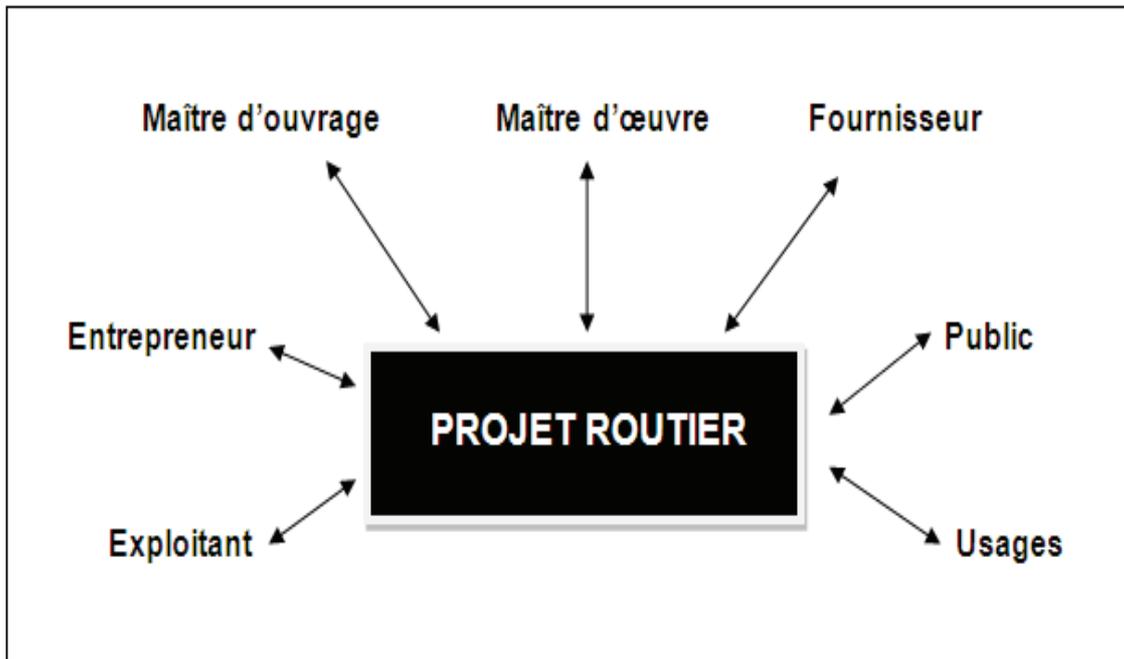


Figure 1.3 Les acteurs du projet routier

Le maître d'ouvrage : cette fonction est remplie par une personne morale pour le compte de laquelle un ouvrage est construit. La maîtrise d'ouvrage doit mener ou commander des études d'opportunité et de faisabilité, définir un programme, arrêter une enveloppe financière prévisionnelle, conclure avec la maîtrise d'œuvre et les entrepreneurs qu'elle choisit, les contrats ayant pour objet les études et l'exécution des travaux. Selon le type de projet à conduire, la maîtrise d'ouvrage peut disposer ou non en interne de l'expérience et des compétences nécessaires (Sayagh S., et al, 2008).

Le maître de l'ouvrage définit dans le programme les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire, ainsi que les contraintes et exigences de qualité sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage et de protection de l'environnement, relatives à la réalisation et à l'utilisation de l'ouvrage (Brunel H., 2008).

Dans certains cas, le maître d'ouvrage peut être amené à rechercher une assistance à l'extérieur, vers l'acteur que nous appellerons assistance à maîtrise d'ouvrage. Celui-ci peut être de nature très diverse : chargé de l'étude prospective de la programmation et de la conduite de projet, conseiller pour l'accompagnement d'une réalisation, aide à la gestion de l'exploitation, aide juridique, expertise environnementale (Sayagh S., et al, 2008).

Le maître d'œuvre : cette fonction est remplie par une personne morale choisie par la maîtrise d'ouvrage. Le maître d'œuvre a la charge et la responsabilité de la conception et du contrôle d'exécution de l'ensemble des ouvrages à réaliser. Il doit s'assurer du respect des choix arrêtés par la maîtrise d'ouvrage, en participant à la traduction de ses choix en termes de conception. Il est garant du respect de la réglementation (Sayagh S., et al, 2008).

Enfin, il assure le respect des stipulations contractuelles et des règles de l'art en assistant la maîtrise d'ouvrage dans la passation des contrats de travaux, et en s'assurant, lors des opérations de réception, de la bonne exécution et de la conformité de l'ouvrage. Ainsi, il concourt à la qualité du projet, au respect des délais et des coûts et assure le rôle de coordination des entreprises et de direction des contrats de travaux jusqu'à la réception.

La maîtrise d'œuvre peut s'appuyer sur des personnes réalisant des expertises nécessaires à la réalisation de sa mission (compétences techniques et économiques). Ces expertises font partie de la maîtrise d'œuvre et ne sont pas des assistants à maîtrise d'ouvrage, nous les appellerons prestations externes (Sayagh S., et al, 2008).

L'entrepreneur : Son activité est régie par les termes contractuels du marché. L'entrepreneur est chargé d'exécuter les travaux prévus au marché ou de les faire exécuter par des tiers sous-traitants pour des travaux spécialisés (Sayagh S., et al, 2008).

Le fournisseur : cette fonction se distingue de celle du sous-traitant en ce qu'elle n'assure pas directement la réalisation des travaux, mais se borne à l'exécution d'une prestation mobilière (vente de matériaux ou de matériel, etc.) (Sayagh S., et al, 2008).

L'exploitant : cette fonction concerne la phase d'exploitation et de la maintenance de l'ouvrage. L'exploitant peut être le maître d'ouvrage, ou une entité séparée faisant l'objet d'un contrat spécifique avec le maître d'ouvrage (Sayagh S., et al, 2008).

Les usagers : ce sont les bénéficiaires du projet, lorsqu'il s'agit d'un ouvrage public (Brunel H., 2008).

Le public : c'est l'ensemble des personnes qui constituent l'environnement humain du projet (Brunel H., 2008).

5. L'IMPORTANCE DE LA GEOTECHNIQUE DANS LES PROJETS ROUTIERS

La géotechnique est une discipline qui étudie le comportement des terrains constitutifs de notre planète en relation ou non avec la construction d'ouvrage par l'homme. Elle s'inscrit dans une démarche de science expérimentale dont la connaissance s'appuie sur l'observation et la mesure permettant la compréhension des phénomènes et leur modélisation à des fins d'actions. La géotechnique joue un rôle essentiel dans l'acte de construire pour tous les travaux de projet routier (Portet F., et Noël O., 2011).

Elle concerne (Portet F., et Noël O., 2011):

- Les travaux de terrassement (utilisation du sol comme matériaux de construction en déblai/remblai) ;
- Les soutènements et stabilisation de talus ;
- Les fondations des ouvrages d'art.

Il est important de rappeler que, « La géotechnique est l'assise de tout ouvrage ». En effet, tout projet de construction et en particulier dans la construction d'une route, le paramètre "sol" doit être pris en considération, soit pour constater que ce paramètre ne pose pas ou peu de problèmes particuliers, soit pour poser correctement les problèmes géotechniques. Donc, indispensable de connaître le comportement du sol pendant et après la réalisation de la route.

La construction d'une infrastructure routière nécessite la réalisation des études géotechniques afin d'élaborer des solutions techniques, à des problèmes de comportement structural des chaussées, à des problèmes de traitement des déblais et des remblais dans les travaux de terrassement. Ce dernier est un élément technique incontournable, permettant de conférer à la route les caractéristiques géométriques et techniques la rendant compatible avec sa destination fonctionnelle, mais aussi vis-à-vis des contraintes physiques des sols traversés.

Les études géotechniques devront donc lever un maximum d'incertitudes sur le sol et sous-sol pour la conception ou le confortement d'un projet. Pour ce faire, il est nécessaire de donner aux études géotechniques toute leur importance et d'être effectuées par un géotechnicien qualifié tout au long de la conception puis de la réalisation de l'ouvrage.

Les études géotechniques pour la mise au point du projet et son exécution sont réalisées par des missions types d'ingénierie géotechniques qui sont définies par la norme AFNOR NF P 94 500 version 2006.

5.1 Les différentes missions d'ingénierie géotechniques suivant la norme NF P 94-500

L'ingénierie géotechnique est une discipline spécialisée nécessaire pour toute opération de construction au même titre que les autres ingénieries, comme celle des structures ou des fluides. L'ingénierie géotechnique se préoccupe de l'interface entre la construction de l'ouvrage à réaliser et le contexte géotechnique du site où on veut l'implanter. Elle est une composante de la maîtrise d'œuvre indispensable à l'étude puis à la réalisation de tout projet.

L'ingénierie géotechnique doit comprendre et expliquer les comportements naturels complexes du sol pour ensuite projeter l'intégration de la nouvelle infrastructure dans son environnement. C'est pourquoi la norme AFNOR NF P 94 500 définit les différents types d'études de sols, dites « missions géotechniques » ayant pour objectif de déterminer les propriétés du sol et leurs incidences sur les ouvrages, constructions, aménagements de terrains existants ou à réaliser.

La norme précise la désignation, le contenu et les limites des missions géotechniques types, ainsi que leur enchaînement pour un projet de construction (lors de la conception, pendant la réalisation) et également en cas de sinistre.

Elle présente ce qui est nécessaire aux différentes étapes de réalisation d'une mission depuis la consultation ou la commande d'une mission par le constructeur, jusqu'à la

remise du rapport final par le géotechnicien. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques (sondages, essais et mesures en place ou laboratoire).

Elle déroule les étapes de chacune des missions géotechniques en précisant pour chacune les éléments à réaliser par le géotechnicien et les éléments à fournir par le client pour permettre de réaliser la mission dans les meilleures conditions.

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique sont présentés dans la figure 1.4 suivante :

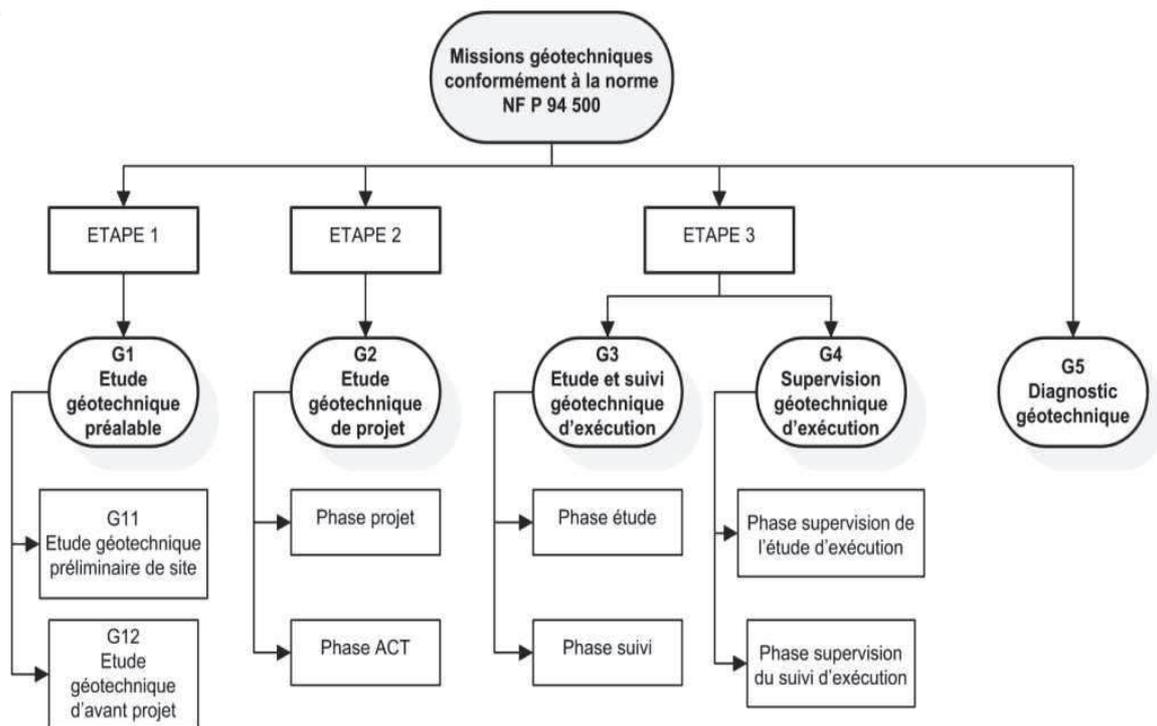


Figure 1.4 Schéma d'enchaînement des missions géotechniques
(Hakiki K. A., 2010)

5.2 Cycle de vie de projet routier et les missions géotechniques

Dans le cycle de vie d'un projet routier, le maître de l'ouvrage définit dans l'étude d'opportunité un programme qui exprime les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire. Le contenu de ce programme dépend, des objectifs et caractéristiques essentielles de l'opération. Dans l'étape de programmation, une commande à la maîtrise d'œuvre est nécessaire. Le maître d'œuvre met en forme un ensemble de données issues d'études de faisabilité ainsi que la description fonctionnelle du projet. Il produit alors une esquisse dans la quelle sera négociée la suite des études de conception. Sur la base des discussions de l'esquisse se développe un avant projet sommaire. Ces documents seront étudiés par les partenaires de la conception notamment les ingénieurs géotechniques qui ont pour rôles, l'étude générale du site et de ses abords, a travers cela se définit la première étape des missions géotechniques «Études géotechniques préalables (G1)». Cette dernière se démarque par deux missions ; « étude géotechnique préliminaire de site (G11) » et « Étude géotechnique

d'avant-projet (G12) » d'où les ingénieurs géotechniques ont pour mission d'identifier les risques géologiques et réduire leur conséquences. Ils ont aussi, à définir les contraintes géotechniques du site s'exerçant sur le projet d'infrastructure, à caractériser les matériaux (sols, roches) en proposant leur valorisation dans l'ouvrage routier (déblais, remblais, couche de forme), à définir la géométrie du projet (profil en long et en travers) ainsi que d'établir un état des lieux de la nature du sol afin de préciser les difficultés susceptibles d'être rencontrées. À la base de ces deux missions le maître d'œuvre pourra établir un coût d'objectif provisoire de l'adaptation du projet aux particularités du site, et ainsi pour élaborer un avant projet définitif. Cette mission (G1) est complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).

L'étape 2 d'« Étude géotechnique de projet (G2) » a pour objectif d'établir le projet des ouvrages géotechnique, esquissés lors des missions précédentes, tous en adaptant au mieux le projet et en définissant les dispositions constructives à mettre en œuvre qui seront précisées dans l'étude et le suivi géotechnique d'exécution de l'étape 3. Il est précisé qu'à la mission (G2) des spécifications techniques détaillées (STD) et des documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques doivent être réalisées.

Ce travail mène donc à la mise en œuvre du projet routier sur le site (exécution des travaux) qui nécessite l'exécution des ouvrages géotechniques (étape 3). A l'étape 3 d'exécution des ouvrages géotechniques, deux missions d'ingénierie géotechnique sont menées en parallèle : la première mission « Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) », a pour but d'étudier dans le détail les ouvrage géotechniques ainsi que le suivi sur site des travaux et définir en détails les spécifications techniques (STD), le dossier de consultation des entreprise (DCE) et le contrôle général des travaux (CGT) et enfin la réception des travaux (RDT). La deuxième mission « Supervision géotechnique d'exécution (G4) » faite pour le compte du maître d'ouvrage pour la vérification de conformité et la validation de l'étude et du suivi géotechniques d'exécution dans le respect des règles de l'art et pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques. Cette mission (G4) de supervision et de contrôle (CGT, RDT) est intégrée dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre générale.

La phase de réalisation des ouvrages et l'exécution des travaux et parties d'ouvrages en relation avec le sous-sol verra apparaitre la participation des ingénieurs géotechniques (mission G3 et G4) aux réunions de chantier et leurs interventions pour préciser un détail d'exécution mal défini, ainsi que pour la prise de décision pour d'éventuelles imprévus d'exécution. On peut ainsi adapter de façon rationnelle, les méthodes mises en œuvre et les moyens matériels dont on dispose déjà et rectifier en conséquence le programme d'exécution (Hakiki K. A., 2010).

Au moment de la réception de l'ouvrage, si le chantier a été constamment suivi du point de vue géotechnique (mission G4), les renseignements recueillis servent de base objective aux discussions entre maître d'œuvre et entrepreneur pour régler un contentieux éventuel (Hakiki K. A., 2010). Une fois la réception finale des travaux, les

ouvrages sont transférés à l'exploitant, et le projet prend fin quand l'évaluation est achevée.

Pendant le déroulement du projet ou au cours de la vie de l'ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle dite « Diagnostic géotechnique (G5) ». Il est nécessaire de rappeler que chaque mission d'ingénierie géotechnique s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques. La figure 1.5 présente les missions géotechniques dans le projet routier.

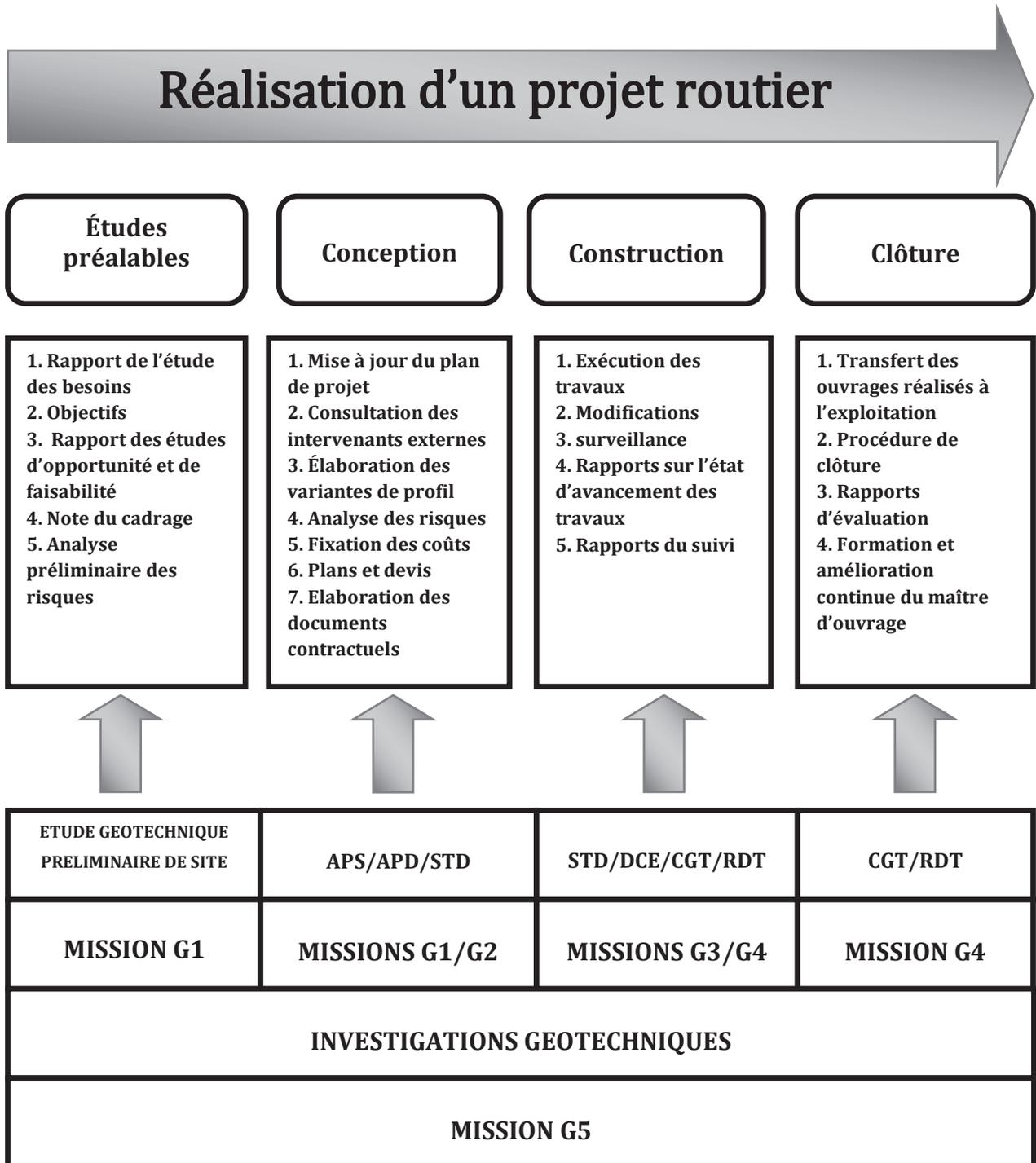


Figure 1.5 Cycle de vie de projet routier et missions géotechniques

6. CONCLUSION

En fin de ce chapitre on conclut que l'obtention de la qualité finale des réalisations routières repose sur les études géotechniques dès le début de la conception de tous les paramètres du projet. De ce fait une approche univoque, menée uniquement sous l'angle de la géotechnique conduirait à des erreurs de conception ou de mise en œuvre du projet d'aménagement.

En s'appuyant sur les contraintes de nature, de stabilité des sols, et les risques géotechniques qui sont devenu inassurable en recommandent vivement l'application des missions géotechniques de la norme NF P 94-500 et qui doivent accompagner les différentes phases d'élaboration et de réalisation du projet routier afin d'assurer la gestion optimale de ces risques, et à la satisfaction du maître d'ouvrage.

Chapitre 2

***LES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS
LE PROJET ROUTIER***

1. INTRODUCTION

Nous avons vu dans le premier chapitre que la réalisation d'un projet routier nécessite l'intervention de l'ingénierie géotechnique à tous les stades d'étude préalable, conception, construction et même maintenance de l'ouvrage pendant son exploitation. Elle est la mieux qualifiée pour assister le maître d'ouvrage à faire les bons choix face aux incertitudes et aléas géotechniques, donc des risques associés.

En effet, le site de construction d'un ouvrage est soumis aux effets de phénomènes naturels ou anthropiques qui modifient plus ou moins l'état du site et éventuellement de l'ouvrage ; dans certains sites, ces effets peuvent être des facteurs de risques.

Dans un projet de construction, le risque géotechnique est l'un des risques majeurs (Zerhouni M. I., 2011). Mal ou tardivement estimé, il a un impact sur les coûts, les délais et peut porter sur la pérennité des ouvrages. En effet les sols présentent toujours un risque pour tout projet de construction, donc une identification de ces risques est prioritaire pour le démarrage de projet.

Ce chapitre a pour but d'une part de décrire les concepts de base relatifs à la notion de risque. Et d'autre part, d'identifier de manière générale les événements générateurs de risques géotechniques pour le projet routiers qu'ils soient provoqués par des phénomènes naturels ou par des activités humaines ainsi que les solutions à envisager.

2. LE RISQUE

2.1 Définition du risque

La notion de risque est complexe et fait l'objet de nombreuses définitions. Il peut être défini comme suit :

- Dans le langage courant, le risque est « un danger éventuel plus ou moins prévisible » (Robert, 1996) ou « un danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé » (Larousse, 1997).
- La définition scientifique du risque inclut une double dimension : celle des aléas et celle des pertes, toutes deux probabilisées. En conséquence, un risque se caractérise par deux composantes : le niveau de danger (probabilité d'occurrence d'un événement donné et intensité de l'aléa) ; et la gravité des effets ou des conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire sur les enjeux (Breyse D., 2009).

Il est très difficile de trouver une définition générale. Cependant, on pourrait dire que le risque est la combinaison de l'aléa (probabilité d'occurrence d'un phénomène) et de la vulnérabilité (conséquences sur les personnes et les biens exposés ou la gravité d'un dommage).

Pour éviter toute ambiguïté, il serait préférable de montrer la définition des deux notions, aléa et vulnérabilité :

- L'aléa qualifie tout événement, phénomène ou activité humaine imprévisible, existant ou potentiel, à l'origine des risques. 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 aux biens, des perturbations sociales ou économiques ou la dégradation de l'environnement (Breysse D., 2009).
- La vulnérabilité est la Susceptibilité d'un système d'enjeux à subir des dommages sous l'action d'un danger. Elle peut être attachée au degré relatif de perte de valeur de l'enjeu quand il est affecté par un aléa de nature et d'intensité donnée. Elle est généralement exprimée sur une échelle de 0 (pas de perte) à 1 (perte complète). Elle correspond alors au niveau des dommages prévisibles engendrés par le phénomène considéré (entre 0 et 100 %). A une autre échelle, la vulnérabilité exprime aussi un ensemble de conditions et de processus résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux, qui accroissent la susceptibilité de la collectivité aux conséquences des aléas (Breysse D., 2009).

2.2 Classification des risques

Les risques peuvent être classés selon deux catégories : naturels et anthropogéniques.

- a) **Risques naturels** : est une menace découlant de phénomènes géologiques ou atmosphériques aléatoires, qui provoquent des dommages importants sur l'homme, les biens, l'environnement.
- b) **Risques anthropogéniques** : est le risque engendré par l'activité humaine. C'est la menace d'un événement indésirable engendré par la défaillance accidentelle d'un système potentiellement dangereux et dont on craint les conséquences graves, immédiates comme différées, pour l'homme et (ou) son environnement.

Le tableau 2.1 ci-après présente une liste non exhaustive d'exemple de risques naturels et anthropiques.

Tableau 2.1 Liste non exhaustive de risques (naturels et anthropiques)

Risques naturels	Risques anthropogéniques
<ul style="list-style-type: none"> • Glissements de terrain • Tremblements de terre • Inondations • Avalanches • Feux de forêts/de broussailles • Chute de pierres • Tempête de neige/verglas massif / chute de neige importante • Tempête / tempête de pluie / fortes précipitations • Brouillard • Éruption volcanique • Sécheresse 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité informatique • Accidents de travail • Transport de produits dangereux • Surcharge de poids, dépassement de hauteur • Accident d'avion, de train, de voiture, d'un bateau • Incendie • Accidents industriels • Explosifs / mines en temps de guerre • Grèves • Terrorisme / vandalisme • Embouteillage

D'autres auteurs classifient les risques comme suit (AIPCR, 2010):

- **Risques naturels** : feu de broussailles, tempête, inondation, tremblement de terre, ouragan, etc. ;
- **Risques technologiques** : rupture de digue, contamination de denrées alimentaires, accidents sur site industriel, défaillance d'équipement ou apparition d'un problème, etc. ;
- **Risques biologiques** : maladie se propageant via les végétaux, les animaux ou les humains, etc. ;
- **Risques civils ou politiques** : terrorisme, sabotage, guerre civile, prise d'otage ou attaque par un pays ennemi, etc.

3. RISQUES GEOTECHNIQUES

3.1 Les paramètres incertains en géotechnique

3.1.1 Origines et caractéristiques de la variabilité des sols

Plusieurs auteurs ont montré que la plupart des problèmes géotechniques sont liés à la variabilité des paramètres de sol et l'incertain en géotechnique.

Une chose est certaine : le sol est un matériau hétérogène et anisotrope. Ses propriétés sont variables d'un point à un autre. L'incertitude dans la prévision des réponses mécanique ou hydraulique en géotechniques est un phénomène complexe résultant de plusieurs types de sources (Baziz K., 2011).

La variabilité dans les propriétés mesurées dans les couches de sol vient de différentes sources. Phoon et Kulhawy (1999) ont quantifié la variabilité inhérente (intrinsèque), les erreurs de mesure et l'incertitude de transformation (corrélation entre propriétés, modèle rhéologique, etc.) en tant que sources primaires d'incertitude géotechnique, comme illustré sur la figure 2.1. L'origine de la variabilité spatiale inhérente est le processus de sédimentation géologiques qui a produit et modifie continuellement les couches de sol. Les erreurs de mesure, y compris ceux provoquées par l'appareillage, les procédures opératoires et les effets des essais effectués hors normes, constituent la deuxième source d'erreur. En général, ces deux sources peuvent être classifiées comme des données dispersées. La troisième source d'incertitude est présentée quand des mesures de laboratoire sont transformées en propriétés de sol de conception en utilisant des modèles empiriques ou de corrélation (Baziz M. K., 2011).

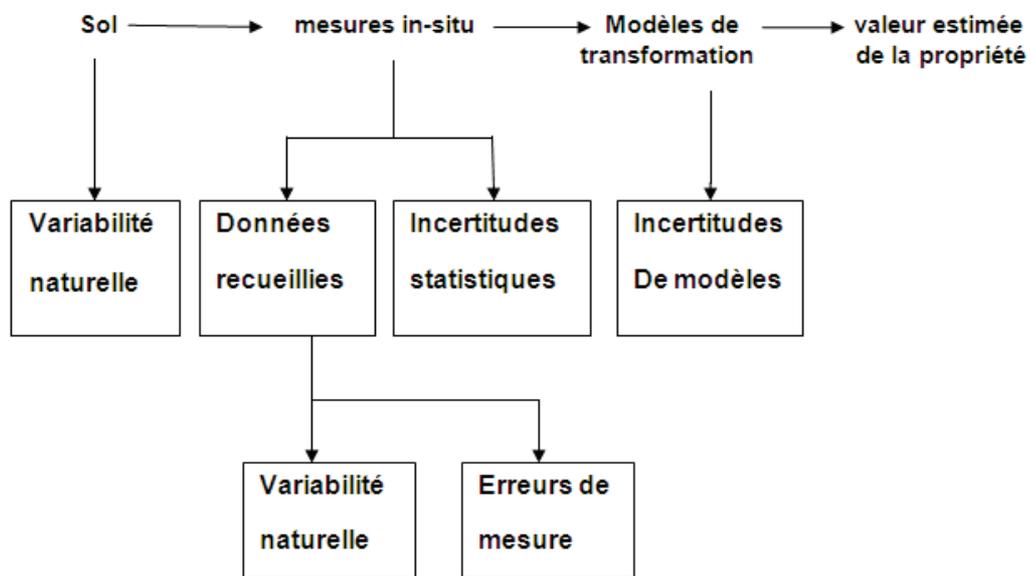


Figure 2.1 Types des incertitudes des propriétés du sol (Baziz M. K., 2011)

La variabilité naturelle est liée à la fonction aléatoire de l'espace, ou les problèmes mécaniques sont des problèmes sur l'espace : une force est l'intégrale d'une contrainte sur une surface ou dans un massif, un déplacement est l'intégrale d'une déformation dans une direction ou dans un massif. Il s'agit donc d'intégrer des propriétés en tant que fonctions de l'espace (Baziz M. K., 2011).

La variabilité intrinsèque des propriétés de sol est la structure de corrélation, autrement-dit, ces propriétés ne changent pas aléatoirement dans l'espace, mais montrent de la concordance d'un point à un autre dans l'espace. Il faut se contenter de regarder l'incertain du phénomène, comme spatial (Baziz M. K., 2011).

3.1.2 Erreurs et incertitudes sur les sols

3.1.2.1 Les erreurs d'observation

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

❖ Les erreurs de mesure proprement dites

Elles sont liées à l'appareil de mesure et à l'opérateur.

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

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

❖ Les erreurs de représentativité

Elles proviennent de la transformation de la mesure physique.

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

❖ Les erreurs de l'instant

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

3.1.2.2 Les erreurs d'enquête

❖ Les erreurs d'enquête proprement dit

Ce sont les erreurs liées à une mauvaise conduite des reconnaissances.

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

❖ Les erreurs d'échantillonnage

Les erreurs d'échantillonnage découlent du fait que les inférences que l'on tire au sujet de l'ensemble de la population à partir de l'enquête sont fondées sur l'information que l'on a recueillie auprès d'un échantillon de la population et non pas auprès de toute la

population. Outre le plan de sondage et la méthode d'estimation, la taille d'échantillon ainsi que la variabilité de chaque caractéristique sont des facteurs déterminants de l'erreur d'échantillonnage. Les caractéristiques qui sont rares ou qui sont distribuées de façon très différente dans la population auront une erreur d'échantillonnage plus grande que les caractéristiques qu'on observe plus fréquemment ou qui sont plus homogènes dans la population (Favre J. L., 2004).

3.1.2.3 L'erreur humaine

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

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

En pense que 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 de s'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 J. L., 2004).

3.1.3 Face à cette complexité du contexte géotechnique, que faire pour les ouvrages géotechniques ?

Il n'existe pas de bon ou de mauvais sol : ce sont les interactions entre le sol et l'ouvrage qui définissent un contexte, et un risque. Il faut parfois savoir faire appel à des disciplines connexes pour améliorer les connaissances et réduire les aléas. La sensibilité des ouvrages géotechniques vis-à-vis des incertitudes et variabilités géotechniques, deviennent de plus en plus complexes. La surveillance des sites et des ouvrages est un

élément essentiel dans la prise en compte des risques en ingénierie géotechnique. D'une manière générale, elle se fait à trois niveaux :

- **Etudes** : Pour le dimensionnement des ouvrages sols-structures, sont utilisés des modèles paramétrés avec coefficients de sécurité partiels. Ces derniers sont recalés par les investigations sur le terrain, les sondages, les mesures et les essais.
- **Construction et mise en service** : La surveillance et les suivis permettent des ajustements qui constituent une optimisation des ouvrages. Ceci complète donc la recherche d'éléments de prévention et de protection.
- **Retour d'expérience** : Le retour d'expérience qui apparaît à tous les niveaux des activités notamment dans l'expérience du comportement des ouvrages à long terme, permet un réajustement permanent des paramètres et objectifs introduits dans les études. Ce retour d'expérience est un point fort de la prise en compte et de l'évaluation des risques qui permet de mieux maîtriser les coûts, les délais et les aléas.

3.2 Risques naturels

Les explications et les moyens que la science et la technique nous ont procurés, nous qualifions toujours les risques et les catastrophes de « naturels » : les phénomènes sont naturels, pas les risques et encore moins les catastrophes qui sont humains. Les phénomènes naturels sont les manifestations observables du comportement général de tout ou partie du système terrestre : leur évolution continue mais pas monotone modifie sans cesse le géomatériau et par là, affecte plus ou moins notre environnement ; à certains moments et dans certaines circonstances, ils produisent des événements intempestifs parfois dangereux, au pire destructeurs d'ouvrages et/ou de vies. (Martin P., 2005 ; Martin P., 2007).

Du point de vue géotechnique, les mouvements du terrain constituent la classe la plus vaste de phénomènes naturels, et la plus étudiée, tant par leurs localisations quasi globales que par le nombre et la variété de leurs formes, de leurs manifestations et de leurs effets.

Les mouvements de terrain sont les effets de la gravité sur le matériau terrestre, associée à des événements déclencheurs, séismes, fortes précipitations, excavations naturelles ou artificielles. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour) (Martin P., 2007). Ils peuvent se traduire par des glissements de terrain, éboulements, coulées boueuses, gonflements, affaissements, etc.

3.2.1 Glissements de terrain

Les glissements sont des mouvements qui affectent des pentes limitant des massifs plus ou moins structurés, constitués de matériaux meubles, plus ou moins argileux et sensibles à l'eau, dont la stabilité n'est qu'apparente ; péripéties spectaculaires d'histoires qui peuvent être longues et tortueuses (Martin P., 2007).



Figure 2.2 Glissement de terrain du chemin communal de Mostaganem (LTPO, 2012)

3.2.1.1 Les causes probables des glissements de terrain

Les causes des glissements de terrain sont généralement liées à des instabilités des pentes. Mais ils ont rarement une cause unique, c'est le plus souvent l'action conjointe de plusieurs facteurs négatifs qui sont (Mezhoud L., 2007) :

- La nature des terrains constituant le site et plus généralement l'ensemble des données géologiques et géotechnique ;
- Les diverses formes d'action de l'eau qui est le responsable de l'instabilité des versants argileux. Il circule dans les diaclases des formations lithologiques en provoquant une pression où il s'infiltré dans des fissures de retrait faisant gonfler l'argile et lui faisant perdre sa résistance. Il peut même modifier la structure de certains matériaux argileux ;
- La pente des terrains ;
- Le couvert végétal ou son absence ;
- Effondrement de cavités sous-minant le versant, ou séisme, etc. ;
- Les escarpements de faille qui se forment soit à la suite de l'effondrement du sol rocheux, soit en raison de mouvements verticaux de la croûte terrestre ;
- Fluage (lorsque les vitesses augmentent, ce phénomène est susceptible d'évoluer vers un glissement).

3.2.1.2 Les différentes manifestations

Les glissements de terrain se manifestent généralement par :

- Dans sa partie amont, par des niches d'arrachement ou crevasses, principales et latérales, avec brusque rupture de pente (pente concave) ;
- Dans sa partie aval, par un bourrelet de pied (ou frontal) à pente convexe. La poussée exercée par le bourrelet de pied se marque fréquemment par un tracé anormal des cours d'eau en aval ;

- Des fissures en crête de talus perpendiculaires à la direction générale du mouvement. Sur un profil, on observe une dépression vers le haut et un bombement vers le pied ;
- Le déplacement d'une masse de matériau le long d'une surface de rupture ;
- Une surface topographique bosselée (ondulations, dissémination de blocs de forte taille,...) ;
- Effondrements d'un pan de falaise vertical ;
- Déformation du réseau routier traversant le glissement ;
- Des arbres basculés.

3.2.1.3 Propositions des solutions

Face à un risque de glissements de terrain, une première solution consiste à s'affranchir des mouvements de la pente instable sans les empêcher. Deux types de solutions sont possibles :

- Implanter ou déplacer l'ouvrage d'art ou la route en dehors de la zone en mouvement, dans un secteur reconnu comme stable ;
- Concevoir l'ouvrage de telle sorte qu'il ne soit pas endommagé par les mouvements : soit en résistant aux efforts apportés par le glissement de terrain (solution réservée aux petits glissements), soit en adaptant le mode de construction de sorte que les fondations soient dissociées du sol en mouvement.

Si ce type de solution n'est pas retenu, on est amené à conforter le talus avec l'une des systèmes de parades présentées dans la figure 2.3 ci après. Dans cette étude, on propose une classification des systèmes de parades, basée sur leurs définitions, et leurs types d'approches : douce et dure.

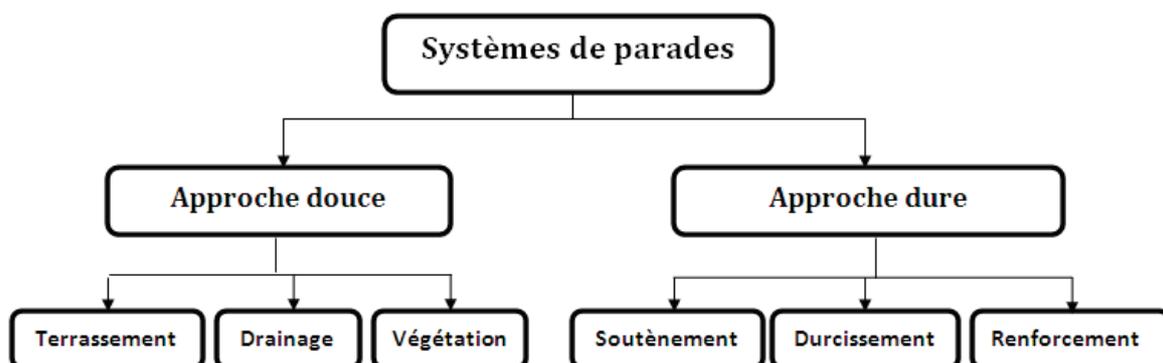


Figure 2.3 Système de parades (Bedr S., 2008)

- **Approche douce** : Une approche douce se définit par l'utilisation de méthodes naturelles, esthétiques, et qui s'attaque directement aux facteurs d'instabilités. Les systèmes de parades qui utilisent cette approche sont représentés par la figure 2.4.

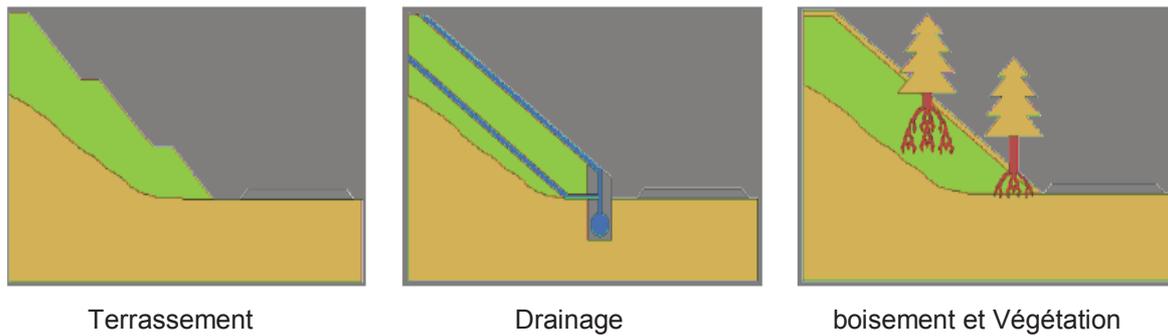


Figure 2.4 Systèmes de parades par approche douce (Bedr S., 2008)

- **Approche dure :** Cette approche s'attaque au problème en modifiant, d'une manière direct, les propriétés, mécanique, physique ou chimique du sol. Les systèmes de parades qui utilisent cette approche sont représentés par la figure 2.5.

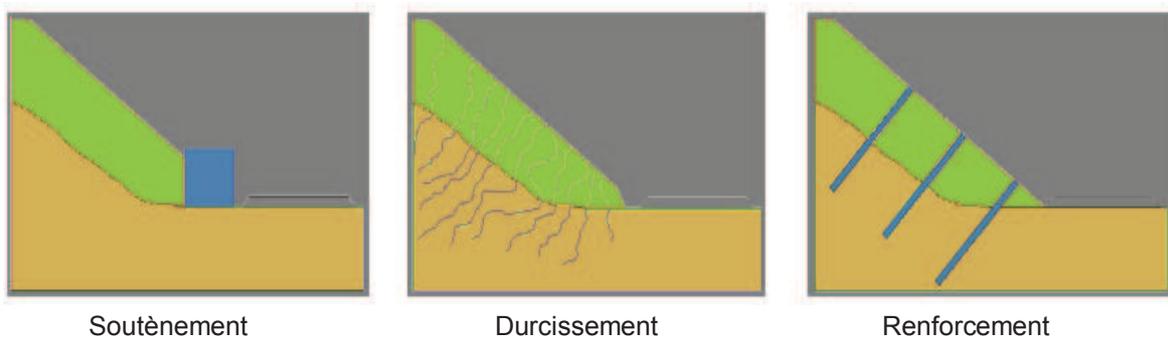


Figure 2.5 Systèmes de parades par approche dure (Bedr S., 2008)

3.2.2 Éboulements

Les éboulements sont des phénomènes discontinus qui affectent des roches cohérentes, impliquant qu'une portion de roche, de volume quelconque, parvienne à se détacher de la masse rocheuse (Calvino A., 2004).



Figure 2.6 L'éboulement de la falaise de Belle Fontaine en 1991 (Ladghem C. F., 2009)

3.2.2.1 Les causes probables des éboulements

Les principales causes d'éboulement sont :

- La nature des terrains et les conditions hydrogéologiques et géologiques ;
- Fluage des assises sous-jacentes ;
- La croissance de la végétation ou au contraire sa disparition ;
- Les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges ;
- L'affouillement ou le sapement du pied de la falaise ;
- Écroulement de la falaise qui limite un massif de roche fissuré ;
- Variations de températures (ex: en montagne, les alternances de gel/dégel fragilisent davantage la roche) ;
- Les séismes représentent un facteur aggravant (ex : une secousse sismique peut provoquer la remobilisation de blocs déjà éboulés et stoppés dans les zones à forte pentes de l'aire de réception) ;
- 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.

3.2.2.2 Les différentes manifestations

Les éboulements se manifestent généralement par :

- Les chutes de pierres ou de blocs ;
- Les éboulements en masse ;
- Ecroulements ou éboulement en grande masse.

Certains éboulements de grande ampleur peuvent mobiliser des volumes de matériaux atteignant plusieurs dizaines de millions de m³ et semblent obéir à des lois de propagation faisant intervenir des mécanismes complexes.

3.2.2.3 Propositions des solutions

D'après Hemri K et al (2010), trois solutions qui peuvent être envisagées pour la stabilisation de talus contre le risque d'éboulement :

- Stabiliser la masse rocheuse : Procèdes qui permettent d'assurer un ancrage optimal au terrain (grillages, filets, béton projeté).
- Implanter des dispositifs de protection : Se sont des dispositifs qui permettent d'arrêter les blocs avant qu'ils n'atteignent la zone à protéger (plantation des arbres, piège à cailloux, barrières de protection...).
- Purger la masse instable : La purge se fait par un abattage à l'explosif ou l'utilisation du ciment expansif.

Quelques techniques de stabilisation de talus rocheux sont présentées par la figure 2.7.

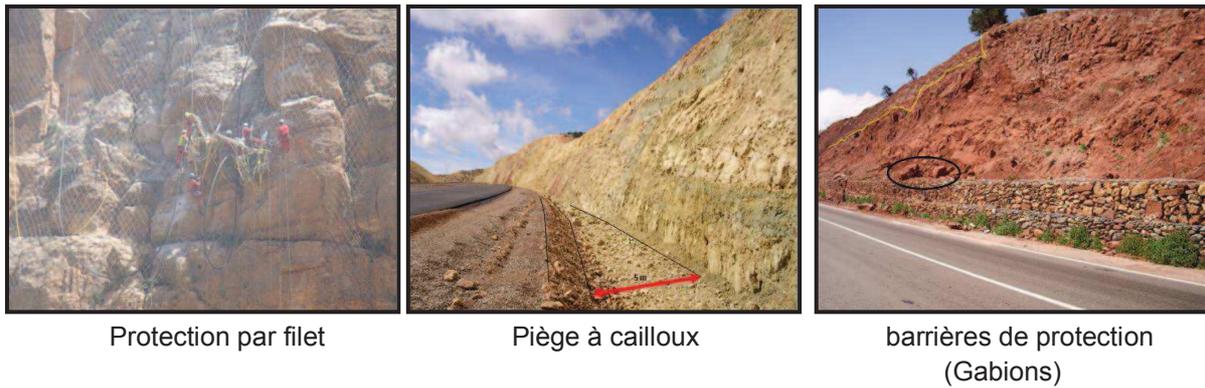


Figure 2.7 Techniques de stabilisation (Hemri K., et al, 2010)

3.2.3 Coulées boueuses

Les coulées boueuses sont des mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. La mise en mouvement de ces matériaux (argiles, des limons, des sols, des roches décomposées ou des éboulis fins...) a pour origine une perte brutale de cohésion.



Figure 2.8 Coulée de boue à Noduwez, dans l'Est du Brabant wallon en 2011

3.2.3.1 Les causes probables des coulées boueuses

Les coulées boueuses ou coulées de boue sont déclenchées souvent sur des versants après de très fortes pluies (pluies torrentielle) ou fonte de neige. L'eau est la cause principale de ce phénomène. 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. Ces coulées peuvent se produire à la suite d'un glissement ou d'une perte de la couverture végétale. L'eau peut pénétrer au sein des matériaux par infiltration avant le déclenchement de la coulée ou au moment de la rupture par concentration des eaux de ruissellement.

3.2.3.2 Les différentes manifestations

Le phénomène de coulée boueuse se manifeste presque toujours par (Ladghem C. F., 2009):

- Une zone supérieure élargie (rassemblement de matériaux par exemple au pied d'un glissement, zone de départ de la coulée) ;
- un chenal d'écoulement beaucoup plus étroit et de longueur extrêmement variable (zone de transfert) ;
- Un lobe terminal (zone d'accumulation) élargi en une sorte de cône de déjection mais de profil convexe ;
- Solifluxion de matériaux boueux sur les versants.

3.2.3.3 Propositions des solutions

Les solutions proposées contre les coulées boueuses sont :

- Favoriser l'infiltration de l'eau afin de diminuer au maximum la formation de ruissellement d'une part, et l'érosion d'autre part ;
- Drainage des sols ;
- Végétalisation des zones exposées au ravinement (permet de protéger les sols, d'intercepter les gouttes de pluies et de limiter la formation du ruissellement) ;
- Correction torrentielle.

3.2.4 Affaissements/Effondrements

Ce sont des mouvements verticaux de terrains qui abaissent lentement ou rapidement. Ils résultent soit d'un fléchissement de la surface, sans rupture visible, soit des ruptures brusques de toits de cavités naturelles. La plupart résultent d'un processus naturel (Martin P., 2005).



Figure 2.9 Affaissement routier à Béjaïa en 2012



Figure 2.10 Effondrement d'une route à Harbin en 2012

3.2.4.1 Les causes probables des affaissements/ effondrements

Les affaissements sont généralement provoqués par :

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

3.2.4.2 Les différentes manifestations

Les affaissements et les effondrements se manifestent par :

- La dislocation et la chute du toit ou des parements des cavités ;
- Effondrement en bloc de l'ensemble des terrains compris entre le fond et la surface ;
- Les terrains s'éboulent en blocs de tailles et de formes variables qui s'entassent aléatoirement en laissant entre eux des vides résiduels ;
- La formation des cuvettes parfois très vastes ;
- Des dépressions, des avens, des gouffres ou des fontis en surface ;
- Déformation de la surface du sol ;
- Des fissures importantes sur les infrastructures routières.

3.2.4.3. Propositions des solutions

Les solutions qui peuvent être envisagées pour le risque de l'affaissement et effondrement sont :

- Maîtrise de toutes les infiltrations d'eau ;
- Empêcher la baisse du niveau des eaux souterraines ;
- Des études de sols pour mettre des mesures constructives (adaptation des constructions au contexte géologique) ;

- Stabilisation par comblement partiel ou total des cavités souterraines (remblaiement total, remblaiement partiel, injection par forages) ;
- Renforcement de la structure d'une construction (réalisation de fondations profondes) ;
- Adaptation de la voirie (renforcement de la structure de chaussée par des nappes de géotextiles).

3.2.5 Le phénomène de retrait-gonflement

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



Figure 2.11 Fissuration due au retrait-gonflement (Ferber V., 2005)

3.2.5.1 Les causes probables de retrait-gonflement

Les facteurs qui interviennent dans le retrait-gonflement sont (Ladghem C. F., 2009) :

- 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.

3.2.5.2 Les différentes manifestations

Ce phénomène est à l'origine des désordres des constructions. Il se manifeste comme suite :

- En période sèche. Il en résulte un retrait des argiles, qui se manifeste verticalement par un tassement et horizontalement par l'ouverture de fissures ;
- En climat tempéré, les sols se réhumidifient, ils gonflent et des soulèvements différentiels qui se manifestent par des désordres.

3.2.5.3 Propositions des solutions

Pour réduire le risque de retrait-gonflement des études géotechniques doivent s'intéresser à certains points pour mettre des mesures constructives qui prennent en compte ces mouvements du sol (INERIS, 2009) :

- Reconnaître et identifier les sols présents au droit de la construction ;
- Caractériser leur répartition spatiale et repérer d'éventuelles hétérogénéités verticales et horizontales ;
- Identifier la présence éventuelle d'argiles gonflantes et en déterminer le potentiel de retrait et de gonflement en cas de variation des conditions hydriques ;
- Repérer l'existence d'éventuels facteurs d'aggravation susceptibles de modifier localement la teneur en eau dans le sol sur la parcelle ;
- Drainage des sols ;
- Traitement du sol (liants hydraulique ou organique).

3.3 Risques anthropiques

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

Il peut s'agir :

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

- **Défrichage:** entraîne le dépérissement des racines des arbres, qui ne peuvent plus jouer leur rôle stabilisateur.

3.3.1 Terrassements

On appelle terrassement, les différents mouvements de terre qui ont pour objet de creuser des fouilles ou de modifier la configuration du sol. Cette modification des niveaux du sol est réalisée par l'exécution de déblais (abaisser le niveau du terrain par enlèvement des terres) et de remblais (rapporter des terres afin de relever le niveau).

Les problèmes rencontrés dans le domaine des terrassements routiers, liés au caractère empirique des méthodes de dimensionnement en vigueur, au non-respect des études géotechniques préalables (pour limiter les aléas dus à la variabilité de nature et de comportement) et le mode de mise en œuvre.

Les mouvements de terrains ne se comptent pas, notamment sur le réseau routier courant, en raison des instabilités glissements de talus, lors des terrassements de la tranchée d'une trentaine de mètres de profondeur, une grande difficulté à y faire tenir des remblais. Les désordres par fissurations ou ruptures de réseaux enterrés de fluides, eau potable, assainissement, etc. Résultent de tassements différentiels longitudinaux et/ou transversaux du lit de pose ou des remblais, ou de chocs lors de terrassements intempestifs à proximité. Les fuites d'eau peuvent accroître les désordres de surface en désorganisant davantage les matériaux environnants, naturels et/ou remblayés et provoquer des accidents de circulation voire des dommages à des ouvrages voisins (Martin P., 2005).

3.3.1.1 Déblais

Les risques consécutifs aux terrassements en déblais sont relativement assez nombreux et plus ou moins graves selon qu'ils se produisent en sites urbains ou en rase campagne. Il s'agit d'éboulements ou de glissements de talus provisoires ou définitifs, d'éboulements de parois provisoires blindées ou non, déplacements ou fissurations de murs de soutènement dus à une sous-estimation de la poussée hydrostatique ou de la poussée des terres, à une surestimation de la butée en pied ou de la traction des ancrages, la décompression ou le gonflement du sous-sol, les vibrations produites par les compactages, les tirs de mines, etc. (Martin P., 2005).

Les facteurs déclenchant les dégradations des talus peuvent être de différentes natures :

- **Nature géologique :** La reconnaissance de la nature géologique du terrain, et les accidents affectant les formations géologiques (failles...), est primordiale pour le dimensionnement des pentes de talus et la définition des mesures de confortement convenables.

En effet les travaux de reconnaissance ont pour objectif l'identification de la nature du sol, son comportement géotechnique. La cartographie des anomalies géotechniques permettra d'identifier la nature des dégradations et de les classées par formation géologique.

- **Nature hydrologique/hydraulique** : Les infiltrations des eaux entraînent d'une part, une désorganisation avec lessivage des matériaux fins et une chute de ces caractéristiques intrinsèques, d'autre part elles exercent une pression interstitielle dans la formation géologique entraînant une dégradation des caractéristiques géotechniques.
- **Nature géométrique** : Les problèmes de géométrie liés aux désordres des pentes de talus ont pour origine :
 - L'inadaptation de la pente avec les caractéristiques géotechniques des formations en question.
 - L'excavation des butées naturelles ou artificielles en pied.

3.3.1.2 Remblais

La construction de la route sur un remblai est souvent confrontée à des anomalies de stabilité et des déformations du remblai. D'où l'importance à accorder à ces zones dès la phase de l'étude du projet. On peut citer les glissements ou tassements excessifs à la suite d'un mauvais choix de matériau ou à une mise en œuvre vicieuse (compactage ou traitement du sol insuffisant), ou bien en raison de la faible résistance ou de la forte compressibilité du sous-sol d'assise, les défauts d'ancrages et de drainage à flanc de coteaux. La surcharge de hauts remblais peut provoquer le soulèvement d'ouvrages mitoyens (Martin P., 2005).

La construction de remblais pose plusieurs problèmes géotechniques. Toutefois on distingue trois problèmes essentiels :

- Le premier concerne la stabilité et la préparation de l'assise d'un remblai, qui pose presque toujours un problème délicat car ce type d'ouvrage est généralement implanté dans un site ingrat, fond de vallée au sous-sol peu résistant, etc. Selon la hauteur à atteindre, on risque le glissement du corps de remblais sur la surface du sol ;
- Le second concerne le choix et la mise en œuvre du matériau utilisé, et la façon dont on le fait pour obtenir un ouvrage stable ;
- Le troisième concerne la stabilité propre de l'ouvrage et en particulier de la plateforme qui est son organe fonctionnel.

3.3.1.3 La stabilité des talus de terrassements

Le talus est un ouvrage qui doit être stable dans le temps. Sa stabilité est définie par les études géotechniques. Le talus peut être en déblai ou en remblai, il peut être technique ou paysager.

La nature des sols ou des roches constituant les talus implique des traitements adaptés. Selon la nature des matériaux, l'angle de stabilité des talus défini par le géotechnicien varie : l'angle de stabilité correspond à la pente maximale pour laquelle le matériau est réputé stable (figure 2.12). C'est la pente qui déterminera l'emprise et les volumes des

terrassements. Les traitements de ces pentes auront donc des conséquences sur l'ampleur des emprises finales (SETRA, 2008).

En déblai, les contraintes géotechniques peuvent imposer un adoucissement des pentes de talus ou à l'inverse autoriser un raidissement de talus rocheux. En remblai, les contraintes de stabilité peuvent nécessiter un adoucissement des pentes de talus ou un renforcement (raidissement des talus limitant l'emprise au sol des remblais) (SETRA, 2008).

La pente de talus d'un remblai, même simplement déversé, est à peu près déterminé par la nature et la compacité du matériau utilisé ; en vieillissant, si aucune action extérieure ne le perturbe, le remblai se compacte sous l'effet de son propre poids et la stabilité du talus, précaire à court terme, s'améliore. Si donc l'assise du remblai a été bien préparé, si le matériau a été bien choisi et correctement mis en place, il y a très peu de risque de le voir se ruiner ; mais la plupart des accidents affectent de bons remblais mal assis ou de mauvais remblais bien assis.

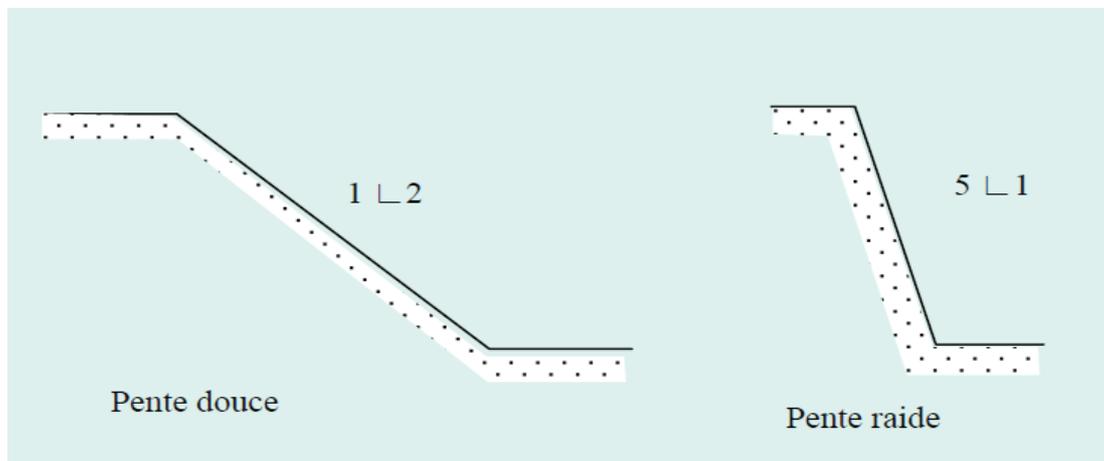


Figure 2.12 Exemple d'angle de stabilité (SETRA, 2008)

3.3.14 Techniques pour la stabilité des talus

- Adaptation des pentes de talus de remblais et déblais ;
- La végétalisation des talus ;
- La valorisation des matériaux ;
- Drainage de l'eau.

3.3.2 Tassements

L'action des charges de fondation sur le géomatériau d'assise modifie son état initial. Cela peut y produire des déformations subverticales, les tassements, dont la répartition, l'amplitude, et les effets dépendront de la position de l'ouvrage dans le site, de ses dimensions, de sa forme et de sa masse, de la rigidité de sa structure ainsi que des caractéristiques de ses fondations. Si le matériau est relativement homogène et les charges régulièrement réparties et d'intensité modérée, le tassement est uniforme et n'affecte presque pas l'équilibre de l'ouvrage et l'état des contraintes dans sa structure ; mais dans la plupart des cas, en raison de l'hétérogénéité du matériau et/ou des charges,

de la dissymétrie géométrique et/ou mécanique de la structure, le tassement diffère selon le point d'appui, ce qui affecte plus ou moins l'équilibre et/ou l'état des contraintes dans le matériau et provoque une certaine distorsion de la structure (Martin P., 2005).

La sécurité et la pérennité d'un ouvrage dépendent donc de l'aptitude de sa structure à supporter les effets de tassements différentiels que sa construction provoquera inévitablement, ou à s'adapter à eux. Les effets des tassements dépendront dans tous les cas, des dimensions, de la forme et de la masse de l'ouvrage, de sa position dans le site, de la rigidité de sa structure ainsi que des caractéristiques de ses fondations (Martin P., 2005).

La définition des fondations d'un ouvrage ne devrait donc pas se limiter au contrôle de l'inéquation qui lie une descente de charge, une surface d'appuis et une contrainte admissible. On s'en contente pourtant presque toujours et parfois, on constate ensuite les effets des tassements négligés.

3.4 Les chaussées

La chaussée est la partie de la route sur laquelle se fait la circulation des véhicules. Elle se compose en générale :

- D'une couche de fondation posée sur la forme (terrain naturel ou remblais), éventuellement, une couche drainante et/ou anti-contaminant peut être intercalé entre la forme et la fondation ;
- D'une couche de base ;
- D'une couche de roulement ou couche de surface avec parfois une couche de liaison entre la couche de base et le revêtement.

Pour l'usager, la chaussée est l'organe essentiel de la route ; de sa qualité dépend sa sécurité et son confort. Du point de vue géotechnique, la construction d'une chaussée de qualité implique que la plate-forme qui va lui servir de fondation, ait des caractéristiques physiques et mécaniques précises, que sa structure soit adaptée à la portance de cette plate-forme et au trafic envisagé, que les matériaux dont elle sera constituée soient de grande qualité et correctement mis en place, que l'ensemble chaussée/plate-forme soit parfaitement drainé.

Les phénomènes des nids de poule, flaches, ornières et autres types de dégradation que l'on voit un peu partout sur les chaussées sont généralement dues au fait que être humain essaie toujours de tricher plus ou moins avec la stabilisation de la forme, avec les épaisseurs et/ou les compositions des couches de fondation et de base et/ou avec le drainage.

3.4.1 Les phénomènes de dégradation des chaussées

Les dégradations sont nombreuses et complexes suivant les types de chaussée. Toutefois, on distingue :

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

3.4.2 Classements des dégradations

On peut distinguer 4 groupes principaux de désordres dans une chaussée souple :

- **La déformation** : Elles prennent généralement naissance dans le corps de la chaussée. On distingue suivant la forme ou la localisation :
 - Les affaissements
 - Les flaches
 - L'orniérage
- **Les fissurations** : Elles peuvent n'intéresser que la couche de roulement ou tout ou partie du corps de chaussée (fissuration avec rupture). on distingue :
 - les fissures
 - les faïençages
- **Les arrachements** : Ces désordres n'affectent que la couche de roulement. On distingue :
 - Le décollement
 - Le désenrobage
 - Les nids de poule
- **Les remontées** : Elles proviennent de couches inférieures et affectent la couche de surface, sauf le ressuage qui, dans le cas des chaussées souples se développe dans la couche de roulement. On distingue :
 - Les remontées de boue

- Les remontées d'eau
- Les boursouffures salines ou champignons (remontées de sel)

3.4.3 Les principales causes de dégradations des chaussées souples

- Le trafic ;
- La nature du sol de fondation ;
- Le dimensionnement du corps de chaussée ;
- La qualité des matériaux et leur mise en œuvre ;
- Les conditions climatiques.

3.4.4 Les causes probables de chaque type de dégradation

Si on considère chaque type de dégradation indépendamment des autres, on peut dresser une liste des causes probables pouvant entraîner un tel désordre étant entendu que cette liste n'est pas limitative (tableau 2.2).

Tableau 2.2 Liste non exhaustive des causes probables de dégradations

Désignation de la dégradation	Causes probables
Affaissement	<ul style="list-style-type: none"> -Sous dimensionnement du corps de chaussée -Tassement du sol de fondation, couche inférieures -Présence d'eau dans le corps de chaussée (drainage insuffisant...) -Pollution du corps de chaussée -Chaussée non calée sur les rives
Boursouffure	<ul style="list-style-type: none"> -Présence de sel dans le corps de chaussée ou remontée d'eau salée par succion capillaire
Décollement	<ul style="list-style-type: none"> -Imprégnation ou couche d'accrochage mal effectuée -Gonflement ou retrait de la couche de bas
Désenrobage	<ul style="list-style-type: none"> -Mauvaise adhésivité liant granulat -Action de l'eau -Action de l'argile (granulats pollués) -Action mécanique des véhicules -Erosion éolienne -Action du sel en zone désertique

Faiçonnage	<ul style="list-style-type: none"> -Dégradation des couches inférieures (couche de base principalement) désagrégation, tassement -Mauvaise accrochage de la couche de roulement sur la couche de base -Perméabilité de la couche de base inférieure à celle de la couche de roulement (remontées d'eau) -La couche de roulement rigide sur couche de base très déformable
Fissure	<ul style="list-style-type: none"> -Joint de deux bandes d'épandage -Rupture ou tassement des couches inférieures -Retrait du matériau constituant la couche de base, la couche de fondation ou le sol de fondation -Mauvaise accrochage de la couche de roulement sur la couche de base -Chaussée non calée sur les rives : accotement non chargés -Géivité le corps de chaussée -Elargissement sous dimensionnée ou mal exécuté -Instabilité d'une chaussée établie sur mauvais remblai
Flache	<ul style="list-style-type: none"> -Compacité insuffisantes de la couche de roulement en un point -Compacité insuffisantes de la couche de la base en un point -Pollution du corps de chaussée -Drainage inexistant -Tassement du matériau
Nid de poule	<ul style="list-style-type: none"> -Evolution finale des déformations des fissurations -Pelade (décollement de la couche de roulement) localisée du revêtement sous effet mécanique -Dégel ou, plus souvent, forte proportion d'eau dans la chaussée
Orniérage	<ul style="list-style-type: none"> -Fluage de l'enrober -Sous dimensionnement du corps de chaussée entraînant le poinçonnement du sol -Circulation lourde et lente (côtes) -Présence d'eau (saturation) dans les couches inférieures de la chaussée

4. CONCLUSION

Généralement, l'identification des risques est mal appropriée en raison de la variabilité intrinsèque des caractéristiques des matériaux et milieux naturels étudiés, et de la méconnaissance des phénomènes en jeu ou de l'incertitude qui pèse sur de nombreux paramètres. Néanmoins on peut dire que les connaissances actuelles sont suffisantes pour prévenir la majeure partie des sinistres.

En guise de conclusion, la majorité des terrains est concernée par le risque de mouvement de terrain, avec des fréquences variables. Leur répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie mais aussi par les eaux souterraines, qui ont une influence majeure sur le comportement des ouvrages géotechniques. Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par les actions anthropiques.

Ainsi nous signalons qu'à peu près la moitié des risques géotechniques et parmi les plus graves, se produiraient durant la construction et ces risques seraient pratiquement toujours les conséquences de fautes d'exécution imputables à l'homme.

Tous au long de ce chapitre nous avons essayé d'identifier les risques géotechniques impactant les projets routiers qui sont de natures différentes. Nous avons trouvé intéressant de pouvoir les regrouper en quatre familles (figure 2.13).

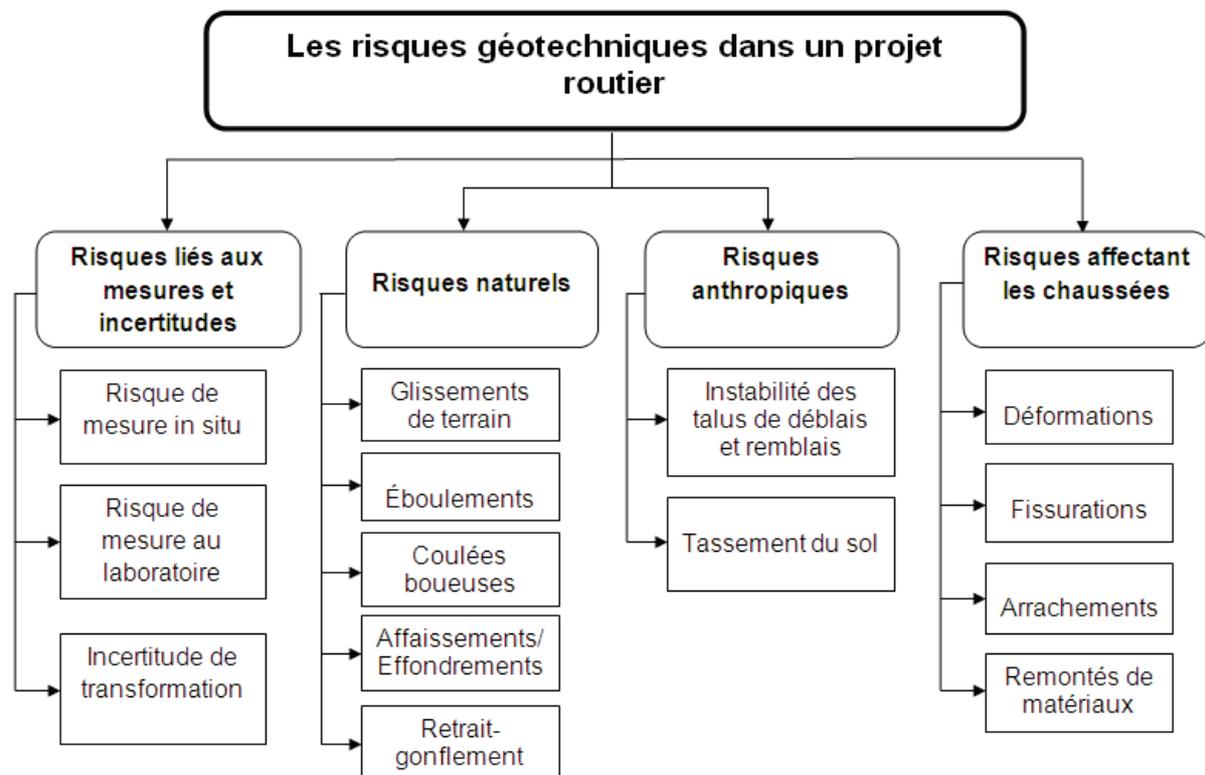


Figure 2.13 Les risques géotechniques dans un projet routier

Donc vu l'impact des risques géotechnique sur le projet, il est indispensable de mettre un système de gestion des risque qui permet de manager, minimiser, partager, transférer ou accepter ces risques.

Chapitre 3

***MANAGEMENT DES RISQUES DANS LE
PROJET ROUTIER***

1. INTRODUCTION

Le management des risques est un processus intégrant plusieurs activités essentielles pour la sécurité. Encore une fois ces dernières sont nuancées, et il se trouve que les termes « management des risques » et « maîtrise des risques » sont employés pour désigner la même étude. Il en est de même pour évaluation et estimation voire aussi appréciation des risques.

Nous avons donc jugé important de proposer une structure globale au processus de management des risques en s'inspirant essentiellement des normes de la sûreté de fonctionnement.

Dans le cadre de ce chapitre, nous essayerons de lever certaines ambiguïtés relatives aux activités relevant du management des risques. Nous suivrons la démarche adoptée pour la maîtrise des risques, c'est-à-dire définition, explication en vue d'une meilleure compréhension des notions de management, identification, évaluation, des stratégies de réponse et contrôle des risques.

Le risque est la combinaison de la probabilité d'occurrence et l'impact. Nous ne pouvons pas le mesurer directement à l'aide d'un instrument, mais nous pouvons mesurer l'ampleur du phénomène. Il est nécessaire, avant de porter la démarche de management des risques, de présenter les différentes méthodes de l'étude de risque.

2. QU'EST-CE QUE LA GESTION DES RISQUES ?

La gestion des risques est un élément central de toute organisation de la gestion stratégique. Il est le processus par lequel des organisations répondront méthodiquement aux risques liés à leurs activités dans le but d'obtenir des avantages dans chaque activité et dans l'ensemble du portefeuille de toutes les activités (AIPCR, 2010).

La gestion du risque permet à une organisation de s'assurer qu'elle connaît et comprend les risques aux quels elle s'expose. La gestion du risque amène également l'entreprise/organisme à dresser et à mettre en œuvre un processus continu destiné à prévenir les sinistres ou à minimiser les désastres. Elles offrent des connaissances ou bien procurent des outils pratiques pour assister la gestion.

La gestion des risques traite toujours de la possibilité d'écarts négatifs ou indésirables et se rapporte à la perte de valeurs ou biens existants. Une approche de gestion du risque est un outil de prise de décision qui permet de concrétiser ce qui est souvent un processus intuitif.

L'ensemble le plus commun de processus inclurait l'identification des risques, l'évaluation, le traitement et le suivi. La figure 3.1 présente un processus de gestion des risques simple.

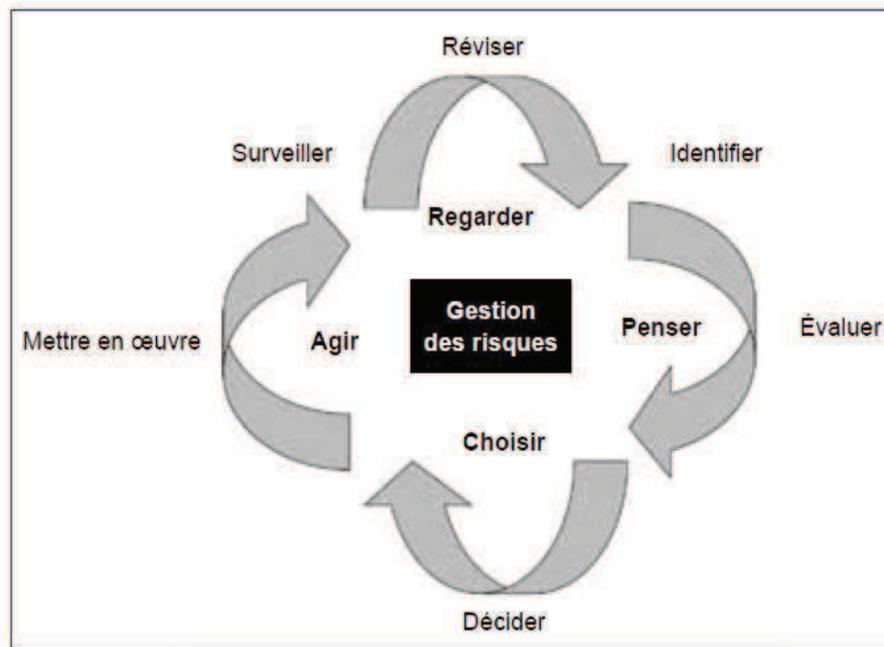


Figure 3.1 Processus de gestion des risques simples
(AIPCR, 2010)

3. APPROCHES METHODOLOGIQUES D'ETUDE DES RISQUES

Le risque est un problème multifacé, il doit être étudié avec des méthodes appropriées pour aider à la prise de décision. Pour évaluer les risques, les gestionnaires utilisent des processus très systémiques. Dans ce genre d'approche, les entreprises ont l'obligation de définir des concepts intéressants qui facilitent l'appréhension des problèmes de sécurité ou plus généralement des dangers.

Mitchell et al (2004), commencent par comprendre le risque avant de passer à l'évaluation (voir figure 3.2). La phase de compréhension est décisive. Les sources et les impacts de ou des événements indésirables ainsi leurs fréquences, permettent d'approcher le risque à sa juste valeur (Bouhlali M., 2006).

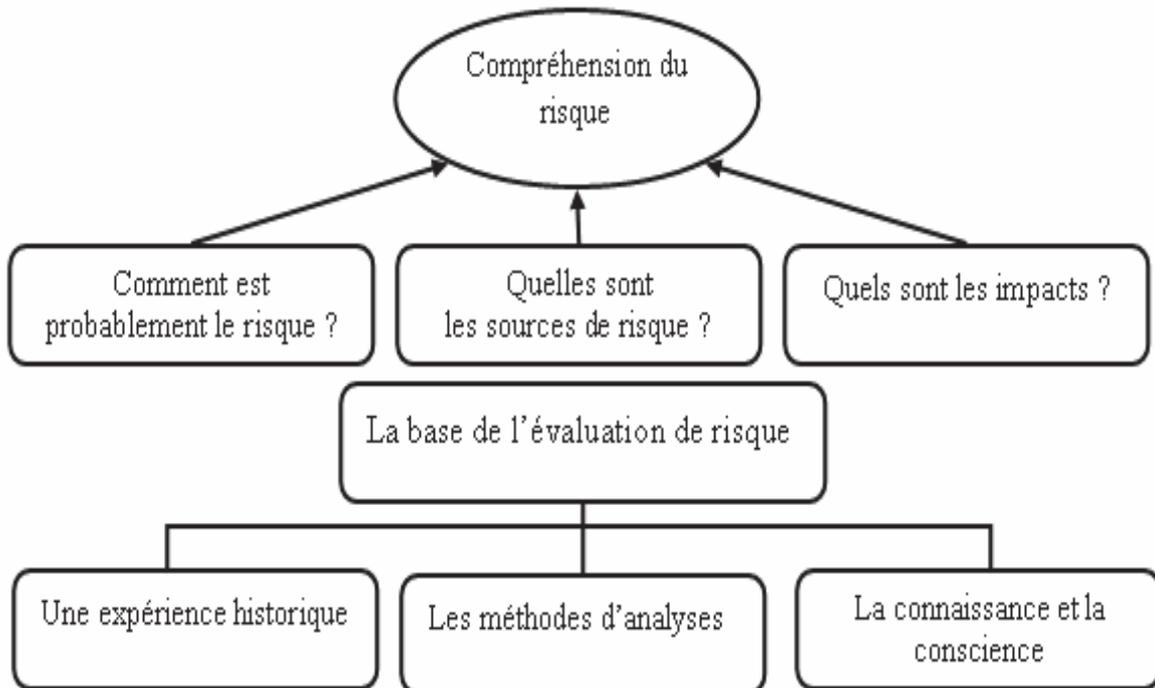


Figure 3.2 Les principaux éléments pour développer la compréhension de risque
(Bouhlali M., 2006)

D'autres approches similaires ont été proposées. Elles sont recommandées quand les conséquences sont catastrophiques. Dans ces cas, une attention particulière est exigée, surtout quand des vies humaines sont en jeu.

Dans la démarche ISO, l'appréciation du risque est une étape importante. C'est elle qui permet l'orientation du management ; Soit le risque est accepté soit, il est maîtrisé ou réduit. La démarche ISO, est présentée schématiquement dans la figure 3.3 ci-après :

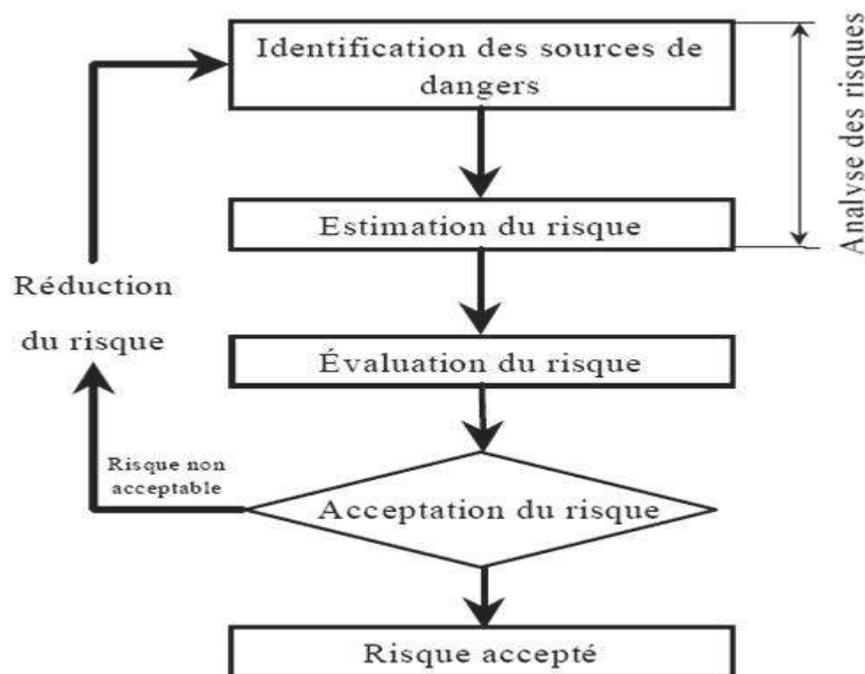


Figure 3.3 Démarche ISO pour l'étude du risque (INERIS, 2003)

Selon l'ISO : « La sécurité est obtenue en réduisant le risque à un niveau acceptable. Le risque tolérable est déterminé par la recherche d'un équilibre optimal entre l'idéal de la sécurité absolue et les exigences à remplir par un produit, procédé ou service, et des facteurs tels que l'avantage pour l'utilisateur, l'adéquation à un usage particulier, la rentabilité et les conventions de la société concernée. Le risque acceptable est obtenu par un processus itératif d'évaluation des risques (analyse des risques et l'évaluation des risques) et de la réduction des risques » (AIPCR, 2010).

4. ACTION ET PHASES DE GESTION DES RISQUES

La gestion du risque se décompose en plusieurs étapes et plusieurs phases d'analyse et d'action. Chacune d'entre elles a des domaines et des exigences propres en termes de zones considérées et de fréquence de réactualisation des informations. Souvent représentées et organisées de façon cyclique, les grandes étapes de gestion sont désignées par :

- **La prévision** : qui est le processus amont fondé sur la modélisation des phénomènes et l'observation régulière de variables représentatives ;
- **L'anticipation** : qui commence dès que les variables atteignent des valeurs définies comme pouvant conduire à des conséquences graves (seuils de préalerte, d'alerte...). Elle permet de préparer les moyens de réponse si la prévision d'évolution vers une situation de crise se confirme (positionnement de matériels, évacuation...);
- **La gestion de crise** : qui a pour but de gérer l'évènement en cours, d'assurer la sécurité des biens et des personnes ;

- **La mitigation** : qui a pour objectif de réduire les conséquences de l'événement grave qui vient de se dérouler. Cette étape inclut notamment les opérations de nettoyage, de déblaiement, de remise en état des voies de communication ;
- **Le retour d'expérience** : qui reprend le déroulement de l'événement et des décisions prises pour le gérer. Cette étape permet de valoriser les informations acquises pendant la crise, d'évaluer les réponses qui ont été apportées pour améliorer la qualité des interventions ;
- **La prévention** : qui tire les conséquences des expériences passées et formule des recommandations pour limiter les effets d'un événement similaire dans l'avenir.

Le risque dépend donc de la fréquence (où la probabilité) et des conséquences. Dans tous les cas, il est estimé de la même manière, mais avec des terminologies légèrement différentes, d'un domaine d'application à un autre. La connaissance et l'estimation, des risques restent insuffisantes. Les systèmes de management de risque efficaces, qui exécutent et soutiennent les mesures à prendre, sont nécessaires pour arriver à des niveaux d'exposition tolérables (Figure 3.4).

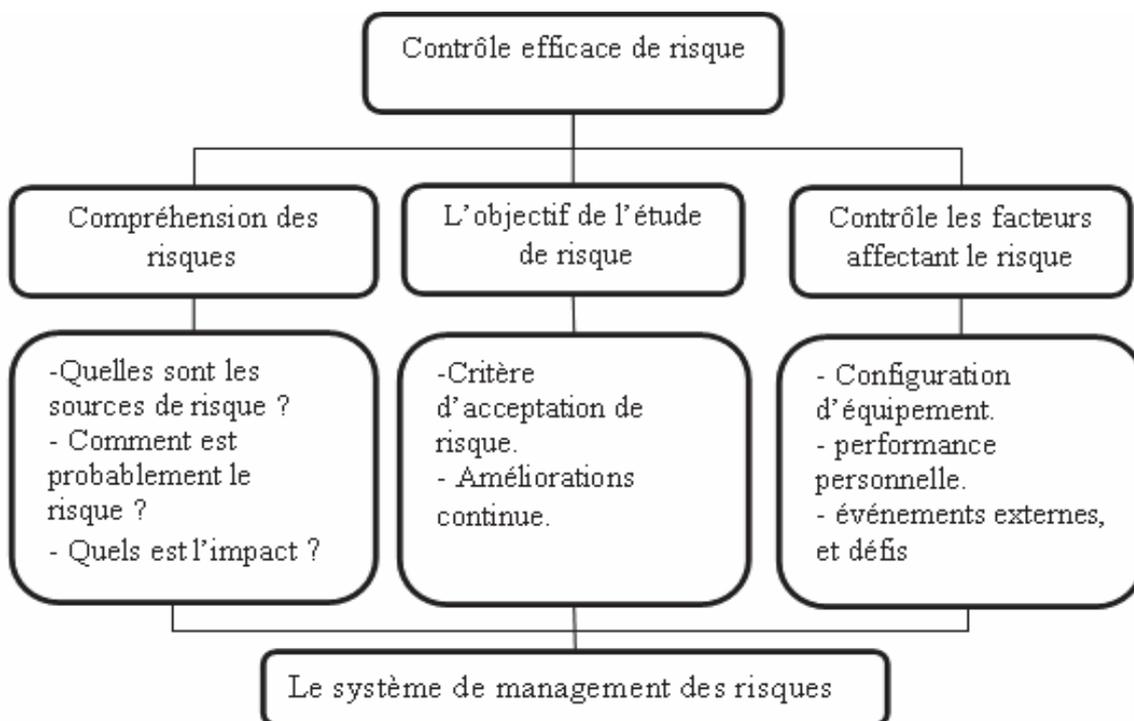


Figure 3.4 Les éléments principaux de management des risques pour différents types (Bouhlali M., 2006)

5. GESTION DES RISQUES DANS LES PROJETS ROUTIERS

La démarche de gestion des risques d'un projet s'appuie en général sur un processus continu et itératif qui vise successivement, à identifier et évaluer les risques encourus, à développer les stratégies de réponse aux risques et enfin à contrôler ces stratégies de réponse. Le processus général de gestion des risques qui a été largement adopté par plusieurs pays est présenté dans la figure 3.5 suivant :

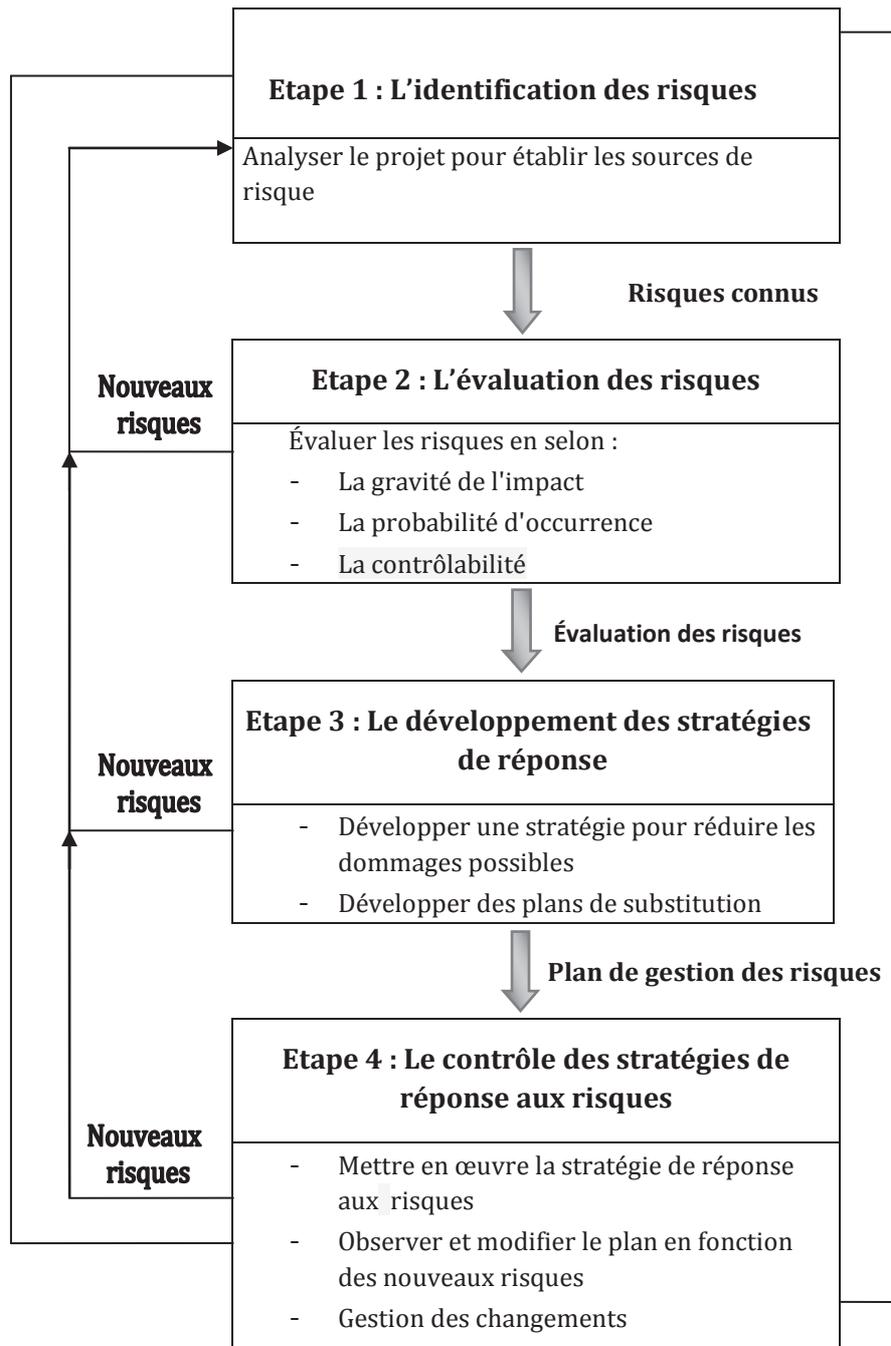


Figure 3.5 Processus de gestion des risques

5.1 Etape 1 : L'identification des risques

Le préalable à toute démarche de gestion des risques consiste à répertorier, de manière la plus exhaustive possible, tous les événements générateurs de risques pour le projet et pouvant conduire à sa remise en cause ou au non respect de ses objectifs. L'identification des risques constitue l'étape la plus importante dans la procédure de gestion des risques.

L'identification des risques c'est un processus de recherche, de reconnaissance et de description des sources de risques, leur(s) zone(s) d'impact, les événements potentiels, leurs causes et leurs conséquences possibles. Le but est de construire une liste des

risques potentiels. L'identification des risques peut faire appel à des outils classiques tels que : des données historiques, des analyses théoriques, des avis d'experts et autres personnes compétentes, brainstorming, etc.

Les risques ne peuvent pas être évalués ou gérés s'ils ne sont pas identifiés et décrits de manière compréhensible.

Un exemple d'une liste non exhaustive des risques géotechniques dans un projet routier sont présenté dans le tableau 3.1 ci-après :

Tableau 3.1 Exemple d'identifications des risques géotechniques dans un projet routier

Les risques géotechniques dans un projet routier	
Risques liés aux mesures et incertitudes	- Risque de mesure in situ
	-Risque de mesure au laboratoire
	-Incertitude de transformation
Risques naturels	-Glissements de terrain
	-Éboulements
	-Coulées boueuses
	-Affaissements/Effondrement
	-Retrait- gonflement
Risques anthropiques	-Instabilité des talus de déblais et remblais
	-Tassement du sol
Risques affectant les chaussées	- Déformations
	-Fissurations
	-Arrachements
	-Remontés de matériaux

5.2 Etape 2 : Évaluation des risques

L'évaluation du risque désigne une procédure fondée sur l'analyse du risque pour décider si le risque tolérable est atteint. Elle revient à comparer le niveau de risque estimé à un niveau jugé acceptable ou tolérable (INERIS, 2003).

Cette étape d'évaluation des risques consiste à évaluer l'aléa (probabilité d'occurrence d'un événement) et à évaluer la vulnérabilité (gravité de l'impact). L'évaluation se fait en fonction des aspects suivant :

- Événement indésirable ;
- Conséquences de l'événement si jamais celui-ci survenait ;
- Ampleur ou gravité de l'impact de l'événement ;
- Probabilité que l'événement survienne ;
- Étape du projet au cours de laquelle l'événement peut survenir ;
- Interaction avec d'autres parties de ce projet ou d'un autre projet.

Il y a toute une gamme d'outils en matière de gestion de risques apparentés à la science, comme les mathématiques et les statistiques, mais généralement l'évaluation fondée sur les meilleures connaissances et les combinaisons de probabilité et d'impact.

L'évaluation des risques est supportée par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les réseaux de pétri, les automates d'états finis, etc. (Mazouni M. H., 2008).

Dans le cadre des approches probabilistes, la phase d'évaluation des risques a pour objet de classer ces risques et de les différencier selon leur acceptabilité, elle est la phase fondamentale de la gestion des risques. Gérer le risque revient à réaliser l'articulation entre optimum économique et acceptabilité du risque (Fumey M., 2001).

Quoique l'utilité des méthodes quantitatives soit indiscutable, ces dernières présentent tout de même un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.). Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant l'évaluation quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.) (Mazouni M. H., 2008).

5.2.1 Outils d'évaluation des risques

La majorité des méthodes d'évaluation classent les risques selon deux axes : l'impact du risque et l'occurrence du risque. La mesure de ces éléments peut être alors exprimée de manière quantitative sous la forme de probabilités, de mesures effectives d'impact ou de manière qualitative souvent exprimée sous la forme d'échelle ordinale (par exemple très élevé, élevé, faible, très faible, etc).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'évaluation des risques. Néanmoins nous pouvons souligner l'utilisation de matrice des risques ou de l'approche AMDEC qui associe notamment à chaque risque une mesure de criticité qui est le produit entre la probabilité d'occurrence, et l'impact .

5.2.1.1 Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets (AMDE)/ et de leur Criticité (AMDEC)

C'est l'outil d'analyse le plus utilisé et l'un des plus efficaces parmi l'ensemble des techniques inductives (on part des causes pour remonter aux effets) disponibles. L'AMDE a été employée pour la première fois dans le domaine de l'industrie aéronautique durant les années 1960 (Mazouni M. H., 2008). Son utilisation s'est depuis largement répandue à d'autres secteurs industriels. L'AMDEC est l'extension de l'étude AMDE quand il est question d'évaluer la criticité des défaillances.

L'AMDE est une technique fondamentale d'identification et d'analyse de la fréquence des dangers qui analyse tous les modes de défaillances d'un équipement donné et leurs

effets tant sur les autres composants que sur le système lui-même (Mazouni M. H., 2008).

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

L'AMDE(C) traite des aspects détaillés pour démontrer la fiabilité et la sécurité d'un système. Elle contient 4 parties primaires :

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

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

Tableau 3.2 Exemple de tableau AMDEC (Kara-Terki D., 2011)

Numéro d'identification	Point/ Identification Fonctionnelle (nomenclature)	Fonction	Les Modes de défaillance et les causes	Effets indésirables			Défaillance de la méthode de détection	Compensation des dispositions	Degré de gravité	Remarque
				Effets locaux	Suivant le niveau supérieur	Fin des effets				

5.2.1.2 Nœud papillon ou la méthode du diagramme causes conséquences

Le « Nœud Papillon » est une approche arborescente développée par SHELL. Il permet de considérer une approche probabiliste dans le management du risque (Mazouni M. H., 2008).

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillances et un arbre d'événements, généralement établie lorsqu'il s'agit d'étudier des événements hautement critiques. Il peut être représenté sous la forme suivante (figure 3.6) :

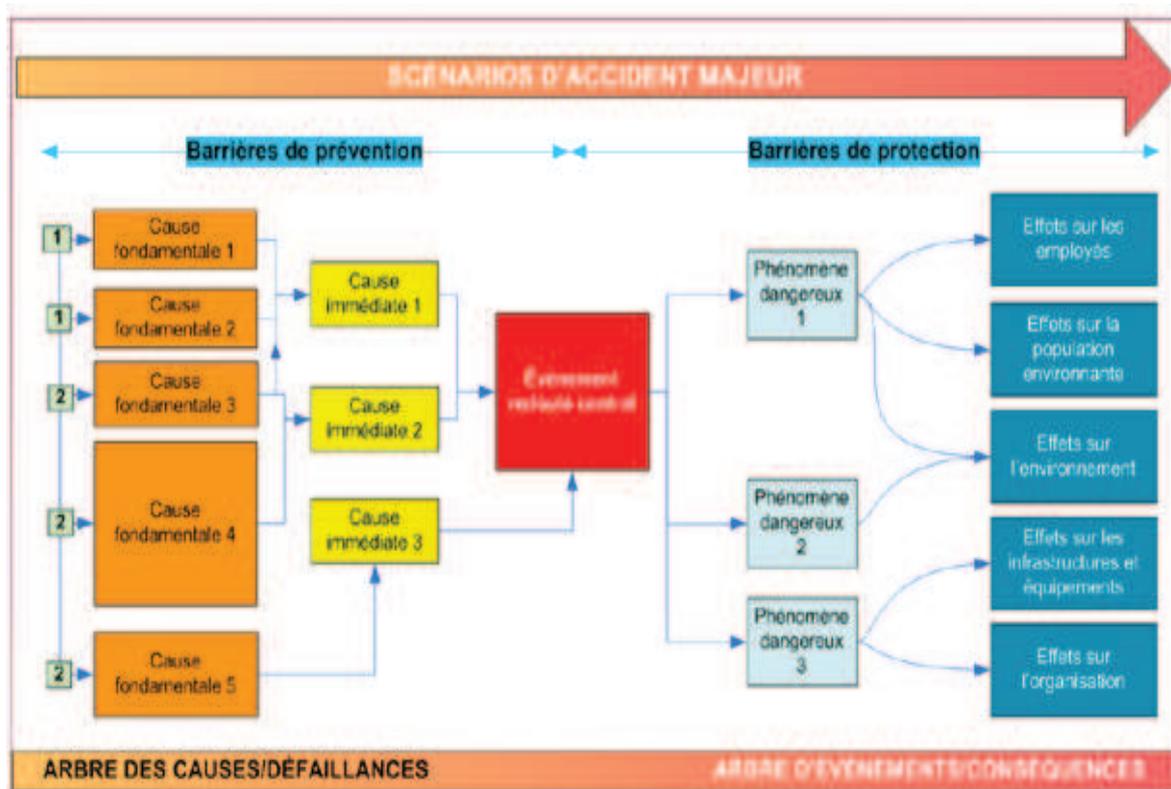


Figure 3.6 Exemple d'analyse par nœud papillon

Le point central du nœud papillon, appelé ici événement redouté Central, désigne généralement une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition). La partie gauche du nœud papillon s'apparente alors à un arbre des défaillances s'attachant à identifier les causes de cette perte de confinement. La partie droite du nœud papillon s'attache quant à elle à déterminer les conséquences de cet événement redouté central tout comme le ferait un arbre d'événements.

Sur ce schéma, les barrières de sécurité sont représentées sous la forme de barres verticales pour symboliser le fait qu'elles s'opposent au développement d'un scénario d'accident. De fait, dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine (événements indésirable ou courant) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des cibles (effets majeurs) désigne un scénario d'accident particulier pour un même événement redouté central.

Cet outil permet d'apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action de barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident.

5.2.1.3 La méthode de simulation de Monte Carlo

Le processus de Monte Carlo est appliqué au management de risque, c'est un modèle qui s'applique pour les systèmes complexes et présente une série de distributions de probabilité pour les risques potentiels, d'un échantillon aléatoire de ces distributions, puis permet de transformer ces chiffres en informations utiles qui reflètent la quantification du risque potentiel d'une situation du monde réel. Bien que souvent

utilisé dans des applications techniques (Par exemple, les performances du circuit intégré, réponse structurelle à un tremblement de terre), des simulations de Monte Carlo ont été utilisées pour estimer les risques dans la conception de centres de service, le temps de compléter les étapes clés d'un projet, le cout de développement, la fabrication et le maintien d'un élément ; gestion des stocks, et des milliers d'autres applications (Kara-Terki D., 2011).

La structure de l'estimation des couts des simulations est souvent additif ce qui signifie que les sommes des couts dans un élément WBS indépendamment de l'approche d'estimation est utilisée pour un élément particulier WBS. La structure des simulations durée est généralement basée sur un réseau de planification, qui comprend des jalons ou des durées pour connaitre les activités qui sont liés à une configuration prédéfinie. Des modèles de performance peuvent prendre sur une variété de structures différentes, qui sont souvent uniques à l'élément simulé, et donc ne suivent pas un modèle simple.

Un résumé des mesures utilisées dans le cadre d'une simulation Monte Carlo pour le coût et le délai. Sa mise en œuvre varie d'une application à un une autre :

- Identifier le plus bas WBS ou le niveau d'activité pour lesquels les distributions de probabilité seront construites. le niveau choisi dépendra de la première phase du programme, souvent des niveaux inférieurs seront sélectionnés pour que le projet avance ;
- Développer l'estimation ponctuelle de référence (Par exemple, le coût ou la durée pour chaque élément WBS ou d'une activité figurant dans le modèle ;
- Identifie le nombre d'éléments WBS ou les activités contenant l'estimation de l'incertitude et/ou de risque. (Par exemple, le risque technique peut être présent dans l'estimation des coûts de certains éléments WBS et planifier les activités) ;
- Développer des distributions de probabilité appropriées pour chaque élément WBS ou d'une activité avec estimation de l'incertitude et/ou de risque ;
- L'ensemble d'élément WBS ou de l'activité des distributions de probabilité fonctions en utilisant un programme de simulation de Monte Carlo. Appliquer cette méthode à l'estimation du cout, le résultat de cette étape est une fonction de distribution cumulative de couts par rapport aux probabilités. Ces outputs ou sorties seront ensuite analysées pour déterminer le niveau de risque, du cout et d'identifier les facteurs de couts spécifiques. La fonction de distribution cumulative représente la durée ou la date de fin du niveau d'activité désirée, mais elle peut inclure d'autres variables aussi. Ces sorties sont ensuite analysées pour déterminer le niveau de risque planning et d'identifier les facteurs du délai précis.

5.2.1.4 La méthode matricielle ou criticité

Les matrices de risques sont probablement les outils les plus utilisés pour l'évaluation des risques. En général, les matrices permettent d'obtenir une classification homogène des risques.

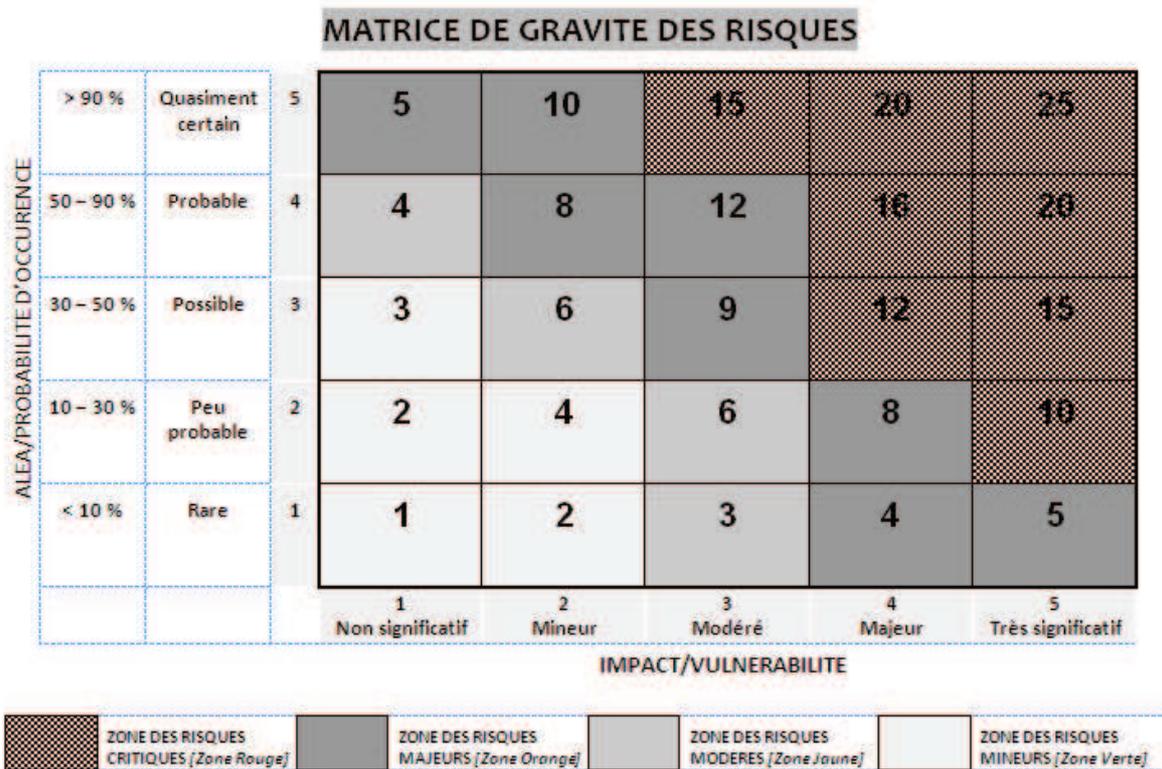
Une matrice de risques doit être quantitative, il s'agit d'évaluer le risque en chiffre. La quantification du risque repose sur différents paramètres dont les principaux sont : la mesure de probabilité d'occurrence d'un événement et la mesure de ses conséquences.

Tout d'abord il faut identifier un certain nombre de scénarios de risques. Pour chacune des conséquences du scénario étudié, la gravité et la probabilité seront évalués de façon croissante. La détermination de l'aléa nécessite l'observation sur site des paramètres permettant la détermination de la sensibilité, de l'activité, et de l'intensité dans chacune des zones étudiées.

Cette méthode repose sur une représentation matricielle qui consiste à placer un point dans une zone de risque, zone que l'on retiendra comme résultat quantité de l'évaluation, la zone est le produit de la valeur probabilité d'occurrence (aléa) par la valeur gravité ou impact (vulnérabilité). Une matrice, conçue selon ce principe de base, est une représentation de la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité.

Le tableau 3.3 représente un exemple d'une matrice de gravité des risques, elle est basée sur l'expérience et le jugement de l'équipe multidisciplinaire.

Tableau 3.3 Exemple de matrice de la gravité des risques



La matrice comprend quatre zones des risques d'où les risques des zones supérieures ont des priorités plus élevés que les risques situés dans les zones inférieurs. Plus le niveau de probabilité est élevé plus l'occurrence de l'événement de risque est plus probable, plus le niveau de probabilité est bas, moins l'occurrence de l'événement de risque est probable.

Les matrices de risques ou matrices de criticité sont établies à partir d'échelles de gravité et de conséquences, lesquelles reposent sur une gestion rigoureuse de l'historique des risques (rapport, traitement statistique, etc.).

Aussi, la quantification suppose la mise en place d'un référentiel qui définit le niveau de probabilité et d'impact afin que tous les acteurs de l'organisation concernée s'entendent sur une même représentation de ces mots sans interprétation possible pour inciter aux traitements des risques (voir tableau 3.4 et tableau 3.5).

En générale, chaque secteur d'activité a conçu des référentiels métiers qui permettent de quantifier de façon homogène les différents risques.

Tableau 3.4 Exemple de classes de probabilité

Risque de niveau 1	Rare	<10 %	Événement risquant de se produire uniquement dans des cas exceptionnels.
Risque de niveau 2	Peu probable	10-30%	Événement risquant de se produire à un moment donné.
Risque de niveau 3	Possible	30-50%	Événement devant se produire à un moment donné.
Risque de niveau 4	Probable	50-90%	Événement probable dans la plupart des cas
Risque de niveau 5	Quasiment certain	> 90%	Événement attendu dans la plupart des cas

Tableau 3.5 Exemple de classes d'impact

	Risque de niveau 1	Risque de niveau 2	Risque de niveau 3	Risque de niveau 4	Risque de niveau 5
	Non significatif	Mineur	Modéré	Majeur	Très significatif
Temps	Résolution qui devrait être finalisée	Résolution nécessitant l'intervention de l'équipe de la direction régionale	Résolution nécessitant l'intervention de l'équipe de la direction régionale	Résolution nécessitant l'intervention de l'équipe de projet dédiée	Résolution nécessitant l'intervention du conseil
Environnement	Risque pour l'environnement sur site maîtrisés immédiatement	Risque pour l'environnement sur site maîtrisés moyennant des efforts soutenus	Risque pour l'environnement sur site maîtrisés en recourant à une assistance externe	Risque pour l'environnement hors site maîtrisés en recourant à une assistance externe	Risque pour l'environnement hors site se traduisant par des effets dommageables
Degré de l'implication de la direction	Événement dont l'impact peut être absorbé par l'activité normale	Événement dont les conséquences peuvent être absorbées mais impliquant la direction pour en minimiser l'impact	Événement majeur pouvant être géré dans les circonstances normales	Événement critique moyennant une gestion correcte	Désastre susceptible de provoquer l'effondrement de l'entreprise

Humaines	Atteinte mineure concernant une personne (blessures légères)	Atteinte mineure concernant plusieurs personnes	Atteinte grave réversible de plusieurs personnes 1 décès	Atteinte grave irréversible Plusieurs décès	Atteinte grave irréversible Plusieurs décès et blessés graves
Matérielles	Domage à un équipement facilement réparable Arrêt partiel de l'activité associée	Domage à un outil de traitement Arrêt de l'activité associée pendant quelques jours	Dommmages entraînant un arrêt total pendant plusieurs jours	Dommmages entraînant un arrêt total pendant plusieurs semaines	Atteinte hors site dommages entraînant un arrêt total pendant plusieurs mois

5.3 Etape 3 : le développement des stratégies de réponse

5.3.1 Stratégie de réponse aux risques

L'objectif de cette étape est de déterminer, pour chaque risque identifié et évalué le type de réponse ou stratégie permettant de le maîtriser et de définir les actions à mettre en œuvre. Cela nécessite donc des décisions qui doivent être prises au sujet de la réponse appropriée pour l'événement spécifique visant soit à réduire les risques (en diminuant sa probabilité d'apparition ou en limitant la gravité de ses conséquences) ou trouver des moyens permettant d'éviter les risques, soit à transférer ou partager sa responsabilité, soit à accepter le risque tout en le surveillant.

Les différentes stratégies de réponse aux risques peuvent être classées selon :

- **Réduction des risques :** La réduction des risques est l'ensemble des actions entreprises en vue de minimiser l'impact du risque (protection) et de limiter la probabilité de réalisation du risque (prévention) ou les deux en même temps.
 - ✓ **Protection :** technique visant à limiter l'étendue et/ou la gravité des conséquences d'un accident sur les cibles vulnérables. Pour cela on peut soit renforcer la défense des cibles, soit réduire la dangerosité des sources de danger (Mazouni M H., 2008).
 - ✓ **Prévention :** Ensemble de méthodes, de techniques et de mesures prises en vue de réduire la probabilité qu'un événement redouté ne se produise. Ces méthodes relèvent de la surveillance, la formation, la réglementation, la répartition des responsabilités, etc. (Mazouni M H., 2008).
- **Évitement des risques :** certains risques peut être réduits par les stratégies de prévention et/ou protection, mais d'autres risques peuvent toujours se produire. Dans ces cas, la gestion des risques doit être dirigé pour trouver des moyens permettant d'éviter les risques, soit en modifiant le plans de projet, soit en utilisant une technologie alternative, etc. Ça pourrait aussi concerner la réduction des temps d'exposition et la multiplication des possibilités d'évitement des situations dangereuses (Mazouni M H., 2008). Cette stratégie consiste à accomplir les actions permettant d'éviter la situation qui génère le risque.

- **Transfert des risques :** transférer le risque ne veut pas dire le changer. Cette stratégie comporte presque toujours un prix. Les contrats à forfait sont l'exemple classique de transfert du risque à partir d'un propriétaire à un entrepreneur. L'entrepreneur paye pour tous les cas de risque qui se matérialise, par conséquent, un facteur de risque monétaire est ajouté au prix de la soumission du contrat. Avant de décider pour le transfert du risque le propriétaire doit décider quel parti peut contrôler plus les activités qui mèneraient à la survenance du risque. La faible probabilité des risques élevés doit être définie pour pouvoir les transférer (les assurer) (Kara-Terki D., 2011). L'assurance est essentiellement l'un des moyens de contrôle du risque, elle est un mécanisme de transfert contractuel des risques. (Fumey M., 2001). Aussi, les garanties de bonne exécution et les garanties en général sont d'autres instruments financiers utilisés pour transférer les risques.
- **Partage des risques :** Certains risques peuvent être transférés, et d'autres risques peuvent être partagés. Le partage des risques fournit des proportions de risque pour les différentes parties. Le partenariat entre un propriétaire et des entrepreneurs a suscité le développement de procédures d'amélioration continue à encourager les entrepreneurs à proposer des moyens innovants pour la mise en œuvre du projet. Habituellement, le coût du risque et les avantages du processus d'amélioration sont partagés sur une base 50/50 entre le propriétaire et les entreprises contractantes.
- **Acceptation du risque :** certain risques sont tellement importants qu'il n'est pas possible d'envisager de transfère ou de réduire l'événement à risque. Le maître d'ouvrage assume le risque car la chance pour que l'événement se produise est minimal. Dans d'autres cas les risques identifiés dans la réserve budgétaire peuvent être simplement acceptés s'ils se concrétisent. Le risque est retenu par le développement du plan de substitution à mettre en œuvre si le risque se concrétise. Plus les efforts de réponse au risque sont donnés avant le début du projet, plus les chances sont pour réussir le projet.

5.3.2 Le plan de substitution

Le plan de substitution est un plan de rechange utile quand un risque prévu devient réalité (Allal M. A., 2008). Le plan de substitution représente des actions préventives qui peuvent réduire l'impact négatif du risque. La négligence de mettre un plan de substitution peut causer au manager un retard ou de reporter la décision d'un recours à mettre en œuvre. La planification d'urgence évalue d'autres recours pour d'éventuelles manifestations prévues avant que l'événement à risque se produise, et sélectionne le meilleur plan parmi les alternatives. La disponibilité d'un plan d'urgence peut augmenter considérablement les chances de succès d'un projet. Le plan devrait comprendre une estimation des coûts et identifier la source de financement. Toutes les parties concernées devraient accepter le plan d'urgence et ont le pouvoir de prendre des engagements. Ces plans seront ensuite communiqués aux membres d'équipes de sorte que la surprise et résistance seront réduites au minimum. Le tableau 3.6 présente un exemple de matrice d'analyse des risques qui comprend les stratégies de réponse et des plans de substitution des événements à risque.

Tableau 3.6 Exemple de matrice d'analyse des risques

MATRICE D'ANALYSE DES RISQUES					
EVENEMENT A RISQUE	ALEA	IMPACT	ACTIONS A ENTREPRENDRE		
			PREVENTIVES	STRATEGIES DE REPONSE	PLANS DE SUBSTITUTION
Glissement de terrain			<ul style="list-style-type: none"> -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Investigation sur les terrains et modélisation 	REDUCTION DES RISQUES/PARTAGE DES RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> -Un system de renforcement avec la technique géosynthétique -Renforcement des talus par clouage - Renforcement des talus par tirants d'ancrage
Coulée de boue			<ul style="list-style-type: none"> -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Adoucir la pente et construire un enrochement pour protéger le talus contre l'érosion -Reboisement des zones exposées au ravinement - bassins de rétention des eaux de pluie -Drainage des sols 	PARTAGE DES RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> -Mise en place des techniques pour modifier les comportements -Déblaiement de la chaussée - Remonter les protections
Retrait-gonflement			<ul style="list-style-type: none"> -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Investigation sur les terrains -Traitement du sol (liants hydraulique ou organique) -Maintenir l'équilibre d'humidité -Adaptation les constructions 	REDUCTION DES RISQUES	
Eboulement			<ul style="list-style-type: none"> -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Stabiliser la masse rocheuse -Ancrage optimal au terrain (grillage, filets, béton projeté, etc.) 	MOYENS PERMETTANT D'EVITER LES RISQUES	

Affaissement/ effondrement			<ul style="list-style-type: none"> -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Investigation sur les terrains -Compactage -Adaptation les ouvrages au contexte géologique -Drainages des sols -Suivi de l'état des cavités 	REDUCTION DES RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> -Injections des coulis cendres-ciment -Comblement des cavités souterraines -Réparation et renforcement des chaussées
Risques liés aux mesures et incertitude			<ul style="list-style-type: none"> -Formation du personnel -Respect des normes -Accréditation suivant la norme ISO 17025 	REDUCTION DES RISQUES	
Instabilité des talus de déblais et remblais			<ul style="list-style-type: none"> -Investigation sur les terrains -Adapter les pentes de talus de remblais et déblais -Drainages des sols -Végétations 	REDUCTION DES RISQUES/MOYENS PERMETTANT D'EVITER LES RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> -Réaliser un système de confortement basé sur l'utilisation des nappes en géosynthétique. -Réalisation d'un remblai stabilisant et un dispositif de drainage adéquat tout en renforçant la structure routière existante. -Construire un contrepoids en enrochement pour stabiliser les <i>talus</i> -Mur de soutènement
Risques affectant les chaussées			<ul style="list-style-type: none"> -Investigation sur les terrains -Drainages des sols -Vérifier le dimensionnement du corps de chaussée -Compactage adéquat -Matériaux adéquats 	REDUCTION DES RISQUES/PARTAGE DES RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> -Réparation et renforcement des chaussées

5.4 Etape 4 : Le contrôle des stratégies de réponse aux risques

Après avoir sélectionné la stratégie de réponse la plus susceptible d'être efficace pour chaque risque, des actions spécifiques et des plans de réponses doivent être développée pour mettre en œuvre chaque stratégie. Le plan de réponse au risque documente les stratégies convenues pour faire face à chaque risque, donne les détails des mesures prévues de gestion du risque et désigne les personnes responsables de la mise en œuvre des mesures prévues. Pour chaque stratégie de réponse une analyse des coûts et d'avantage doivent être envisagée pour la maîtrise des risques.

Au fur et à mesure que le projet se déroule, le portefeuille des risques potentiels doit être réajusté en fonction des nouvelles informations recueillies. Certains risques pouvant disparaître, d'autres apparaître ou d'autres encore, considérés initialement comme faibles, pouvant devenir rapidement inacceptables pour l'entreprise dès lors qu'ils n'ont pu être maîtrisés, le niveau d'exposition aux risques du projet est amené à changer. C'est pourquoi il est important de procéder périodiquement au suivi et au contrôle des risques encourus, et à la prise en compte de l'évolution de la situation de chaque risque.

L'objet de suivi des risques est de mettre à jour la liste initiale des risques identifiés, d'affiner les données caractéristiques des risques déjà connus, de réévaluer leur criticité, de contrôler le plan de réponse aux risques, d'apprécier l'efficacité des actions engagées, et de surveiller le déclenchement des événements redoutés et leurs conséquences. On peut distinguer deux éléments différents dans le suivi :

- Le suivi de l'évolution des risques et des actions : pour cela on suit la probabilité, l'impact, et l'exposition des risques et la mise en place et l'efficacité des actions avec la tendance d'évolution des risques qui est mise à jour régulièrement ;
- La détection du risque : elle s'appuie sur la surveillance des causes des risques et des valeurs des indicateurs. On porte une attention particulière aux risques de faible détectabilité. Si un risque se produit, on lance les actions correctives éventuelles et on met à jour son état.

Tout au long du projet, il est possible que des nouveau risques prouvent être identifier, et donc une modification de plan de gestion des risques est nécessaire pour mettre à jour les risques et la préparation des plans de substitution dans le cas où le risque se produise.

Le contrôle des risques consiste en une prise de décision éclairée, opportune et efficace concernant chaque risque et les plans de substitution. Chaque risque est examiné et l'information recueillie au cours de suivi est passée en revue dans le but de pouvoir déterminer les actions à prendre à son égard. On peut distinguer trois activités différentes de contrôle :

- L'analyse du résultat des activités de suivi et des rapports qui en découlent pour chacun des risques visés ;
- Le choix d'un mode d'action par rapport à ces nouveaux risques ;

- La mise en œuvre des décisions qui ont été prises à l'égard de chacun des risques.

Toutes les modifications proposées sont traitées par l'intermédiaire des demandes de changement, qui doivent être suivies par un processus de contrôle (voir figure 3.7). Presque tous les projets ont une demande de changement en fonction d'un système de contrôle et des procédures de gestion de configuration.

La gestion des changements constitue un élément fondamental du processus de contrôle des risques et du projet. Le gestionnaire doit gérer et contrôler les changements qui surviennent durant la réalisation du projet et s'assurer également de présenter au chef de projet, dans les meilleurs délais, les résultats de son analyse à la suite d'une demande de changement, ainsi que les recommandations d'usage.

Un changement désigne une modification de première importance du projet pouvant survenir de façon inattendue ou, à tout le moins, non planifiée durant la phase de réalisation du projet. Le contrôle des changements constitue un élément essentiel du processus de contrôle des risques. Ces changements peuvent être répartis en plusieurs catégories, dont les trois principales sont liées :

- Au contenu, par des modifications de l'étendue du travail ou des améliorations apportées au produit ;
- À la mise en œuvre des plans de substitution, qui entraînent à leur tour des modifications de l'échéancier et du budget ;
- Aux propositions de l'équipe afin d'améliorer le projet.

Le gestionnaire doit évaluer les répercussions du changement sur le projet, et notamment s'assurer des effets sur le projet aux plans de :

- La planification structurelle
- La planification organisationnelle
- La planification opérationnelle
- La planification budgétaire

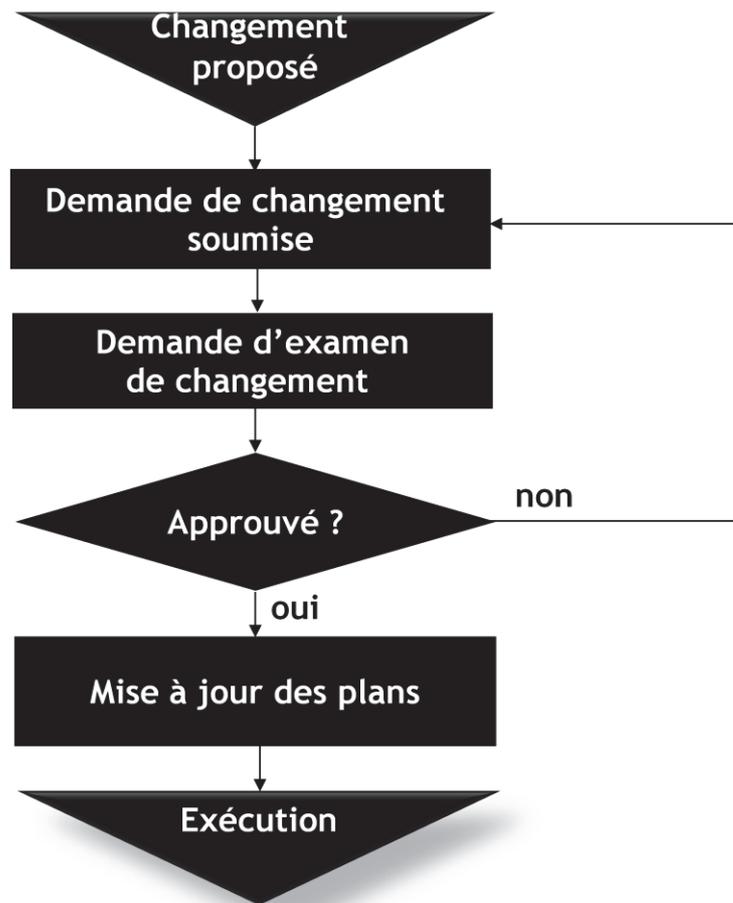


Figure 3.7 Exemple de processus de contrôle de changement (Allal M. A., 2008)

Le management des risques d'un projet nécessite enfin de capitaliser le savoir-faire et les expériences acquises et d'établir une documentation rigoureuse sur les risques associés au projet. Cela doit permettre d'enrichir la connaissance des risques potentiels et dommageables, d'accroître la réactivité à chaque niveau d'intervention, de faciliter la prise de décision et d'améliorer l'efficacité des actions de maîtrise.

Pour cela, il convient, d'une part, de formaliser un certain nombre de documents spécifiques (Plan de Management des Risques, Dossier de Management des Risques, etc.) permettant d'assurer la traçabilité des risques rencontrés, des actions engagées, ainsi que les résultats obtenus. D'autre part, il convient d'organiser et de planifier la collecte et le stockage des informations utiles. Cette capitalisation et cette documentation des risques doivent être effectuées de manière périodique afin de donner l'état global des risques encore encourus et d'apprécier l'état d'avancement des actions de maîtrise mises en œuvre.

6. Retour d'Expérience (REX)

Le retour d'expérience est le fait d'exploiter des connaissances historiques archivées afin de dégager un savoir-faire en matière de management des risques (Mazouni M. H., 2008).

La mise en place d'un processus de REX implique plusieurs acteurs et beaucoup de facteurs. Il convient qu'une équipe soit chargée d' :

- Extraire, formaliser et archiver les scénarios de risque de façon à constituer une bibliothèque de cas types par recours aux techniques d'acquisition, modélisation et formalisation des connaissances ;
- Exploiter les connaissances historiques archivées afin de dégager un savoir-faire en matière de management des risques.

Généralement, le processus de REX nécessite l'analyse et l'examen des phases suivantes : collecte de données, traitement de données, stockage de données, exploitation de données, et proposition de recommandations :

1. La première phase (collecte de données) consiste à recueillir le maximum de données, à s'intéresser à toutes les anomalies rencontrées et à faire appel à diverses ressources de recherche d'information. La collecte de données concerne les données relatives à l'opérateur humain, à son environnement interne ou externe, au système technique, à l'organisation du travail, aux procédures et aux éventuelles interactions entre ces composantes.

2. La deuxième phase (traitement de données) passe par une analyse des circonstances, des faits, des mécanismes et des causes des accidents potentiels. Elle permet de reconstituer la chronologie des faits, d'établir les scénarios à risque et d'évaluer les conséquences. Cette phase ne doit pas se limiter à l'analyse des causes primaires ou apparentes, mais à établir, par exemple, un arbre de causes permettant de mieux identifier les mécanismes générateurs d'accident.

3. La troisième phase (stockage de données) s'attache à mémoriser et archiver dans une base de données les données collectées et analysées. Lors de cette phase, une attention particulière est portée aux possibilités d'exploitation réelle de cette base de données.

4. La quatrième phase (exploitation de données) consiste à exploiter et interpréter les résultats issus des différentes requêtes d'interrogation de la base de données. L'objectif principal est d'extraire l'événement réellement prédictif, de prendre en considération les cas isolés et de prédire ou d'imaginer les futurs éléments qui vont être insérés dans la base de données comme étant de nouveaux scénarios d'accident ou d'incident.

5. La cinquième et dernière phase (proposition de recommandations) consiste à définir et identifier les mesures adéquates pour limiter la reproduction d'un scénario à risque. Il s'agit de mieux tirer profit des enseignements de l'expérience acquise pour améliorer la sécurité. Les recommandations visent la réduction du risque (probabilité/gravité) grâce à des mesures de prévention pour minimiser la fréquence d'occurrence d'un scénario

d'accident et des mesures de protection en vue de réduire la gravité de ses conséquences. Ces recommandations se traduiront par des actions de maîtrise agissant sur les facteurs humains, la technologie, l'environnement, l'organisation, la réglementation, les procédures, la documentation, etc.

Le retour d'expérience sur la gestion des risques est largement ressenti comme une nécessité par de multiples acteurs impliqués dans la gestion des risques. Il permet d'améliorer la connaissance du système par l'observation, le recueil, l'analyse, le traitement des informations relatives au fonctionnement réel du système, à son environnement. Le retour d'expérience joue un rôle important dans la prise de décision, il permet de raccourcir les délais et apporter davantage une meilleure fiabilité en termes de résultats.

7. CONCLUSION

Le risque nul n'existe pas, pour atteindre les objectifs d'un projet et assurer sa pérennité, on doit lui associer le management des risques. Ce dernier s'appuie essentiellement sur la maîtrise du coût, délai ainsi que les performances techniques, c'est en quelque sorte une clé de réussite pour les entreprises. Il s'appuie aussi sur l'aide à la décision qui consiste essentiellement d'utiliser des outils mathématiques pour l'évaluation des risques. Cette dernière permettra d'estimer la probabilité et la conséquence des événements.

Pour la réalisation d'un projet routier, les risques peuvent être acceptés en mettant tous les moyens pour les gérer, les transférer, les partager, ou bien les éviter.

Le retour d'expérience est un aspect important pour l'amélioration du management des risques ainsi que la mise en place d'une banque de données au sein d'un système.

Chapitre 4

***RESILIENCE DES RISQUES
GEOTECHNIQUES DANS LE PROJET
ROUTIER***

1. INTRODUCTION

Après chaque événement à risque plus ou moins important, il est regrettable d'enregistrer d'une façon récurrente des dégâts colossaux touchant les infrastructures routières. Devant ces risques il est nécessaire que les organisations ou les entreprises mettent en œuvre le processus de management des risques afin de définir les actions préventives et les mesures de protection pour réduire les effets négatifs.

Il est clair que le projet routier comporte plusieurs risques géotechniques. Ces risques ne peuvent être ni suffisamment prévus à l'avance ni totalement évités, mais il est possible d'atténuer leurs gravité moyennant certaines mesures préventives, pensées bien avant le déclenchement de l'événement à risque et mises en place pour une bonne partie avant la survenance du risque. Le reste des mesures préventives est mis en place lors et après le risque survenu.

L'organisation doit mettre en œuvre donc une démarche de gestion des risques pour l'identification, l'évaluation et le contrôle des défaillances et pour gérer la survenue d'événements à risque. Récemment, la notion de résilience est à l'origine d'approches visant à combler un ensemble de lacunes des approches classiques de management des risques. La résilience impose la nécessité de réfléchir aux sources des vulnérabilités pour prendre les mesures préventives contre ces risques.

Cette nouvelle stratégies vise, non pas à s'opposer à l'aléa, mais à en réduire au maximum les impacts. Avant de détailler cette nouvelle forme de gestion du risque, il faut définir la résilience, concept polysémique, puis aborder sa mesure pour le rendre opérationnel dans le projet routier.

2. LE CONCEPT DE RESILIENCE

Le terme de résilience vient du latin « Resilio » qui signifie rebondir. La résilience fut d'abord un concept de physique qui mesure la capacité d'un objet à retrouver son état initial après un choc ou une pression continue (Mathieu J. P., 1991). Puis ce concept fut transféré dans différentes disciplines, en psychologie, en écologie et en économie. Lors de ces transferts entre les sciences, le concept se diversifie et devient polysémique (Dauphiné A et Provitolo D., 2007).

- En physique, la résilience est la résistance d'un matériau au choc ;
- En écologie, la résilience est la capacité d'un écosystème ou d'une espèce à récupérer un fonctionnement et/ ou un développement normal après avoir subi un traumatisme ;
- En économie, la résilience est la capacité à revenir sur la trajectoire de croissance après avoir encaissé un choc ;
- En psychologie, la résilience est un phénomène psychologique consistant à prendre acte de son traumatisme pour ne plus vivre dans la dépression.

De nombreuses définitions théoriques de la résilience existent dans la littérature. Les plus pertinentes sont les suivantes :

La résilience est la capacité d'anticiper une perturbation, d'y résister en s'adaptant, et de se rétablir en retrouvant le plus possible l'état d'avant la perturbation (Madni, 2007).

La résilience est la capacité d'un système à maintenir ou à rétablir un niveau de fonctionnement acceptable malgré des perturbations ou des défaillances (Pinel, 2009).

La résilience est la capacité d'un système, une communauté ou une société exposée aux risques de résister, d'absorber, d'accueillir et de corriger les effets d'un danger, en temps opportun et de manière efficace, notamment par la préservation et la restauration de ses structures essentielles et de ses fonctions de base (UNISDR, 2009).

La définition retenue (Dauphiné et Provitolo, 2007) de la résilience est alors comme suit:

La résilience est la capacité d'une organisation ou d'un système à s'adapter à un risque, à en gérer ou éviter les conséquences négatives.

3. LA RESILIENCE COMME OUTIL DE GESTION DES RISQUES

La résilience est un outil d'aide stratégique, car il existe un lien entre la vulnérabilité et la résilience : un système plus résilient est moins vulnérable. Or, si la vulnérabilité est un concept négatif, la résilience est un concept dont la connotation est positive. Elle est donc préférée dans de nombreuses études. Cependant cette équivalence n'est pas tout à fait exacte. Certes, un système qui perd une partie de sa résilience devient plus vulnérable. Mais la vulnérabilité intègre deux autres composantes : l'exposition à l'aléa et la résistance. Malgré tout, en augmentant la résilience, il est possible de limiter les dégâts d'un risque naturel ou anthropique. Il est donc souhaitable de favoriser une augmentation de la résilience pour réduire les dommages d'une catastrophe (Dauphiné A., et Provitolo D., 2007).

Une approche par la résilience favorise la mise en place de nouvelles pratiques pour lutter contre les risques. Les ingénieurs ont privilégié les solutions de résistance face à un risque (par exemple, stabiliser la masse rocheuse pour empêcher un éboulement). Mettre en place une stratégie de résilience, c'est accepter la catastrophe, mais tout faire pour en réduire les impacts.

Plus généralement, pour augmenter la résilience, les acteurs peuvent intervenir sur les actions préventives pour mitiger ou réduire les effets d'un événement à risques.

La notion de résilience s'inscrit donc comme un outil d'aide stratégique au service d'une nouvelle forme de gestion du risque, basée sur le lien existant entre vulnérabilité et résilience et visant à réduire au maximum les impacts de l'aléa.

4. PROPOSITION D'UNE METHODE DE GESTION GLOBALE DES RISQUES

Les ouvrages du génie civil ont des particularités qui imposent des méthodes de gestion des risques particulières. Le modèle MADS ou Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes, est très recommandé dans le contexte du génie civil (Verdel T., 1999).

Les projets de construction sont soumis à de nombreux risques, qu'ils soient naturels ou anthropiques. La maîtrise de ces risques est l'un des enjeux importants de la gestion des risques. De nombreux travaux se sont attachés à identifier et évaluer ces risques (Carr et al, 2001). Cependant la complexité inhérente aux projets de construction (multiplicité des acteurs, variété des risques, etc.) rend la gestion globale de ces risques extrêmement difficile. La gestion des risques passe par une bonne appréhension de ceux-ci. Pour cela, il faut nécessairement faire appel à des approches systémiques pour appréhender des événements non souhaités (Verdel T., 1999).

Appréhender consiste à (Verdel T., 1999):

- Représenter les systèmes d'où sont issus (systèmes sources) et sur lesquels (systèmes cibles) s'appliquent les événements non souhaités ;
- Mettre en relation les systèmes source et cible afin de modéliser le processus de danger ;
- Identifier, évaluer, maîtriser, gérer et manager les événements non souhaités dans des systèmes complexes et variés, a priori (prévention) et a posteriori (retour d'expérience).

Dans une optique pragmatique, le danger peut être conçu comme un ensemble de processus potentiels conduisant à un événement non souhaité et pouvant avoir un impact destructeur sur une ou plusieurs cibles. C'est un état d'équilibre métastable dont le facteur de déclenchement éventuel est un événement initiateur qui génère un flux de matière ou d'énergie entre une source et une cible de danger (Périlhon, 1999).

Le processus de danger est le modèle de référence que l'on constitue en (Verdel T., 1999) :

- Représentant de façon générale les systèmes source et cible (représentation de la structure ou du fonctionnement ou de l'évolution interne). Cette phase permet l'acquisition des connaissances sur les systèmes source et cible ;
- Représentant les processus de danger (processus source de danger et processus d'effet du danger) ;
- Modélisant le processus de danger. Il s'agit de relier les processus sources de danger aux processus susceptible d'être affectés au niveau de la cible du danger. La liaison s'opère en modélisant un flux de danger, liaison orientée source-cible. Cette représentation est immergée dans un champ de danger, tapissé de processus qui peuvent influencer l'état du système source, des processus sources du danger, du flux mais aussi du système cible.

Selon Saoulé B, (2002) : «Le flux de danger peut être constitué d'énergie, de matière ou d'information. Il est généré par un événement (ou processus) initiateur d'origine interne ou externe. Ceci se déroule en plusieurs phases, d'abord l'occurrence d'un facteur de déclenchement (événement initiateur) qui génère un flux de danger entre les constituants du système global faisant de l'un d'eux une source et d'un autre une cible de danger. Un " Evénement Non Souhaité " se produit alors et peut générer un dommage subi par la ou les cibles, qui peut être de surcroît accru par un processus renforçateur » (Mazouni M. H ., 2008). La figure 4.1 illustre les modes de représentation.

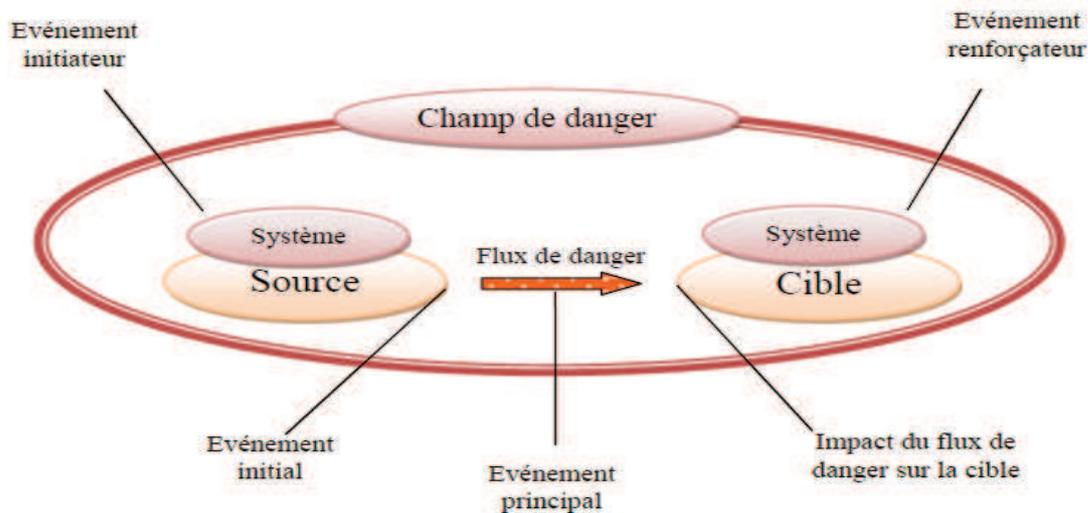


Figure 4.1 Processus de danger du modèle MADS (Perilhon, 1999)

Ce modèle est complètement transposable à un système global de gestion des risques. C'est vers le système cible que toute la stratégie de sécurité sera orientée. Le système source repose sur l'ensemble des risques définis et inventoriés après recensement ou analyse.

Donc, cette méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes (MADS) consiste à identifier, analyser, maîtriser, gérer et manager des événements non souhaités :

- L'identification des événements non souhaités consiste à les localiser au niveau du processus de danger (recherche de l'origine des flux de danger, recherche des effets créateurs ou amplificateurs des flux, recherche des effets provoqués sur les systèmes cible) ;
- L'analyse des événements non souhaités consiste à effectuer une analyse de risque à l'aide d'outils identifiés (probabilité, gravité). Les échelles d'évaluation peuvent être quantitatives ou qualitatives ;
- La maîtrise des événements non souhaités consiste à agir pour diminuer la probabilité d'occurrence ainsi que la gravité (au niveau du système source, c'est la prévention ; au niveau du flux de danger avant son effet sur la cible ou au niveau de la cible elle-même, c'est la protection) ;
- Gérer, manager des événements non souhaités dans le processus de danger, consiste à réfléchir aux actions à mettre en place pour augmenter l'efficacité de

l'identification, de l'analyse et de la maîtrise des processus de danger. Les tâches de gestion et de management sont des tâches d'organisation et de pilotage.

La mise en œuvre pratique de MADS a été formalisée dans une méthode appelée MOSAR, méthode d'analyse des risques dont les objectifs sont d'identifier, d'évaluer et de maîtriser a priori les risques. Cette méthode nécessite une négociation des objectifs par les acteurs concernés, elle a vocation à intégrer les réglementations spécifiques sans s'en contenter. Elle peut être mise en œuvre selon une approche déterministe ou, quand c'est possible, une approche probabiliste. Par nature, elle met en œuvre des concepts logiques, systématiques et systémiques. Elle a recours aux outils classiques (matrice, tableaux de référence, etc.).

La méthode MOSAR contient deux modules hiérarchiques, un module macro « module A » et un module micro « module B ».

Le module 'A' a pour but d'identifier les dysfonctionnements techniques et opératoires provoquant un événement indésirable. Les scénarios d'accident sont examinés d'une manière macroscopique, autrement dit, sans traiter en détail des aspects fonctionnels du système et de ses interfaces. Principalement le module 'A' se décompose en 5 étapes (figure 4.2) (Mazouni M. H., 2008) :

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

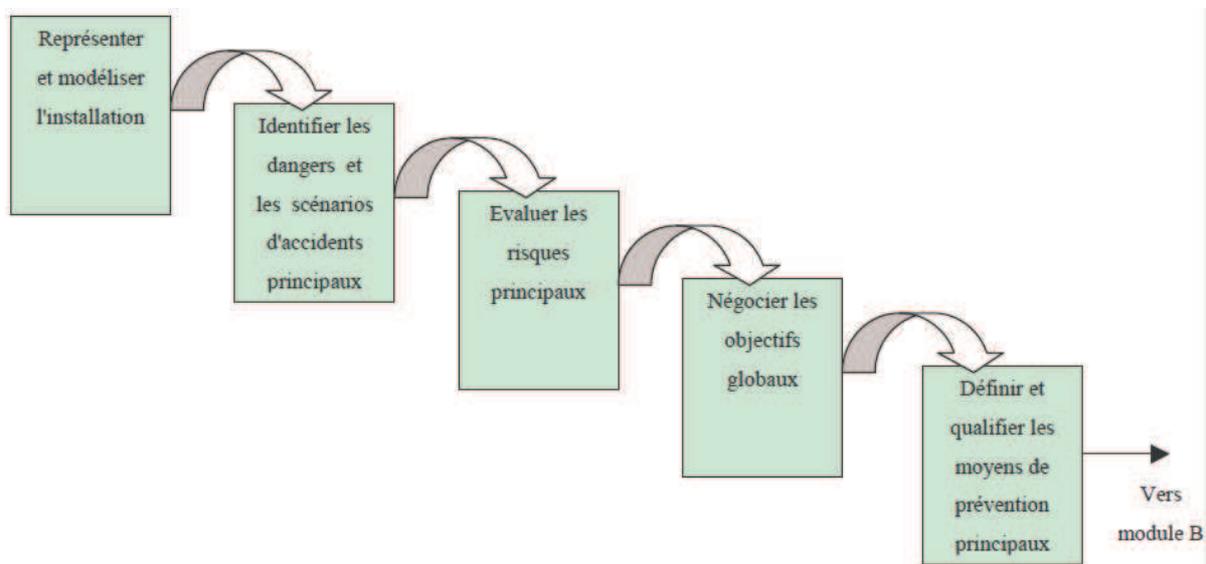


Figure 4.2 Structure simplifiée de MOSAR module 'A' (Mazouni M. H., 2008)

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

Le module 'B' de la méthode MOSAR qui se présente d'ailleurs comme une suite logique du module 'A'. il permet d'effectuer une analyse plus détaillée des dysfonctionnements techniques et opératoires et aussi de l'impact qu'ils pourraient engendrer sur le système global. Ce module se décompose en 5 étapes (figure 4.3) (Mazouni M. H., 2008) :

- Identification des risques de dysfonctionnement ;
- Evaluation des risques en constituant des arbres de défaillances ;
- Négociation des objectifs précis de maîtrise des risques ;
- Définir les moyens de prévention complémentaires ;
- Gérer les risques.

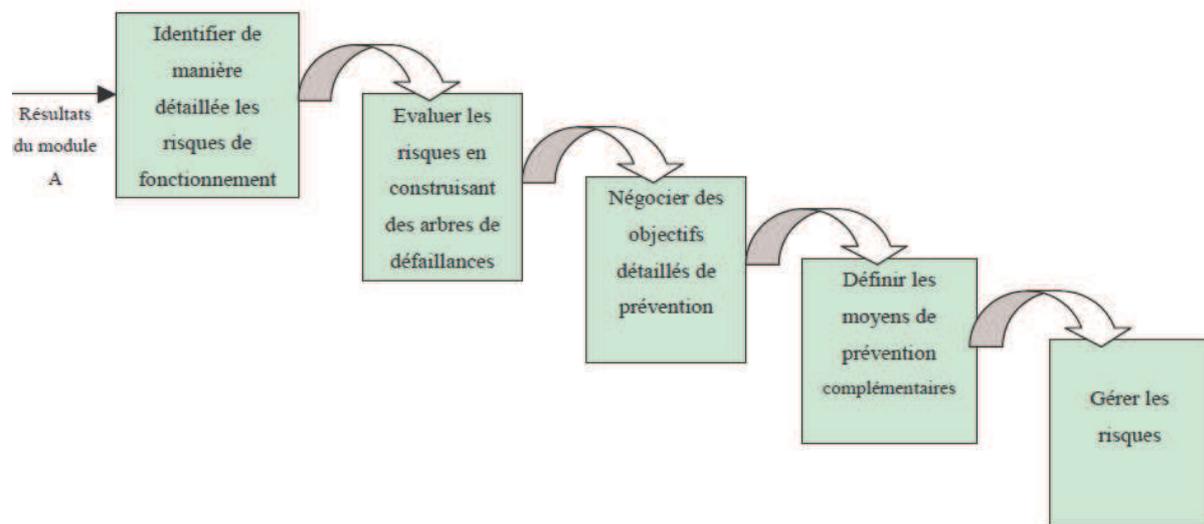


Figure 4.3 Structure simplifiée de MOSAR module 'B' (Mazouni M. H., 2008)

5. RESILIENCE DES RISQUES DANS LES PROJETS ROUTIERS

Les projets routiers présentent plusieurs risques géotechniques d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes et de biens occasionné des dommages importants.

Dans ce contexte, il ya toujours eu une attention portée aux risques géotechniques. Les « ingénieurs » ont toujours traité des risques, des « vrais risques » selon eux. Ils proposent depuis plusieurs siècles une stratégie qui vise à améliorer la résistance des organisations face à un aléa.

Comme il a été défini auparavant, et du point de vue de l'ingénieur, le risque est caractérisé comme une entité à deux dimensions ; probabilité d'une part et gravité d'autre part. Cette définition sous-tend deux approches possibles pour réduire les risques ; la réduction de la probabilité (prévention) et la réduction de la gravité (protection). La prévention vise à réduire un risque avéré, soit en modifiant le danger initiateur du risque, soit en diminuant la probabilité d'occurrence ou la gravité de ses conséquences. La protection vise à mettre des mesures possibles ou la mise en place de parades pour atténuer l'impact des risques.

En vue de l'élaboration d'une stratégie visant à améliorer la gestion des risques dans le projet routier, il est important que les acteurs proposent des mesures afin de prévenir et atténuer les effets négatifs des risques géotechniques. Pour cela, la mise en place d'une stratégie de résilience s'avère nécessaire pour prévoir un ensemble de mesures de gestion qui permet de réduire la vulnérabilité et ainsi, de limiter les dégâts lors d'un événement à risque.

La résilience des risques vise à permettre au management des risques de faire face à la fois aux risques identifiés et aux situations imprévues menaces et vise aussi, à développer un système d'actions permettant de faire face à chacune de ces types de situations. Pour cela, le management de risque met au point la supervision, vise à identifier, évaluer et manager les risques intégrés d'une façon majeure tout en réduisant au minimum leur impact. L'objectif du programme de la gestion des risques est, donc de réduire et d'exécuter le risque en une certaine activité, ou le fonctionner à un niveau acceptable. La réduction du risque est une stratégie de limiter ou de maîtriser les conséquences négatives d'une catastrophe.

Donc, pour augmenter la résilience des risques dans le projet routier, les acteurs peuvent intervenir sur deux dimensions : prévention et protection ou mitigation. Il est possible d'indiquer une démarche pour promouvoir une résilience efficace, et améliorer ainsi la gestion des risques (figure 4.4).

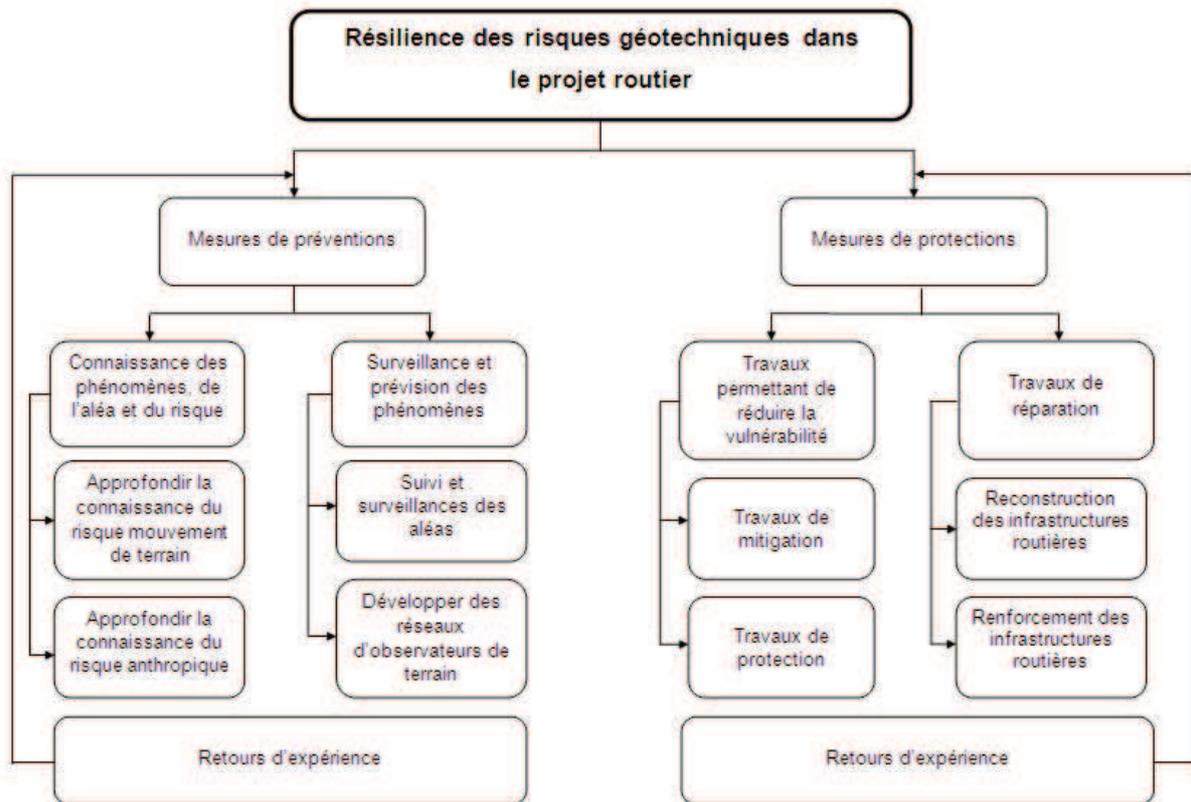


Figure 4.4 Résilience des risques géotechniques dans les projets routiers

5.1 Résilience des risques naturels

Les risques naturels tels que les mouvements de terrain ont un impact négatif sur les projets routiers. On a vu dans le deuxième chapitre que les mouvements de terrain sont très variés par leur nature (glissements de terrains, éboulements, coulées de boues, effondrements, affaissements, gonflement ou retrait des sols) et par leurs dimensions (certains glissements peuvent atteindre plusieurs dizaines de millions de m³).

Afin de prévenir et protéger les infrastructures routières contre ces événements, des mesures sont mise en œuvre pour réduire les vulnérabilités. Des mesures préventives à long terme contre ces risques sont nécessaires en mettant en place une cartographie et une surveillance des risques afin de donner une vision globale des risques encourus. Aussi, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de protection ou diminution de la vulnérabilité afin de minimiser les conséquences négatives de ces risques.

Une approche de la résilience des risques naturels peut être illustrée par la figure 4.5 suivante :

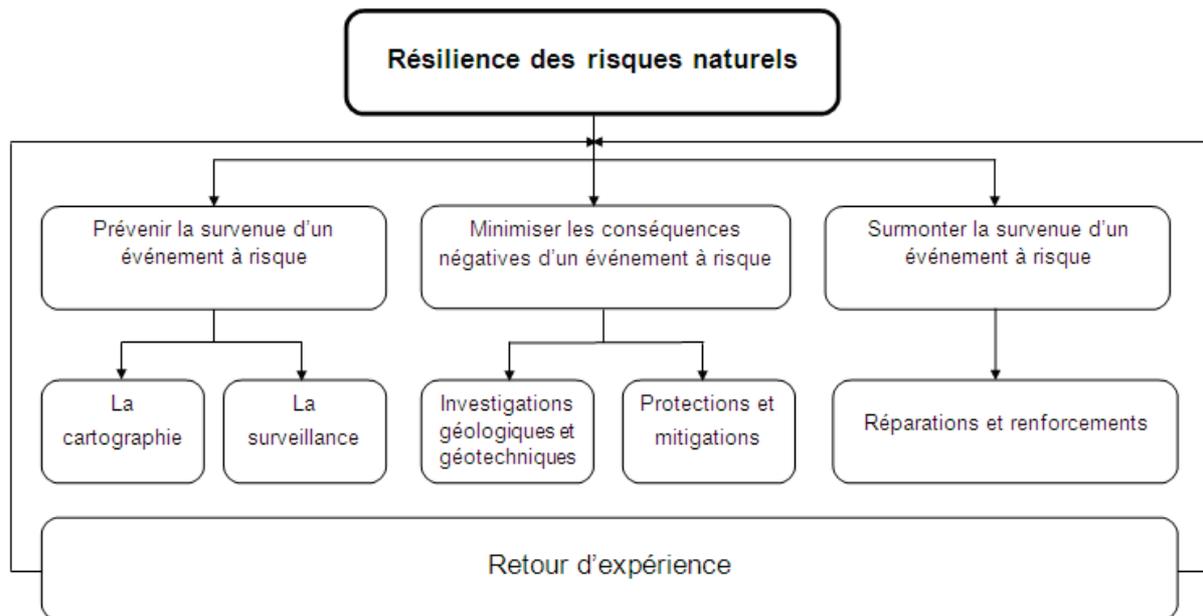


Figure 4.5 Résilience des risques naturels

5.1.1 Prévenir la survenue d'un événement à risque

Cette capacité repose d'une part, sur l'identification de la survenue d'un événement à risque et d'autre part sur l'aptitude à apprendre correctement du passé afin de définir les mesures de prévention.

5.1.1.1 La cartographie

L'outil de cartographie constitue la première étape du plan global de gestion. La cartographie permet l'acquisition d'une connaissance détaillée du territoire, laquelle rend possible la réalisation d'interventions prévues aux autres niveaux du cadre de gestion des risques. Pour ce faire elle évalue les risques en fonction de l'impact qu'ils pourraient avoir s'ils se matérialisaient, et de leur probabilité de survenance.

La cartographie est donc un outil qui permet d'estimer, dans un premier temps, la probabilité d'occurrence d'un phénomène donné en un endroit donné. Elle vise à délimiter les zones pouvant être exposées au risque naturel par une approche probabiliste (ou déterministe) basée sur une analyse fréquentielle de l'aléa (Durville J. L., 2004). Elle s'appuie sur des analyses d'archives, des enquêtes de terrain, des études diverses hydrogéologiques, géotechniques, géologiques, afin de mieux connaître le risque et de le cartographier.

Dans le domaine des mouvements de terrain, le zonage cartographique d'aléa repose, de façon plus ou moins explicite, sur la méthode dite des facteurs de prédisposition (CFG et LCPC, 2000). La prédisposition du site, en général évaluée sous forme qualitative, est considérée comme maximale lorsque tous les facteurs défavorables (pente, nature lithologique, régime hydrogéologique, etc.) sont présents ; elle est considérée comme nulle ou négligeable si aucun n'est présent. Des méthodes statistiques peuvent être employées pour quantifier le poids de chacun des facteurs et pour les combiner en un

indice de stabilité, à condition que les données soient suffisamment nombreuses et que le site soit très homogène du point de vue géologique et morphologique (Leroi et al, 2001) ; le calage du modèle se fait par comparaison avec la répartition des événements connus, actifs ou anciens. Cette prédisposition peut être assimilée à une probabilité ordinale, relative, sans que la probabilité d'occurrence dans un laps de temps donné, soit estimée. L'information apportée par un tel zonage, pour intéressante qu'elle soit, ne peut donc satisfaire complètement le décideur (Durville J. L., 2004).

Nous présentons des exemples de l'outil cartographique utilisés en Algérie et en France pour la prévention des risques naturels en général.

En Algérie, l'outil cartographique est utilisé récemment pour le suivi de l'évolution des risques et pour agir en amont des catastrophes, dont le but de réduire leurs effets et donc pour une meilleure prévention des catastrophes naturelles. La réglementation algérienne exige un dossier cartographique devant être utilisée dans les documents techniques et administratifs et concerne la mise en forme des documents d'urbanisme, des études de « PDAU » et de « POS » et divers actes d'urbanisme.

L'outil cartographique vise à limiter, dans une perspective de développement durable, les conséquences humaines et économiques des catastrophes naturelles dont l'objectif est de :

- Délimiter les zones exposées aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité d'un risque encouru ;
- Délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques ;
- Définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doit être prise dans les zones vulnérables.

Cette approche novatrice en Algérie, de la gestion des risques et de prévention des risques naturelles est un outil important pour le développement durable du pays.

En France, le PPR (Plan de Prévention des Risques naturels) constitue un des outils d'une politique plus globale de prévention, mise en place par le gouvernement. Il est utilisé depuis la loi n°95 – 10 du 2 Février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement. Le Plan de Prévention des Risques délimite les zones du territoire exposées aux risques naturels. Il permet d'interdire ou de réglementer les constructions et aménagements en situation de risque, ou en situation d'aggraver directement ou indirectement les risques pour l'environnement.

Le zonage réglementaire du PPR repose sur l'estimation des risques, qui dépend de l'analyse des phénomènes naturels susceptibles de se produire et de leurs conséquences possibles au plan de l'occupation des sols et de la sécurité publique.

L'élaboration du PPR se traduit par quatre étapes principales qui donnent lieu à la rédaction de plusieurs cartes techniques et d'une carte réglementaire qui sont :

- Une carte informative ;
- Une carte des aléas ;
- Une carte d'évaluation des enjeux ;

- Le plan de zonage du PPR.

Le plan de prévention des risques naturels résulte d'une confrontation des cartes d'aléas et de l'appréciation des enjeux. Il peut également définir des mesures de prévention, de protection, et de sauvegarde, qui doivent être prises par les collectivités publiques et par les particuliers.

5.1.1.2 La surveillance

Cette mesure de prévention a pour but d'avertir ou d'alerter du danger sans s'opposer au phénomène proprement dit. Elle fait appel à des techniques de surveillance et d'alerte dont le principe est de suivre l'évolution des mouvements de terrain et de prendre les mesures de sécurité conservatoires qui s'imposent en cas d'instabilité avérée.

La mise en place d'instruments de surveillance (inclinomètre, suivi topographique, etc.), associée à la détermination de seuils critiques, permet de suivre l'évolution du phénomène, de détecter une aggravation avec accélération des déplacements et de donner l'alerte si nécessaire. La prévision de l'occurrence d'un mouvement limite le nombre de victimes, en permettant le déplacement des populations ou la fermeture des voies de communication vulnérables.

Néanmoins, la combinaison de différents mécanismes régissant la stabilité, ainsi que la possibilité de survenue d'un facteur déclencheur d'intensité inhabituelle (fortes pluies, séismes, etc.) rendent toute prévision précise difficile.

5.1.2 Minimiser les conséquences négatives d'un événement à risques

Cette aptitude relève de la capacité à détecter les risques, à y répondre et éventuellement à modifier son fonctionnement pour y faire face. Cette capacité repose sur l'aptitude du système à minimiser, éliminer et atténuer les effets négatifs causés par les risques. Pour cela, il faut donc se concentrer principalement sur l'environnement géologique et géotechnique de l'ouvrage afin de proposer des mesures pour atténuer les effets négatives des phénomènes naturels.

5.1.2.1 Investigations géologiques et géotechniques

La connaissance de l'environnement géologique et hydrogéologique d'un ouvrage est une condition préalable de l'estimation des risques géotechniques.

La gestion des risques repose sur les investigations géologiques et géotechniques pour l'estimation de l'ampleur des mouvements de terrains, de leur genèse ainsi que leur impact sur les différentes infrastructures environnantes. Les investigations géologiques et géotechniques permettent de comprendre et de préciser les causes conduisant des événements à risque et de suggérer des mesures d'atténuation.

En effet, tout site est susceptible de présenter des aléas géotechniques plus ou moins importants qui peuvent entraîner des risques pour la réalisation d'un projet d'aménagement de site ou de construction d'ouvrage. L'existence de ces risques rend

nécessaire leur gestion et nécessite un certain nombre de reconnaissances géotechniques qui visent à les détecter, les évaluer et les maîtriser.

Dans un projet routier, Les moyens utilisés pour les reconnaissances géotechniques sont adaptés aux différentes phases d'étude.

Il s'agit :

- De l'analyse de la géologie (reconnaisances terrain, analyse des documents existants) ;
- De la géophysique ;
- Des sondages.

a) Analyse de la géologie

L'analyse de la géologie débute par une reconnaissance terrain et se poursuit par l'analyse de documents existants (cartes géologiques, sondages, photos aériennes, etc.). Elle permet ainsi de définir les étages géologiques, la lithologie et la tectonique.

L'analyse de la géologie se réalise essentiellement par :

- Des reconnaissances de terrain par l'observation visuelle ;
- Une analyse des cartes géologiques ;
- Une cartographie de terrain ;
- Une analyse de données d'archives.

b) La géophysique

La méthode doit être adaptée au problème et au site. Il convient donc, avant de retenir une méthode, de :

- Préciser la géologie (position d'interfaces, nature des terrains) ;
- Caractériser des terrains.

Les principales méthodes sont :

- Méthodes de Surface (les méthodes sismiques, électriques et électromagnétiques, etc.) ;
- Diagraphie en sondage (les techniques de Diagraphie de radioactivité naturelle (RAN), microsismique, nucléaires Gamma-Gamma (YY) ou neutron-neutron (NN) et diagraphie par imagerie de parois, etc.).

c) Sondages

Différents moyens de sondages existent, et qui sont :

- Pelle mécanique ;
- Sondages tarières ;
- Sondages destructifs ;
- Sondages carottés ;
- Sondages avec hydrogéologie ;
- Sondages avec essais mécaniques.

Les investigations géologiques et géotechniques rapportent plusieurs informations de base, telles que la nature des sols, la présence des eaux souterraines, des cavités souterraines, etc. La prise en compte de ces informations permet d'identifier les phénomènes qui peuvent être à l'origine de risques. Toutefois, ces risques doivent être réduits de manière acceptable, selon le contexte du site et du projet. Elles devront être prises en compte dans la conception de l'ouvrage géotechnique.

5.1.2.2 Protections et mitigations

La mitigation est la mise en œuvre de mesures destinées à réduire les dommages des risques naturels. Les actions de mitigation incluent des techniques et des méthodes utilisées pour éviter, réduire et contrôler la probabilité d'occurrence du risque. Les risques sont suivis et, lorsqu'ils dépassent les seuils établis, Les actions de mitigation sont déployées afin de ramener l'effort concerné à un niveau de risque acceptable.

Donc, les risques qui dépassent le niveau d'acceptabilité doivent faire l'objet d'actions de traitement (ou de mitigation) pour les « réduire ». On peut alors définir une stratégie de réponse pour chaque risque. Le choix de réponse émane de la décision collégiale des acteurs impliqués dans la maîtrise du risque.

Le traitement des risques incluent le développement d'alternatives pour traiter les risques, le suivi des risques et la réalisation des activités de traitement des risques lorsque les seuils définis sont dépassés. Les mesures de protection des risques sont développées et mis en œuvre afin de réduire proactivement l'impact potentiel de l'occurrence des risques.

Les mesures de protection consistent à minimiser la gravité du phénomène redouté, en rendant impossible son occurrence (dans certaines limites) ou en réduisant ses effets potentiels (vulnérabilité), jusqu'à ce que le risque soit ramené dans le domaine considéré comme acceptable.

Une fois l'existence d'un risque potentiel avéré grâce à l'outil de cartographie et/ou d'une investigation et surveillance sur les terrains, le problème essentiel est celui de la mitigation. Chaque mouvement de terrain est un cas particulier ce qui oblige à chercher la mesure de mitigation adéquate pour chaque cas (murs de soutènement, clouage, filets, reboisement, drainage, etc.). En général, les techniques de stabilisation sont relativement bien maîtrisées pour les petits mouvements de terrains.

Les mesures de protection du risque mouvements de terrain sont basées essentiellement sur le renforcement des zones instables et sur un contrôle de l'occupation des sols. Toutefois, les techniques de parade sont nombreuses et généralement efficaces. Les principales techniques de parades : soutènement, renforcement, drainage, terrassement. Leur emploi est en général satisfaisant, mais on a besoin d'améliorer la connaissance sur l'efficacité à moyen ou long terme des différentes techniques, et parfois d'optimiser leur dimensionnement. D'autres mesures de protection peuvent être envisagées pour réduire l'aléa mouvement de terrain ou la vulnérabilité des enjeux on peut citer les dispositifs de protection contre le risque

d'éboulement, les bassins de rétention des eaux de pluies pour réduire le risque de coulée de boue, comblement des cavités souterraines, etc. La construction adaptée est aussi une mesure de protection en respectant les règles de l'art et en adaptant la structure de chaussée au contexte géologique du site, tous en assurent la pérennité du projet.

5.1.3 Surmonter la survenue d'un événement à risques

Cette aptitude repose sur la capacité à retrouver un fonctionnement normal à l'issue de la survenue d'un événement à risque. Elle dépend de l'échelle des dommages et de la fréquence de l'événement.

5.1.3.1 Réparations et renforcements

Il s'agit de limiter les conséquences d'un risque sur les infrastructures routières en intervenant avec des moyens et des mesures planifiés dans les plans de substitution pour faire face à des risques particuliers.

En effet, pour gérer les cas où le niveau de risque est trop élevé et pour les cas où des mesures de prévention et de protection ne permettent pas de réduire le risque à un niveau jugé acceptable, il convient de déclencher un plan de substitution afin de faire face à l'impact des risques qui peuvent se produire en dépit des tentatives de les mitiger. Le plan de substitution comprend généralement les techniques de réparations et de renforcements les ouvrages et les infrastructures endommagées.

Les mouvements de terrain rapides et discontinus (effondrement de cavités souterraines, éboulement, coulées boueuses), par leur caractère soudain, augmentent la vulnérabilité des infrastructures routières, allant de la dégradation à la ruine totale. Dans ce cas les opérations de sauvetage, reconstruction, évacuation et déblaiement peuvent se déployer pour réparer les dommages.

5.1.4 Retour d'expérience

Le retour d'expérience est une composante forte de la prévention et de la protection des risques qui s'inscrit dans une démarche de capitalisation et de gestion des connaissances et recouvre de ce fait plusieurs notions : la collecte et la mémorisation des informations, le traitement et l'analyse des données, l'exploitation et la transmission des résultats.

Le retour d'expérience, à travers l'analyse détaillée d'un événement passé doit permettre de comprendre son déroulement et de tirer les enseignements utiles pour améliorer la gestion des risques correspondants et renforcer, si nécessaire, la chaîne de prévention. Il se base sur l'expérience acquise afin d'en tirer des enseignements permettant d'améliorer la gestion des risques ; la capitalisation d'expérience semble donc être un outil essentiel à l'amélioration de la gestion des risques.

Toutefois, nous avons pu constater que chaque mouvement de terrain implique une gestion de risques différente en fonction du type de phénomène, du sol et de ses

caractéristiques. Le retour d'expérience contribue à impulser une réflexion basée sur l'expérience, utile pour la gestion des risques mouvement de terrain. En effet, il permet de synthétiser et de capitaliser une multitude d'informations concernant un événement. Il s'agit ensuite de les exploiter et de les comparer avec celles relatives à un nouveau événement à risque, afin de prendre des décisions de gestion pertinentes. Cette réflexion consécutive au retour d'expérience permet de mieux comprendre la vulnérabilité face aux risques de mouvement de terrain dans toutes ses composantes et donc d'agir en faveur de sa réduction.

Finalement, nous constatons que le retour d'expérience contribue à réduire la vulnérabilité face aux risques car l'expérience acquise et conservée, permet d'améliorer les pratiques de gestion des risques au fil des événements à risques.

5.2 Résilience des risques liés aux mesures et incertitudes

Les incertitudes sur les sols et les erreurs de mesures in-situ et/ou laboratoire nécessite une démarche de gestion des risques efficace pour la lutte contre ces risques. Les organisations ou les campagnes géotechniques doivent concevoir et mettre en œuvre une stratégie victorieuse pour préparer contre ces risques, réagir face aux, atténuer leurs effets et évidemment construire un système résilient. La figure 4.6 présente une approche de la résilience des risques liés aux mesures et incertitudes.

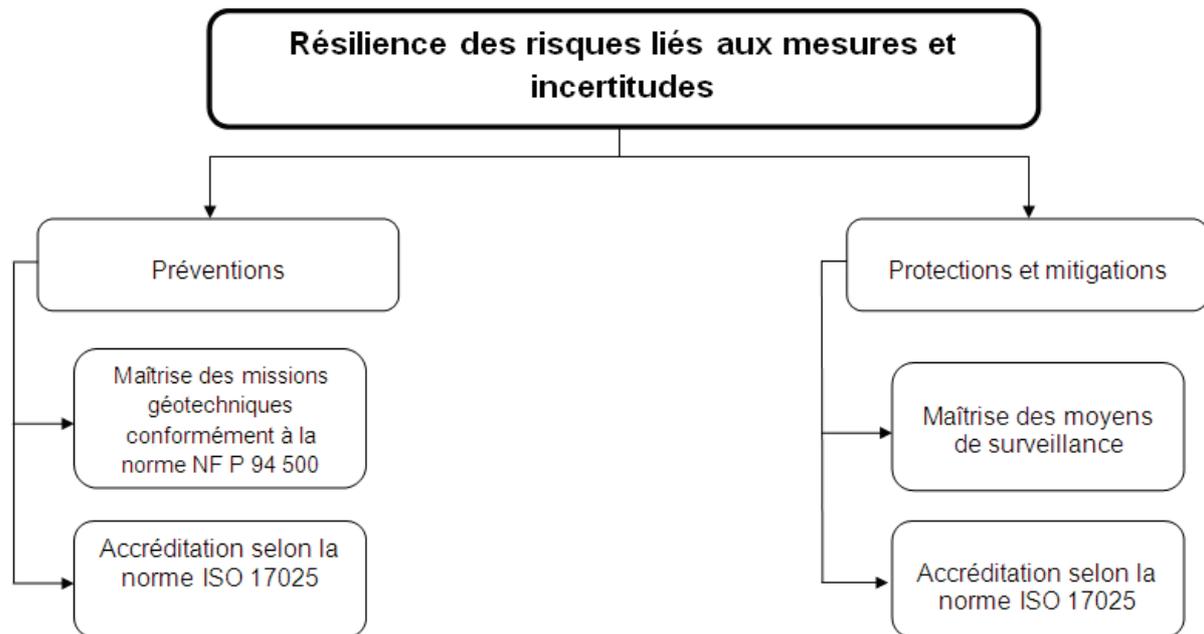


Figure 4.6 Résilience des risques liés aux mesures et incertitudes

5.2.1 Préventions

Pour prévenir les risques liés aux mesures et incertitudes, il faut tout d'abord, que les études géotechniques soient au sens de la norme NF P 94-500 afin de lever un maximum d'incertitudes sur le sol. En suite, il faut que les compagnies de reconnaissances géotechniques respectant les normes. Elles doivent utiliser des méthodes de reconnaissance normalisées ou méthodes validées par un organisme d'accréditation et

elles doivent respecter les activités pour lesquelles sont accrédités. Aujourd'hui le respect de la norme ISO 17025 et l'accréditation qui en découle permet de minimiser ces risques en assurant la fiabilité des mesures.

5.2.1.1 Maîtrise des missions géotechniques conformément à la norme NF P 94 500

La reconnaissance géotechnique est généralement la première phase d'étude d'un projet routier. Cette reconnaissance permet de décrire les différentes couches de sols, leurs natures, leurs caractéristiques mécaniques et physiques, etc. Ces dernières sont déterminées par des mesures in-situ, ou par des mesures en laboratoire sur des échantillons remaniés ou non remaniés.

Le rapport de cette campagne comprend, outre les résultats bruts des observations, essais et mesure, une interprétation géologique et géotechnique et éventuellement des avis et des conseils. On notera que, de manière consciente ou non consciente, un certain nombre d'hypothèses sont introduites à ce stade. C'est ainsi que l'on va procéder à l'interpolation entre les différents sondages ou forages en supposant ainsi la continuité des couches géologiques, ce qui se fait souvent alors que ce n'est pas toujours justifié. De même, on introduira implicitement des conditions d'homogénéité des couches, ou du moins de faible variabilité.

L'ingénieur doit ensuite analyser ce rapport en collaboration, selon la complexité et l'importance du projet, avec des spécialistes d'autres disciplines : géologues, hydrogéologues, urbaniste, etc. il pourra ainsi se forger sa propre idée des conditions de site, pour finalement utiliser ces résultats pour le dimensionnement de l'ouvrage dont il a la responsabilité (Baziz M. K., 2011).

L'examen des résultats d'une campagne d'essais géotechniques met en évidence que, même à l'intérieur d'une couche géologique considérée comme homogène en grand, les divers paramètres mesurés manifestent toujours une certaine variabilité, parfois très élevée (Baziz M. K., 2011).

Les types de sondages et essais géotechniques les plus couramment réalisés ont été groupés en trois catégories :

- Les sondages permettant de visualiser les sols, de prélever des échantillons, d'établir la stratigraphie et la structure géologique des terrains ;
- les essais en laboratoire qui permettent d'identifier et de classer les sols, ainsi que de mesurer certaines caractéristiques mécaniques ou hydrauliques (déformabilité, résistance, perméabilité, etc.) ;
- les essais in situ qui permettent de mesurer certains paramètres géotechniques des sols en place, paramètres liés à leur nature, compacité, consistance, perméabilité, déformabilité et résistance.

Pour la maîtrise des risques géotechniques, il est souhaitable que les études géotechniques soient effectuées au sens de la norme NF P 94-500 version 2006 pour

mieux identifier, évaluer, maîtriser, et gérer les risques dans les différentes phases du projet.

Les études géotechniques interviennent à chacune des phases d'un cycle de vie d'un projet routier : études préalable, conception, construction et finalement clôture. Elles sont fonction de l'importance du projet et des questions spécifiques qu'il soulève. Le but d'une étude géotechnique est d'obtenir des paramètres de sol fiables, en particulier pour faire des choix constructifs pertinents.

Elles débutent généralement par le recueil de données de site qui mobilise des bureaux d'études spécialisés. Ce sont des études géologiques et géotechniques pour reconnaître la nature et la configuration des différents terrains à prendre en compte dans le projet. Les propriétés mécaniques des terrains s'appréhendent par des essais in situ et complété par des tests simples ou plus complexes sur échantillons en laboratoire.

Les investigations géotechniques sont définies et appréciées par programme qui doit être élaborées par un géotechnicien ayant la qualification en adéquation avec la nature du projet. Le programme comprend les objectifs de l'opération, les besoins à satisfaire ainsi que les contraintes et exigences de qualité sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage et de protection de l'environnement, relatives à la réalisation et à l'utilisation de l'ouvrage.

Dans une infrastructure routière, le sol est un véritable matériau de construction, c'est pourquoi le programme d'investigations géotechniques doit être établi en fonction du contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique du site ainsi de la zone d'influence géotechnique au sens de la norme NFP 94-500.

Le géotechnicien doit vérifier la stabilité initiale des lieux et l'influence de l'intervention projetée, afin d'assurer la sécurité du demandeur et de ses voisins, en réalisant au besoin des travaux.

Un programme d'investigations doit inclure la mise en œuvre de plusieurs techniques de natures différentes. Une reconnaissance de sol pertinente doit notamment comporter une proportion équilibrée de sondages avec prélèvement d'échantillons, d'essais de laboratoire et d'essais in-situ (à adapter par le géotechnicien selon le contexte du site et de l'ouvrage).

5.2.1.2 Accréditation selon la norme ISO 17025

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

La norme ISO 17025 est un document avant tout à l'usage des laboratoires, énonçant les exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais. Le laboratoire doit considérer la norme ISO 17025 comme un modèle de

fonctionnement lui permettant d'atteindre logiquement le niveau de qualité nécessaire pour satisfaire sa clientèle, plutôt que comme une liste de règles sur le respect desquelles il doit se justifier auprès d'un évaluateur.

5.2.2 Protections et mitigations

La maîtrise des risques de mesure et d'incertitude nécessite des mesures de protections et de mitigations pour réduire les effets de ces risques. Tous d'abord, il faut assurer la maîtrise des moyens de surveillance et répondre aux exigences de la norme ISO 17025.

5.2.2.1 Maîtrise des moyens de surveillance

De façon individuelle, un résultat ne peut être contrôlé que par :

- Une connaissance de l'échantillon traité ;
- Une répétabilité de l'essai.

Des contrôles et mesure sont constamment mis en œuvre à tous les niveaux de l'organisation pour vérifier la conformité des prestations aux critères définis (normes d'essais, spécifications, contenu de la proposition ou du devis, etc.).

Cependant, la maîtrise de ces résultats passe par une métrologie appropriée des moyens d'essai et une procédure pour estimer l'incertitude de mesure. Les dossiers matériels définissent les modalités de maîtrise des moyens de mesure. Des fiches de vie permettent d'assurer la traçabilité des opérations d'étalonnage, de vérification ou de maintenance sur ces moyens de mesure.

Les méthodes d'essais doivent être adéquates et validées. Dans le cas de dysfonctionnement, il est nécessaire d'analyser au niveau des causes (main d'œuvre, matière, matériel, méthode,) et faire des actions concertées permettant la correction, la prévention et l'amélioration permanente.

Finalement, l'organisme doit déterminer les activités de surveillance à entreprendre et les équipements nécessaires pour apporter la preuve de la conformité du produit aux exigences déterminées. Il doit aussi établir des processus pour assurer que les activités de surveillance peuvent être effectuées de manière cohérente par rapport aux exigences de surveillance.

5.2.2.2 Accréditation selon la norme ISO 17025

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

- Une partie qui intègre les exigences relatives au management du laboratoire. Cette partie est souvent appelée « partie qualité » ;

- Une partie « Exigences techniques » qui correspond au cœur de métier. C'est entre autre sur elle que se fonde l'aptitude technique du laboratoire.

Les exigences générales de compétence pour effectuer des essais et/ou des étalonnages, y compris l'échantillonnage sont présentées dans le tableau 4.1 suivant :

Tableau 4.1 Exigences générales pour l'accréditation des laboratoires selon la norme ISO 17025

Exigences relatives au système de management	Exigences techniques
<ul style="list-style-type: none"> • Organisation • Système de management • Maîtrise de la documentation • Revue des demandes, appels d'offres et contrats • Sous-traitance des essais et des étalonnages • Achats de services et de fournitures • Maîtrise des travaux d'essais et/ou d'étalonnage non conformes • Amélioration • Actions correctives • Actions préventives • Maîtrise des enregistrements • Audits internes • Revues de direction 	<ul style="list-style-type: none"> • Personnel • Méthodes d'essai et d'étalonnage et validation des méthodes (Validation des méthodes, Estimation de l'incertitude de mesure, Maîtrise des données) • Equipement • Traçabilité du mesurage • Echantillonnage • Manutention des objets d'essai et d'étalonnage • Assurer la qualité des résultats d'essai et d'étalonnage • Rapports sur les résultats (Rapports d'essais et certificats d'étalonnage, Avis et interprétations, Résultats d'essais et d'étalonnage obtenus auprès de sous-traitants, Transmission électronique des résultats)

Un laboratoire conforme aux exigences de la norme ISO 17025, satisfait donc à la fois :

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

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

De nombreuses exigences sont donc définies par la norme ISO 17025. Néanmoins, on pourrait expliquer les principales exigences pour atténuer les conséquences négatives des risques liés aux mesures et incertitudes :

a) Maîtrise des équipements

Les équipements du laboratoire doivent être répertoriés sur un registre. Ce registre, peut être sur support papier ou électronique suivant le souhait du laboratoire dans la mesure où les conditions de collecte, d'enregistrement, de validation, de classement et de sauvegarde sont spécifiées. Le matériel doit être identifié d'une manière qui exclut toute ambiguïté ou risque de confusion. Les informations minimales requises sont : un numéro d'identification, et la date de prochaine vérification. Lorsque cela est physiquement possible ces informations doivent être reportées sur le matériel.

Le laboratoire doit indiquer comment les informations concernant les événements affectant la vie d'un équipement donné, doivent être collectées, enregistrées, validées et classées. Il s'agit des opérations d'étalonnage et de vérification, de maintenance, des interventions en cas de panne ou d'anomalie.

La confiance dans les résultats d'essais ne peut être assurée que si l'on a la preuve que le matériel utilisé satisfait aux exigences spécifiées dans les normes ou modes opératoires des essais couverts par la compagnie.

Le laboratoire doit avoir un programme établi pour l'étalonnage et la vérification de son matériel de mesures et d'essais. Ce programme doit être conçu et mis en œuvre de telle manière que, chaque fois que cela est possible, les mesures effectuées par le laboratoire puissent être raccordées à des étalons nationaux ou internationaux s'il en existe. Lorsque ce raccordement n'est pas possible, le laboratoire doit fournir des preuves de la pertinence de ses méthodes de vérification en participant par exemple aux programmes d'essais interlaboratoires quand ils existent ; ces derniers restent un moyen efficace pour s'assurer de la maîtrise des essais.

Le laboratoire doit spécifier pour chaque équipement (LTPP, 2009) :

- La fréquence des étalonnages et vérifications ;
- La nature des opérations d'étalonnages et vérification ;
- L'erreur maximale tolérée.

La fréquence d'un étalonnage et vérification est à fixer en fonction de (LTPP, 2009) :

- La fréquence d'usage de l'équipement ;
- La dérive de ses caractéristiques dans le temps.

Les erreurs maximales tolérées sont à fixer en examinant les exigences spécifiées dans les normes, ou modes opératoires d'essais pour lesquels l'équipement est utilisé. La réalisation de vérification au moyen de matériaux de référence est acceptable à condition que ces matériaux fassent l'objet d'une procédure de maîtrise de leurs caractéristiques (LTPP, 2009).

Pour satisfaire ces exigences métrologiques le laboratoire peut adopter une des deux stratégies suivantes : faire étalonner son matériel par un organisme d'étalonnage accrédité ou certifié pour cette activité ou disposer d'un service de métrologie doté

d'étalons de référence raccordés. Ce service doit spécifier par écrit son fonctionnement et ses méthodes d'étalonnage (norme ISO 17025).

b) Maîtrise de processus d'essais

Le processus d'essais couvre les phases d'exécution et de contrôle depuis la réception de la demande jusqu'à l'émission du rapport. La campagne adoptée par le laboratoire pour maîtriser ce processus doit être formalisée.

Chaque intervention du laboratoire comportant l'exécution d'essai(s) doit être identifiée et enregistrée. Tous les documents ou enregistrements se rapportant à cette intervention doivent pouvoir être reliés à cet identifiant.

Une telle intervention peut donner lieu à une demande d'essai(s) émise par le donneur d'ordre ou par une personne habilitée du laboratoire. Si la demande extérieure n'est pas explicite, une personne compétente est désignée pour établir le programme d'essais, après contact avec le client. Dans les deux cas, une ou plusieurs fiches de travail destinées aux chargés d'essais fournissent les indications nécessaires.

La « revue » de la demande permet de vérifier que le laboratoire est en mesure d'exécuter l'ensemble des essais dans le cadre de son système qualité et dans les délais prescrits, et que l'interface avec le donneur d'ordre a été traitée sur les points suivants :

- Conditions de prélèvement, transport et d'identification des objets à soumettre aux essais (échantillons ou corps d'épreuve) ;
- Participation éventuelle du donneur d'ordre à tout ou partie de l'exécution des essais ;
- Exigences particulières de confidentialité, de conservation ou de restitution des échantillons ou corps d'épreuve après essais.

Tout échantillon ou corps d'épreuve est enregistré et identifiable sans ambiguïté et doit pouvoir être relié à une demande d'essais.

Les modalités d'identification, réception, de stockage, de préparation et, le cas échéant, de conservation, après essais des échantillons ou corps d'épreuve, sont définies par le laboratoire.

Tout essai est exécuté par référence à un document qui peut être :

- Une méthode d'essai normalisée ;
- Une méthode d'essai publiée ;
- Une méthode interne au laboratoire validée par une personne habilitée.

Le laboratoire établit des fiches d'exécution complémentaires à ces méthodes lorsque c'est nécessaire (méthode présentant des options ; mode opératoire insuffisamment précis...).

Les informations utiles ou nécessaires relatives aux conditions dans lesquelles les essais sont exécutés sont portées sur les feuilles d'essais (cahier d'essais) destinées à recevoir

les résultats bruts des mesures, enregistrements et les interprétation de ces mesures pour obtenir les résultats d'essais.

Les essais sont exécutés par les chargés d'essais qualifiés. Les chargés d'essais exercent un contrôle dont les modalités relèvent de leur compétence. Les anomalies constatées en cours d'essai sont notées sur la feuille d'essai si elles sont de nature à fournir une indication utile pour le signataire du rapport et/ou pour son destinataire. Celles qui impliquent un traitement qui ne peut être exercé en temps réel par le chargé d'essai ou qui peuvent être utiles pour l'amélioration du système qualité donnent lieu à l'émission d'une "fiche anomalies".

c) Formation du personnel

Les campagnes géotechniques doivent disposer d'un personnel qui possède la formation générale, les compétences techniques et l'expérience nécessaires pour la réalisation des essais.

Les campagnes géotechniques doivent établir la liste des fonctions nécessaires à son fonctionnement et spécifier le niveau de compétence et les exigences requises pour assumer ces fonctions. La procédure de qualification du personnel autorisé à réaliser des essais doit être formalisée. La manière dont une personne acquiert la qualification à pratiquer des essais nouveaux doit être spécifiée. Des enregistrements doivent permettre d'assurer la traçabilité de ces compétences. On pourra par exemple établir et tenir à jour un dossier du personnel permettant de collecter ces informations (LTTPP, 2009).

Finalement, les campagnes géotechniques doivent définir et indiquer par écrit comment le personnel est tenu informé des évolutions techniques, des résultats de la normalisation, en particulier en matière d'essais.

d) Réalisation de la prestation

Chaque campagne de reconnaissance géotechnique doit mettre en place des modes opératoires, des fiches essais, des rapports couvrant son activité basée pour une grande part sur des normes ou des documents techniques validés par l'expérience (LTTPP, 2009).

Chaque campagne doit disposer donc d'un document définissant les prestations qu'elle est susceptible de réaliser (Contenu des prestations), et les compétences correspondantes disponibles. L'intervention est réalisée, par les personnels compétents, dans les règles de l'art suivant les modes opératoires prédéfinis. Les personnels doivent maîtriser les dispositifs et les matériels utilisés pour la prestation.

Les prestations de la campagne comprennent notamment :

- Des essais in situ et/ou en laboratoires pour caractériser les propriétés de ces sols et roches ;

- Les prestations de contrôle d'implantation des sondages et de mise en place de matériel et de matériaux (rebouchage etc.) ;
- Les rapports journaliers, des essais et des résultats des sondages.

5.3 Résilience des risques anthropiques

Les risques anthropiques ou les risques due à l'activité humaine sont aussi des facteurs déclencheurs de mouvements de terrain par certaines modifications pendant les travaux de terrassement. Les travaux de terrassement représentent souvent des risques de mouvement de talus en déblai et en remblai. Afin de prévenir ce type d'instabilité, il est impératif de procéder à certaines vérifications avant et pendant les travaux, mais aussi de réaliser les opérations de terrassement suivant une certaine méthodologie et d'effectuer les travaux dans les règles de l'art.

La gestion de ces risques implique des mesures de protection et de mitigation pour réduire les effets dans le cas ou le risque d'instabilité est avéré. La figure 4.7 présente une approche de résilience des risques géotechniques due à l'activité humaine dans les travaux de construction d'infrastructures routières.

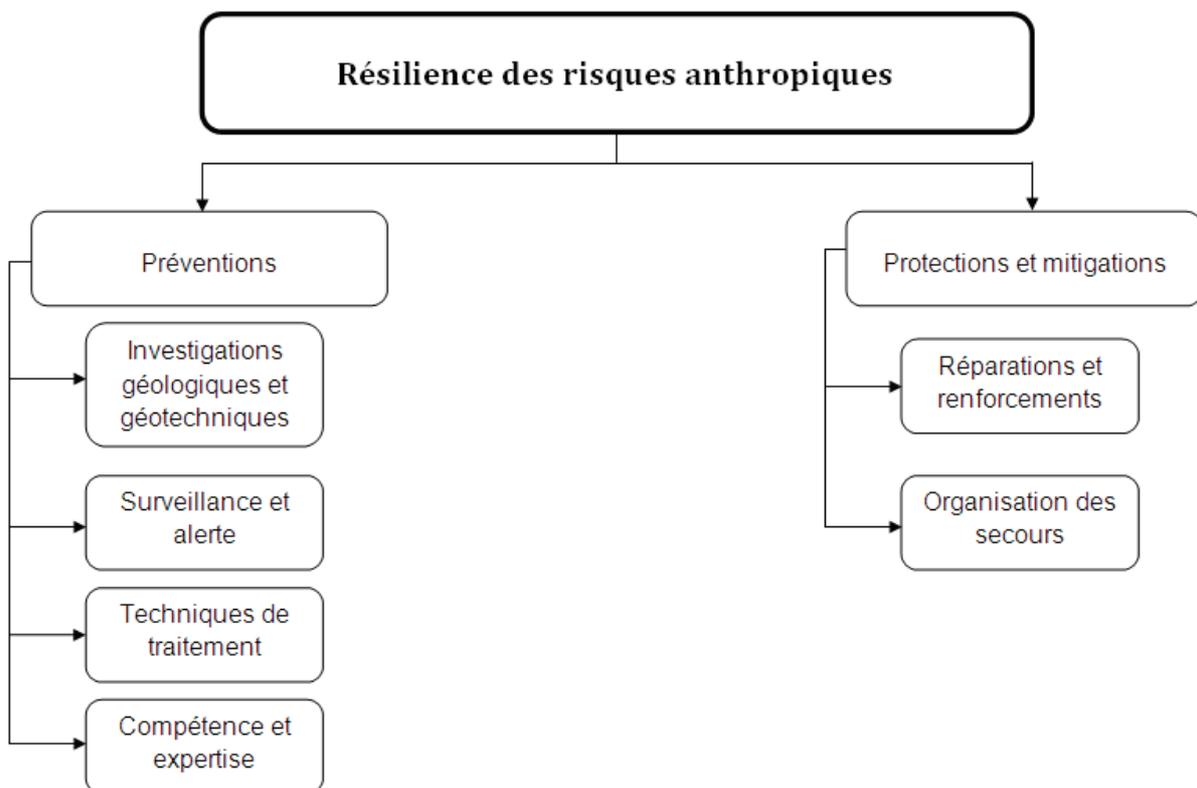


Figure 4.7 Résilience des risques anthropiques

5.3.1 Préventions

La prévention des risques géotechniques due à l'activité humaine dans les travaux de construction d'infrastructures routières permet de recueillir toutes les données nécessaires à la réalisation des ouvrages. Ces données contiennent en général toutes les

informations utiles pour définir les conditions d'exécution nécessaires à la réalisation des ouvrages dans de bonnes conditions de sécurité.

5.3.1.1 Investigations géologiques et géotechniques

Il est impératif de faire procéder à une étude des sols pour en connaître la nature et ainsi mettre en œuvre les travaux de terrassement et de construction adaptés.

En effet, dans le cas des déblais et plus spécialement des versants naturels, le comportement d'un ouvrage dépend non seulement des paramètres géomécaniques et hydrauliques au droit du talus, mais de la configuration de l'environnement géomorphologique sur une vaste zone avoisinant le talus. De même, les actions confortatives peuvent s'étendre très loin en amont du déblai ou du remblai projeté. Il importe donc de reconnaître les sites sur de vastes étendues, d'autant plus vastes que la pente du terrain initial est forte. Ces reconnaissances portent sur :

- La géomorphologie
- La topographie
- L'hydrogéologie
- La géotechnique

5.3.1.2 Surveillance et alerte

Un système de surveillance est indispensable. Il a pour objectif de fournir des informations sur l'évolution du phénomène de façon à pouvoir prendre, le cas échéant, les mesures nécessaires. En effet, la nécessité de pouvoir décider du moment du déclenchement des opérations de sécurité demande l'installation de dispositif de surveillance et d'alerte.

Certaines infrastructures routières peuvent présenter, au cours de leur existence, un risque important pour des équipements avoisinants, voire un risque vis-à-vis des personnes. Les responsabilités en la matière ne sont pas toujours ressenties à leur niveau réel (Liochon, 1976). On n'est jamais absolument certain, en matière de stabilité de pentes, qu'un talus -même étudié avec le maximum de précautions- ne subisse pas de désordres. On peut, par ailleurs, être amené, dans certains cas, à accepter le risque de tels désordres à condition qu'ils soient prévisibles à brève échéance. Dans ce cas, il est nécessaire de mettre en place un ou plusieurs dispositifs de surveillance pouvant éventuellement servir de systèmes d'alerte.

Il y a encore énormément de progrès à faire dans ce domaine, mais on dispose cependant de moyens de mesure et de liaisons à distance qui, s'ils sont bien employés, peuvent être très efficaces. Les critères d'alerte peuvent venir du suivi régulier des éléments suivants :

- Pluviométrie, bilan hydrologique ;
- Niveaux piézométriques, corrélés au précédent ;
- Mouvements de surface suivis par repères topographiques ou témoins de fissures ;
- Mouvements en profondeur suivis par tubes de déformation ou puits visitables.

Les mouvements sont toujours coûteux à mesurer, que ce soit en surface ou en profondeur. Il est donc utile de disposer d'instruments rustiques et de lecture aisée, permettant de déceler rapidement s'il y a eu mouvement et, dans ce cas, s'il y a lieu de faire une campagne de mesures complète.

La difficulté réside naturellement dans la définition d'un seuil d'alerte pour chaque type de paramètre. Il est, en principe, exclu de laisser à un appareil automatique trop tributaire des variations parasites, le soin de donner seul l'alerte. Celle-ci ne peut venir que du suivi régulier de la vitesse d'évolution des paramètres, dont toute accélération brutale dénote généralement l'annonce d'un processus irréversible pouvant conduire à la rupture.

5.3.1.3 Techniques de traitement

Les techniques de prévention des risques due à l'activité humaine dans les travaux de terrassement et de construction font appel à des traitements qui s'opèrent sur le talus, soit en adaptant les pentes de talus, soit en réalisant un système de drainage efficace, soit en augmentant la résistance du sol par la plantation de végétaux.

En effet, les terrassements modifient la topographie du terrain et lui donnent une forme et des caractéristiques déterminées, correspondant à la finalité des travaux de la route. Les travaux de terrassements consistent à extraire, transporter et mettre en œuvre des sols et des matériaux variés. Les déblais sont taillés dans les terrains en place. Les remblais sont édifiés en répandant des couches successives de roches et de sols. Le résultat final est la réalisation d'une plate-forme (partie supérieure des remblais ou des déblais) à la cote prévue par le projet.

En construction routière, cette plate-forme, appelée «arase de terrassement», sert d'appui à une couche de forme et aux couches de chaussées. Les terrassements produisent aussi des talus : dans les déblais, ce sont des talus dans le terrain naturel. Pour les remblais, ce sont des talus en matériaux compactés. Ces talus doivent être protégés contre les instabilités et contre l'érosion superficielle.

Concevoir une route revient à traduire des données provenant d'études du tracé in situ et autres pour les inclure dans des plans déterminés destinés à la construction. Les critères de conception doivent être souples de manière à pouvoir apporter des modifications pour minimiser les risques d'instabilité des talus et de tassement du sol. Ce dernier dépend de la nature et de l'état du sol et des charges appliquées. Ces charges sont limitées par les conditions de stabilité qu'il faut respecter lors de la conception des ouvrages. C'est à ce stade du développement que l'on incorpore dans les plans diverses mesures pour lutter contre ces risques et en atténuer les effets.

a) Adaptation des pentes de talus

Pour Adapter les pentes de talus de remblais et déblais, il est nécessaire de définir l'angle du talus pris avec l'horizontale selon la nature des matériaux. Les contraintes de stabilité augmentent avec la hauteur de terre mise en œuvre. Un adoucissement des

pentres de talus permet généralement de répondre aux contraintes de stabilité interne du remblai. Il convient néanmoins en cas de remblai sur versant de vérifier la stabilité d'ensemble.

Pour des remblais ou dépôts dits "paysagers", il est courant d'utiliser les matériaux de qualité géotechnique souvent médiocre dans le respect des contraintes de stabilité et sans prescriptions de compactages. Par contre, suivant l'usage futur (restitution à des fins agricoles, base de loisirs,...), il conviendra de définir le niveau de qualité requis (compactage, portance, absence de tassements différentiels...). Enfin, les pentes de talus sont souvent très douces (inférieures à 3 de base pour 1 de hauteur) (SETRA, 2008).

Un déblai en sol fin, quelle que soit sa hauteur, ne pourra supporter des pentes de talus supérieures à 3 de base pour 2 de hauteur ou 2 de base pour 1 de hauteur. Pour un déblai rocheux, en fonction de la hauteur et de la fracturation du massif, des pentes de talus plus raides peuvent être envisagées : 1 pour 1, et jusqu'à 5 de hauteur pour 1 de base (avec aménagements spécifiques : redans intermédiaires, piège à cailloux, ancrages) (SETRA, 2008).

La pente de talus peut être adoucie généralement sans inconvénient pour la stabilité. Dans ce cas, les conséquences pour le projet sont l'augmentation des volumes de déblais et l'augmentation des emprises au sol. Cet adoucissement de pente peut être recherché pour le projet paysager ou pour répondre à un besoin de valorisation de matériaux spécifiques (sols ou roches de bonne qualité géotechnique).

b) Drainages des sols

Cette mesure de prévention peut être envisagée pendant les travaux de terrassement pour réduire les effets de risques. Pour éviter toute saturation en eau du substrat et du remblai, il conviendrait de réaliser un système de drainage efficace, composé de tranchées drainantes et de fossés en amont et en aval du remblai. La réduction des pressions interstitielles dans les couches superficielles augmenterait la résistance au cisaillement et réduirait l'infiltration en profondeur. De plus, en collectant les eaux de ruissellement, les fossés éviteraient les phénomènes de ravinements. Afin d'éliminer les infiltrations dans les fissures développées sur le replat situé dans la zone amont du remblai, il suffirait de colmater les fissures existantes et de niveler la topographie pour éviter la stagnation des eaux. Il faudrait aussi prévoir un pompage de la nappe souterraine vers un réservoir pour assurer la sécurité du talus du déblai.

c) Végétations

La plantation de végétaux est aussi une mesure de prévention sur tout le talus du déblai contribuerait à assécher le versant par l'évapotranspiration et à augmenter la résistance du sol au cisaillement. En effet, en retenant le sol par ses racines et en régulant la température et l'humidité, la végétation réduit fortement le jeu des dilatations et des contractions dans les couches superficielles.

5.3.1.4 Compétence et expertise

Le terme « expertise » regroupe à la fois la connaissance et la compétence de l'expert. L'expert a donc un savoir et un savoir-faire. Dans cette optique, une bonne prévention des risques anthropiques concerne l'ensemble des intervenants concernés par la construction d'infrastructure routière. Les organisations doivent donc maintenir le niveau de compétence des intervenants. Pour cela, il apparaît nécessaire de mettre en place un système de gestion des compétences impliquant des procédures et des contrôles pour identifier les compétences nécessaires, les obtenir et assurer leur pérennité.

L'expertise d'un ingénieur permet de développer des études de sols et dimensionnement basé sur la nécessité des connaissances précises du sol, de sa nature et son comportement. Fort de son savoir-faire sur le terrain et en laboratoire, l'ingénieur sait mettre en œuvre ses compétences sur le terrain. Les méthodes et les outils de précision assurent la rapidité et la souplesse des études géotechniques, de la réalisation à la conception, l'exécution, mais aussi l'entretien des tracés routiers.

Donc, les études géotechniques doivent être réalisées par des campagnes ayant des compétences dans différents domaines comme la géologie de l'ingénieur, la géotechnique, l'hydrologie, etc.

Enfin, au niveau de l'exécution, il conviendra de disposer d'une main-d'œuvre qualifiée, et assurer un suivi rigoureux du chantier.

5.3.2 Protections et mitigations

Dans les cas où les mesures de surveillance et les techniques de prévention ne permettent pas de réduire les risques aux niveaux acceptables, il convient donc d'utiliser des mesures de protection et de mitigation pour atténuer les effets négatifs de ces risques (atténuation de la vulnérabilité des éléments menacés).

Une protection contre les risques anthropiques dans les travaux de construction d'infrastructures routières peut être obtenue en mettant en place des techniques de confortement et d'organisation des secours.

5.3.2.1 Réparations et renforcements

Plusieurs solutions de confortement d'instabilité du talus de remblai et de déblai sont préconisées. Cependant, on peut proposer des solutions qui consistent à réaliser un remblai stabilisant et un dispositif de drainage adéquat tout en renforçant la structure routière existante, à réaliser un système de confortement basé sur l'utilisation des nappes en géosynthétique, à réaliser des murs de soutènement et à construire un contrepoids en enrochement pour stabiliser les talus.

Ainsi, pour assurer la stabilité du remblai et du substrat altéré, l'installation d'un rideau de pieux en béton armé ancrés jusqu'à 15 m de profondeur est préconisée. Les ancrages ont pour but de reporter en profondeur les pressions qui ne pourraient être supportées en surface. Pour réduire le poids des remblais, il est possible d'utiliser, là où le risque de

glissement est grand, des matériaux de faible masse volumique, comme le polystyrène expansé, la sciure de bois ou les pneus déchiquetés. Le polystyrène expansé est utilisé avec succès en remblai routier en France depuis 1983.

5.3.2.2 Organisation des secours

L'investigation sur les terrain, la surveillance et l'alerte, la protection et mitigation permettent généralement de maîtriser la plupart des risques, mais dans le cas échéant, les opérations de sauvetage, évacuation et déblaiement peuvent se déployer parfaitement en cas de désastre.

5.4 Résilience des risques affectant les chaussées

Les dégradations qui affectant les chaussées souples, telles que les fissurations, nids de poule, flaches, ornières, et d'autre types de dégradation, se développent progressivement avec du temps. En effet, l'orniérage de la chaussée, par exemple, commence, théoriquement, quand le premier camion passe au-dessus de la section de route et s'accumule avec chaque passage suivant. Pour la fissuration, la situation est tout à fait différente. La première occurrence de cette dégradation peut seulement apparaître quand la chaussée a été en service pendant un certain nombre d'années. Dans cette phase de déclenchement de dégradation, la fissuration se produit au fond des couches inférieures.

Donc, vue à la complexité des phénomènes de dégradation il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection pour réduire l'effet de ces phénomènes. Les solutions préventives tant en construction qu'en renforcement assure à la chaussée un comportement adéquat vis à vis de ces phénomènes de dégradations ; et ceci sur de très longues périodes ; elles réduisent l'apparition de ces phénomènes. La figure 4.7 présente une approche de résilience des risques affectant les chaussées.

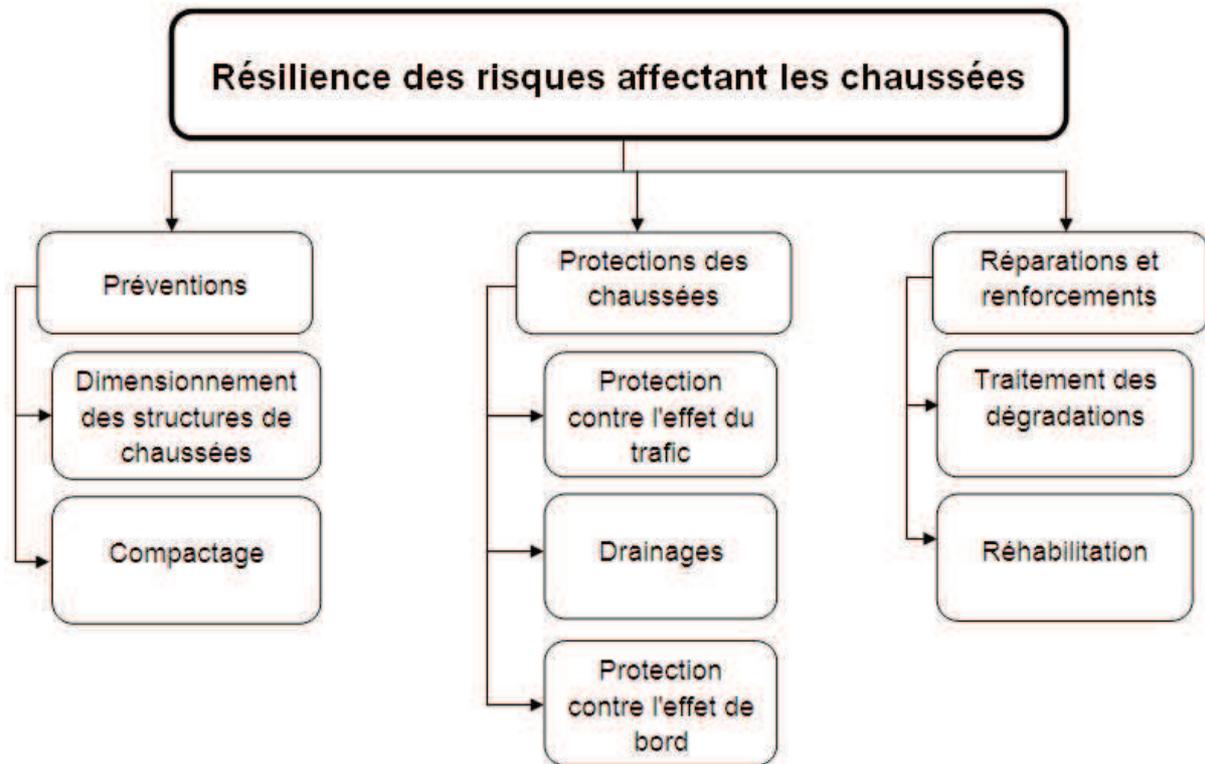


Figure 4.8 Résilience des risques affectant les chaussées

5.4.1 Préventions

Elles visent à réduire l'apparition du phénomène des dégradations et sont prises en compte lors de la mise en œuvre :

5.4.1.1 Dimensionnement des structures de chaussées

La conception des chaussées se caractérise par les aspects essentiels ; le trafic, les méthodes de dimensionnement, les études géotechniques, le choix de la structure et les matériaux de chaussée, etc.

En effet, la détermination des propriétés mécaniques des matériaux adéquats permet de fournir les paramètres nécessaires au dimensionnement des chaussées souples et de prévenir leur dégradation (Arsenie I. M., 2009).

L'une des fonctions principales de la chaussée est de distribuer la charge induite par le trafic. Le dimensionnement routier consiste à déterminer les contraintes et les déformations des matériaux soumis à des charges de trafic et de les comparer avec les contraintes et les déformations admissibles. Les sollicitations admissibles correspondent à la rupture par fatigue des matériaux liés ou à la déformation permanente des couches non liées (Arsenie I. M., 2009). Pour les structures souples le dimensionnement porte sur la limitation de la déformation du sol support qui doit être compatible avec le niveau de trafic.

En conception structurale d'une chaussée, la propriété la plus considérée est la rigidité du matériau. L'ingénieur doit donc pouvoir vérifier que les contraintes et déformations

engendrées à l'intérieur de la chaussée et transmise à l'infrastructure sont en deçà des valeurs tolérables par les matériaux. Les matériaux de chaussées subissent des déformations qui sont principalement élastiques, mais aussi plastiques. On doit également s'assurer que les propriétés des matériaux sont stables et durables.

Les matériaux utilisés dans la construction de chaussées se trouvent dans un état non-saturé. Les calculs sont usuellement réalisés en contraintes totales parce que la mesure de la succion implique l'utilisation des méthodes plus élaborées basées sur le principe de « translation des axes ». La réalisation en laboratoire de recherche des essais avec l'appareil triaxial, l'oedomètre ou avec la boîte de cisaillement à succion contrôlé permettent d'étudier l'influence de la succion sur les propriétés mécaniques de matériaux et de donner une approche en contraintes effectives (Arsenie I. M., 2009).

5.4.1.2 Compactage

Dans les travaux de construction de routes, le compactage du sol support, de la plate forme et des différentes couches du corps de chaussée permet une plus grande durabilité des routes.

En effet, un mauvais compactage des différentes couches du corps de chaussée peut être la cause des phénomènes de dégradation. Cette situation doit nous amener à porter une plus grande attention au compactage surtout du sol support dans les travaux de construction de routes. Un bon compactage réduit les vides des matériaux. Cette densification n'est pourtant pas un but en soi et elle n'est cherchée que par ce que:

- Augmentation de la résistance ;
- Diminution de la perméabilité ;
- Diminution des tassements différés.

De ce fait, il devient très important de bien étudier les propriétés générales du sol de la plate-forme et des différents matériaux de construction afin de pouvoir définir les conditions de compactage optimal.

5.4.2 Protections des chaussées

Les phénomènes de dégradations ont rarement une cause unique, ils proviennent le plus souvent de plusieurs facteurs négatifs qui affectent les chaussées. Il s'avère donc nécessaire d'accorder une importance particulière aux aspects essentiels de conception des chaussées afin de les protéger contre les effets néfastes particulièrement du trafic et l'action de l'eau.

5.4.2.1 Protection contre l'effet du trafic

Pour lutter contre les effets néfastes du trafic les solutions de protection suivantes ont été retenues :

- Lors du dimensionnement des chaussées, il faut une largeur de chaussée suffisante pour permettre aux véhicules de se croiser librement ou effectuer des manœuvres de dépassement sans empiéter sur les accotements ;

- Construire des encoches dans les traversées des agglomérations pour l'arrêt et le stationnement des véhicules ;
- Protéger la chaussée par des bordures en béton qui serviront de butée pour le revêtement ;
- Construire des voies de raccordements pour les véhicules voulant quitter la voie principale ;
- L'élargissement du revêtement dans une courbe sert à compenser la tendance qu'ont les conducteurs à empiéter sur les abords de la route à cet endroit.

5.4.2.2 Drainages

L'eau contribue à l'érosion et à la dégradation de la route. Il peut s'agir d'eaux souterraines, de surface ou d'eaux de pluies.

Quel que soit le type de route, il est important que l'écoulement de l'eau provenant de la chaussée ne soit pas gêné. Ce point est particulièrement important pour les accotements, qui ont le même comportement que les routes en terre ou en gravier, où des dégâts se produiront rapidement si l'eau peut s'y accumuler en surface. L'action préventive contre l'érosion consiste à dévier les grandes masses d'eau pour éviter qu'elles n'atteignent la plate forme, les fractionner si l'on ne peut les dévier ou limiter leur vitesse pour les rendre moins agressives.

Il est donc indispensable d'avoir un bon système de drainage qui permet à l'eau de s'écouler depuis la route aussi rapidement que possible.

Ainsi on distingue :

- Le système de drainage de la surface de la route qui draine l'eau en surface vers les cotés ;
- Les fossés latéraux et exécutoires qui drainent les eaux en dehors des abords de la route ;
- Les buses (ouvrages d'art en général) qui, installées sous la route, évacuent les eaux en amont vers le coté aval ;
- Lors de la conception, il faut une très bonne pente transversale pour permettre le ruissellement des eaux pluviales.

Toutefois dans les corps de chaussée il faut accorder une importance toute particulière aux talus. Le ruissellement des eaux de pluie se fait dans le sens des accotements – fossés- talus. D'où une mauvaise conception de la pente de talus peut entraîner des complications graves de nature à compromettre la durée de vie de la chaussée.

Une pente de talus doit être conçue de façon à avoir une stabilité permanente :

- On évitera les pentes excessives des talus afin d'empêcher les éboulements;
- On évitera les pentes trop faibles à défaut d'une solution de compromis.

Dans des cas de contraintes de talus plus raides il est nécessaire de procéder à des consolidations. En effet la protection des talus peut être obtenue par la mise en place des perrés maçonnés ou de pierres sèches ou bien même par des dalles de béton. D'autre

part l'engazonnement permet aussi aux accotements de lutter contre l'érosion car les racines végétales couturent le sol et diminuent l'effet d'érosion due au ruissellement de surface.

On peut également mettre en place une couche de matériaux sélectionnés suffisamment plastiques sur toute la largeur des plates formes constituées par des matériaux peu cohérents de nature à réduire considérablement les risques d'érosion. C'est dans le but d'assurer cette protection qu'on peut répandre sur les accotements une couche de gravillons. Encore faut-il qu'elle ne présente pas une pente trop accusée.

5.4.2.3 Protection contre l'effet de bord

Pour lutter contre l'effet de bord, les moyens suivants ont été envisagés:

- Imperméabilisation des accotements rejetant l'effet de bord hors de la zone d'action des véhicules sur la chaussée ;
- Établissement d'une barrière verticale étanche constituée d'une paroi imperméable enterrée séparant le sol de fondation du sol d'accotement sur une certaine profondeur empêchant l'eau de se mouvoir latéralement d'un coté à l'autre ;
- Une protection efficace et durable contre l'effet de bord peut être obtenue par un écran capillaire vertical.

5.4.3 Réparations et renforcements

Les actions de préventions et de protections des chaussées contre les dégradations sont généralement efficaces pour réduire les effets de ces phénomènes. Mais, malgré les efforts dans les travaux de construction de la route, les phénomènes de dégradations peuvent avérer dans les chaussées. Dans ce cas la gestion des risques ce concentre sur la réparation et le renforcement des corps de chaussées.

5.4.3.1 Traitement des dégradations

Les réparations localisées qui comprennent généralement le traitement des dégradations (par exemple, le bouchage des nids de poule, le profilage léger, les purges, enduits ponctuels, déflachage, etc.).

Les travaux de renforcement de la chaussée consistent généralement à :

- Un renouvellement des couches de surface ;
- Un traitement de points critiques ;
- Un rechargement ;
- Une reconstruction des ouvrages.

5.4.3.2 Réhabilitation

En ce qui concerne la réhabilitation, elle consiste en la remise à niveau d'une route extrêmement dégradée. La réhabilitation est nécessaire lorsque la réparation et le renforcement n'ont pas été faits à temps.

6. CONCLUSION

Tout au long de ce chapitre, nous avons essayé de proposer une approche de résilience des risques pour chaque famille de risques impactant le projet routier et de renforcer les stratégies mise on œuvre par un système à faire face et surmonter une perturbation, ce qui permet de conduire les projets à leur objectif.

La résilience est un concept riche, qui présente l'indéniable avantage pour la gestion des risques, mais les experts de la résilience sont encore trop rares et nos connaissances sur la résilience sont donc imparfaites. Elles sont imparfaites d'un point de vue théorique, et non confortée par les retours d'expérience, encore insuffisants à ce jour.

En guise de conclusion, la résilience est un outil de gestion des risques. Elle permet d'une part, de réduire la vulnérabilité en appliquant les mesures préventives et les mesures de protection et de mitigation. Et d'autre part, elle permet de renforcer efficacement la qualité de décision dans le pilotage de projet.

Donc vu l'intérêt de ce concept pour la gestion des risques, il est souhaitable de favoriser une augmentation de la résilience pour réduire les dommages d'une catastrophe on intégrant les dimensions économique, techniques, qualité et charge de travaille.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire est le résultat d'une synthèse bibliographique des différents risques géotechniques impactant les projets routiers et leur management.

Le présent travail a permis de mettre en relief la nécessité d'une meilleure prise en compte du management des risques dans le projet routier. La stratégie initiée, qui permettra d'atteindre les objectifs du projet routier est basée sur l'approche de résilience et de mitigation. En plus, ce mémoire nous a permis de caractériser les risques géotechniques et de manager avec plus d'efficacité ces risques.

La synthèse bibliographique a mis en évidence la nécessité de la réalisation d'un large éventail d'activités et d'études, pour la livraison avec succès le projet routier. Afin d'aboutir à un projet routier techniquement et qualitativement inséré dans le paysage, la mise en place des études géotechniques dès le début de la conception de tous les paramètres du projet apparaît comme primordial.

La géotechnique est donc indispensable à l'art de construire ; l'ignorer conduit presque toujours au dommage, à l'accident, voire à la catastrophe. Ainsi, les études géotechniques doivent être nécessairement mises en œuvre suivant la norme NF P 94 500 par des géotechniciens et des techniciens qualifiés afin d'identifier les risques géotechniques et d'assurer la maîtrise de ces risques. Il s'avère que les missions géotechniques au sens de la norme NF P 94 500 ont des avantages considérables pour atteindre la performance et la qualité des ouvrages géotechniques.

Le projet routier est souvent soumis à des risques géotechniques multiples pouvant influencer à leur bon fonctionnement voire leur arrêt partiel ou total, leur destruction, leur dommage, etc. Ces arrêts peuvent être d'ordres naturels, anthropiques ou autres. Quelque soit le type de risques (naturels ou anthropiques), ces derniers ont un impact très fort sur les coûts, les délais et sur la pérennité de l'infrastructure routière.

Il existe en effet différents risques géotechniques impactant le projet routier. Cependant, les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle (glissement de terrain, éboulement, coulée de boue, affaissement et effondrement, retrait et gonflement) ou anthropique (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.). Par leur diversité et leur fréquence, ils sont néanmoins responsables de dommages et de préjudices importants et coûteux.

Ainsi, les risques liés aux mesures et incertitudes in-situ et/ou laboratoire sont dus à la variabilité intrinsèque des caractéristiques des matériaux et milieux naturels étudiés, et aux appareils de mesure, voire aux facteurs humains. Il est à noter que pour, maîtriser les risques liés aux mesures et incertitudes, les campagnes géotechniques doivent être

accréditées par la norme ISO 17025 afin de limiter ces risques en assurant la fiabilité des mesures.

Il existe aussi d'autres familles des risques impactant le projet routier, qui sont des risques affectant les chaussées, « Les phénomènes de dégradations ». Les phénomènes de dégradations les plus rencontrés sur les chaussées souples sont les fissurations, les remontés de matériaux, la déformation et les arrachements. La gestion des risques doit prendre en considération la particularité de chaque type de dégradation, par exemple, le plus important pour la fissuration, est de prévoir le moment où la fissuration va se déclencher avant qu'elle apparaisse en surface ; mais, pour les autres dégradations, les déclenchements commencent dès la mise en circulation de la chaussée, et donc la gestion des risques doit mettre en œuvre les mesures nécessaires pour faire face aux phénomènes de dégradations avant et après le déclenchement.

La nécessité d'un système de gestion des risques est indispensable pour mettre en place les mesures préventives appropriées à travers toutes les phases de faisabilité, de conception et de construction du projet routier.

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

Une approche par la résilience favorise la mise en place des mesures de préventions et de protections pour mitiger ou réduire les effets d'un événement à risque. Donc, mettre en place une stratégie de résilience, c'est accepter la catastrophe, mais tout faire pour en réduire les impacts. Aussi, pour augmenter la résilience des risques dans le projet routier, les acteurs peuvent intervenir sur les mesures de prévention et de protection pour réduire les conséquences et assurer la stabilité du système dans le cas de défaillance.

Pour réduire les impacts des risques géotechniques dans le projet routier, il est nécessaire de développer des connaissances et des pratiques gestionnaires qui tiennent compte des vulnérabilités sur les chaussées, mais aussi, des enjeux matériels, environnementaux et humains exposés aux aléas, dans les dispositifs de prévention et de protection sont comme suite :

- La cartographie des risques comme outil de gestion des risques ;
- Les investigations sur les terrains pour connaître les événements à risques et prendre les mesures de prévention ;
- La surveillance et l'alerte pour suivre l'évolution des mouvements de terrain et de prendre les mesures de sécurité ;
- Le respect des exigences et des règles de l'art ;

- Le respect des normes (la norme NF P 94 500, ISO 17025, etc.) ;
- Compétence et expertise ;
- La protection et la mitigation afin d'atténuer les effets des risques (adaptation, confortement, renforcement, etc.) ;
- La réparation et la correction pour limiter les conséquences des risques (renforcement, traitement, reconstruction, réhabilitation, organisation du secoure, etc.) ;
- Le retour d'expérience pour améliorer la gestion des risques.

Enfin, les infrastructures routières ne peuvent être protégées contre tous les risques. En appliquant l'approche de résilience celle-ci peut rendre moins vulnérable l'ensemble du réseau routier par la mise en œuvre des stratégies et des mesures de prévention et de protection.

Des études ou des recherches peuvent être explorées concernant le concept de résilience et la gestion des risques, pour réduire les pertes en vies humaines, les blessures et les dommages causés par les catastrophes.

Nous pouvons envisager quelques sujets de réflexion pour les futurs chercheurs et dont les intitulés se présentent comme suit :

- ❖ Développement d'outils et de techniques de résilience afin d'améliorer le management des risques.
- ❖ L'impact de l'accréditation ISO 17025 dans la mitigation des risques dans les projets routiers.
- ❖ Utilisation de la méthode RBS dans le management des risques dans les projets routiers

BIBLIOGRAPHIE

1. **ALLAL M. A., (2008)**, « *Management de projet* », Cours photocopié pour post graduation, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, (Algérie).
2. **ALLAL M. A., BENACHENHOU K. A., (2011)**, « *La conduite des missions géotechniques par la qualité : essai de modélisation systémique de la norme NF P 94 500* », éditions EUE, 186 p., ISBN 978-613-1-59680-3, (Allemagne). http://www.amazon.fr/conduite-missions-g%C3%A9otechniques-par-qualit%C3%A9/dp/6131596808/ref=sr_1_3?s=books&ie=UTF8&qid=1320776688&sr=1-3
3. **ALLAL M. A., BENACHENHOU K. A., (2010)**, « *La conduite des missions géotechniques par la qualité : essai de modélisation systémique de la norme NF P 94 500* », Conférence Franco-Maghrébine en Ingénierie Géotechnique, 9-11 Décembre, Gammarth, Tunisie.
4. **AIPCR, (2010)**, « *Vers le développement d'une approche de gestion des risques* », Comité technique AIPCR 3.2 Gestion des risques liés aux routes, (France).
5. **ARSENIE I. M., (2009)**, « *Interprétation en contraintes effectives du comportement réversible des matériaux granulaires compactés non-saturés sous sollicitations triaxiales cycliques* », Mémoire d'Ingénieur en Génie Civil, Ecole Publique d'Ingénieurs et d'Architectures, INSA de Strasbourg, (France).
6. **BENACHENHOU K. A., ALLAL M. A., (2012)**, « *La conduite des missions géotechniques par la qualité : application de l'approche processus à la norme NF P 94 500* », Journées AUGC/IBPSA, 6-8 juin, Chambéry, France.
7. **BRUNEL H., (2008)**, « *Cours de route* », Université d'Orléans, I.U.T. de Bourges, (France).
8. **BAZIZ M. K., (2011)**, « *Effet de la variabilité des paramètres de calcul sur la stabilité des murs de soutènement* », Mémoire de magistère en Génie Civil, Université de Tizi Ouzou, (Algérie).
9. **BREYSSE, D., (2009)**, « *Introduction à la problématique des risques en Génie Civil* », Cour photocopié, Université Bordeaux I et d'UNIT, (France).
10. **BOUHLALI M., (2006)**, « *Les risques associés aux barrages* », Mémoire de magister en Génie Civil, Université de Tlemcen, (Algérie).
11. **BENOIT R., (2009)**, « *Résilience organisationnelle : Concepts et méthodologie d'évaluation* », Edition Presses Internationales Polytechnique.
12. **COMMISSION DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, (2004)**, « *Le développement de l'infrastructure routière* », Siège du Conseil National Economique et Social, (Algérie).

13. **CIKANKOWITZ A., (2005)**, « *Etude des modalités de mise en œuvre d'un système de management environnemental en amont de la réalisation d'un projet routier* », Mémoire de master en Sciences et Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieure des Mines Saint-Etienne, (France).
14. **CALVINO A., (2004)**, « *Méthodologie de caractérisation de l'aléa (éboulement) sur itinéraire* », Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nice, (France).
15. **COOPER D., GREY S., RAYMOND G., WALKER P., (2005)**, « *Project risk management guidelines: Managing Risk in Large Projects and Complex Procurement* », West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
16. **CNERIB, (2010)**, « *Guide de normalisation de la représentation graphique en matière d'urbanisme* », (Algérie).
17. **DODELIN R., (2001)**, « *Inventaire des cavités souterraines et données Juridiques* », Mémoire d'Ingénieur Géomètre Topographe, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes de Mans, (France).
18. **DIOUF M. O., GUEYE M. K., (2005)**, « *étude de comportement et de dégradation des chaussée en béton bitumineux : cas des dentelles de rive* », Mémoire d'Ingénieur en Génie Civil, Université de Dakar, (SENEGAL).
19. **DURVILLE J. L., (2004)**, « *Quelques remarques sur l'emploi des probabilités dans le domaine des risques naturels Cas des mouvements de terrain* », Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon, (France).
20. **DAUPHINÉ A., PROVITOLO D., (2007)**, « *La Résilience : Un concept pour la gestion des risques* », Annales de géographie, p. 115-125
21. **FAVRE J. L., (2004)**, « *Modalisation de l'incertain, fiabilité, analyse des risques* », Edition Ellipses.
22. **FUMEY M., (2001)**, « *Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés : application au choix des investissements de renouvellement d'installations* », Thèse de Doctorat en Systèmes Industriels, Institut National Polytechnique de Toulouse, (France).
23. **FERBER V., (2005)**, « *sensibilité des sols fins compactés à l'humidification apport d'un modèle de microstructure* », Thèse de doctorat en Génie Civil, Université de Nantes, (France).
24. **GODFRIN V. S., RASSE G., RIGAUD E., (2008)**, « *Vulnérabilité, Résilience et droit dans un contexte de développement durable* », Ecole des Mines de Paris, (France).
25. **HAKIKI K. A., (2010)**, « *La conduite des missions géotechniques par la qualité : Essai de modélisation systémique* », Mémoire de magister en Génie civil, Université de Tlemcen, (Algérie).
26. **HEMRI K., MOUNJI Y., LABIED H., (2010)**, « *Stabilisation de talus rocheux : Autoroute Marrakech- Agadir* », Laboratoire Public d'Essais et d'Etude, (MAROC).

27. **INERIS, (2002)**, « *Proposition d'une méthode d'analyse et de hiérarchisation des risques résiduels liés à l'exploitation d'un ancien bassin minier* », (France).
28. **INERIS, (2003)** : « *Outils d'analyse des risques générés par une installation industriel* », (France).
29. **INERIS, (2007)**, « *Évaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière* », (France).
30. **INERIS, (2009)**, « *Analyse du Retrait-Gonflement et de ses Incidences sur les Constructions* », (France).
31. **KEREBEL P., (2009)**, « *Management des risques* », Edition Eyrolles.
32. **KARA-TERKI D., (2011)**, « *L'approche systémique et l'analyse des risques. Cas des systèmes hydrauliques de la wilaya de Tlemcen* », Mémoire de magister en Génie Civil, Université de Tlemcen, (Algérie).
33. **LOI MOP JUILLET 1985/ NORME NF P 94-500 DÉCEMBRE 2006, (2010)**, « *Synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique et de maîtrise d'œuvre pour la construction d'infrastructures* », Edition Syntec-Ingénierie.
34. **LADGHEM C. F., (2009)**, « *Prévention du risque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètres géotechniques* », Mémoire de Magister en Génie Civil, Université de M'sila, (Algérie).
35. **LTPP, (2009)**, « *Manuel de management de la qualité* », (France).
36. **LTPO, (2012)**, « *Effondrement du chemin communal de Mostaganem* », (Algérie).
37. **MARTIN P., (2007)**, « *Ces risques que l'on dit naturels* », Edition Eyrolles, (France).
38. **MARTIN P., (2005)**, « *Géotechnique appliquée au BTP* », Edition Eyrolles, (France).
39. **MEZHOUD L., (2007)**, « *La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine* », Mémoire de magister en Sciences de la terre, Université de Constantine, (Algérie).
40. **MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURALE, (2007)**, « *le retrait-gonflement des argiles* », Direction de la prévention des pollutions et des risques, (France).
41. **MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DE LA CONSTRUCTION, (1976)**, « *Types de dégradations de chaussées* », (Algérie).
42. **MAZOUNI M. H., (2008)**, « *Pour une meilleure approche du management des risques : De la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision* », Thèse de doctorat en Automatique, Institut National Polytechnique de Lorraine, (France).

43. **MONTEAU M., FAVARO M., (1990)**, « *Bilan des méthodes d'analyse a priori des risque : Principale méthodes de la sécurité des systèmes* », Centre de Recherche de l'INRS Nancy, (France).
44. **MARQUES G., (2010)**, « *Management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration au sein d'une chaîne logistique: une approche par simulation* », Thèse de Doctorat en Systèmes Industriels, Université de Toulouse, (France).
45. **MEZHOUD L., (2006)**, « *La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine* », Mémoire de magister en Aménagement du Territoire, Université de Constantine, (Algérie).
46. **MINISTERE DES TRANSPORT QUEBEC, (2011)**, « *Guide de gestion des projets routiers* », Direction du Soutien aux Opérations, (Canada).
47. **MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER, (2009)**, « *Guide d'application de la circulaire du 7 janvier 2008, fixant les modalités d'élaboration, d'instruction, d'approbation et d'évaluation des opérations d'investissement sur le réseau routier national* », (France).
48. **NF P 94-500, (2006)**, « *missions d'ingénierie géotechnique classification et spécification* », Norme française, AFNOR, (France).
49. **NF EN ISO/CEI 17025, (2005)**, « *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais* », Norme française, AFNOR, (France).
50. **PORTET F., NOËL O., (2011)**, « *Géotechnique routière : Contexte et finalités* », Ecole Nationale des Techniciens de l'Equipement, (France).
51. **PAIRET J.Y., (2009)**, « *Méthodologie d'évaluation de la résilience* », Mémoire de magister en Sciences Appliquées, Université de Montréal, (Canada).
52. **SAYAGH S., JULLIEN A., VENTURA A., (2008)**, « *Rôle des acteurs dans le processus d'élaboration de projets routiers. Analyse de l'approche opérationnelle et recherche de critères décisionnels* », Développement Durable et Territoires, Points de vue, in : <http://developpementdurable.revues.org/6283>
53. **SETRA, (2008)**, « *Insertion d'une infrastructure routière : Concilier terrassements et enjeux paysagers* », Guide Technique n° 84, (France).
54. **TACNET J. M., BURNET R., (2007)**, « *Risques naturel : Organisation de la gestion et la prévention en France* », Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, (France).
55. **TILLE M., (2001)**, « *Choix de variantes d'infrastructures routières : Méthodes multicritères* », Thèse de Doctorat en Sciences Techniques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, (Suisse).
56. **TOMPKINS E. L., ADGER W. N., (2004)**, « *Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change?* », Ecology and Society, in : <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art10>

- 57.USG, (2007),** « *Recommandations sur la consistance des investigations géotechniques pour la construction de bâtiments* », Rapport à l'usage des professionnels, (France).
- 58.UNISDR, (2009),** « *Terminologie pour la prévention des risques de catastrophe* », (Suisse).
- 59.VERDEL T., (1999),** « *Méthodologie d'évaluation globale des risque : Application potentielles au génie civil* », Ecole des Mines de Nancy, (France).
- 60.WAKIM J., (2005),** « *Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses* », Thèse de doctorat en Technique et Economie de l'Exploitation du Sous-sol, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, (France).
- 61.ZERHOUNI M. I., (2011),** « *Pour une bonne réalisation des Ouvrages géotechniques* », Salon de la Géotechnique du Forage et des Fondations, (France).

WEBOGRAPHIE

1. <http://www.autoalgerie.com/amar-ghoul-l-algerie-dispose-de,3993>, (consulté le 22/04/2012).
2. <http://www.algerie-dz.com/article12102.html>, (consulté le 22/04/2012).
3. http://www.lactualite-dz.info/Renforcement-du-reseau-routier-national-5-000-km-de-routes-seront-lancees-en-2012_a1173.html, (consulté le 23/04/2012).
4. http://gpp.oiq.qc.ca/le_cycle_de_vie_d_un_projet.htm
5. <http://www.commentcamarche.net/contents/projet/etapes-projet.php3>
6. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-principales-etapes-de-l,3228.html>
7. http://www.mementodumaire.net/01risques_naturels/RN4.htm
8. <http://www.levif.be/info/actualite/belgique/intemperies-orp-jauche-village-maudit/article-1195087707906.htm>
9. http://www.auto-utilitaire.com/actualites/actualites_algerie/4312-remise-en-l%E2%80%99%C3%A9tat-de-la-rn-24-dans-un-d%C3%A9lai-de-10-jours.html
10. <http://www.scribd.com/doc/33131067/Gestion-Risques>
11. <http://physio-geo.revues.org/1147>
12. <http://french.peopledaily.com.cn/VieSociale/7931075.html>

RESUME

Ce travail fait partie d'une série de recherches consacrées à la caractérisation et la résilience des risques géotechniques dans un projet routier, qui se fait avec une approche du management des risques.

Tous d'abord, nous avons commencé par définir les étapes de projet routier et l'importance de la géotechnique dans les projets routiers.

Ensuite, nous avons essayé de mieux caractériser les risques géotechniques et de mieux comprendre les causes qui font déclencher ces événements.

Après avoir cadré les risques géotechniques, nous avons abordé l'essentiel des activités relatives du management des risques et son processus général : l'identification, l'évaluation, et les stratégies de réponse pour les risques dans les projets routiers.

Aussi, pour manager les risques géotechniques avec plus d'efficacité, nous avons proposé une nouvelle forme de la gestion des risques dans les projets routiers basée sur la stratégie de la résilience. Les risques vont être réduits et mitigés par l'approche de résilience, qui consiste à résister et à s'adapter à un risque, ainsi à en gérer ou éviter les conséquences négatives.

Mots clés : *Projet routier, Géotechnique, Management, Risque, Résilience.*

ABSTRACT

This work is part of a series of research devoted to the characterization and the resilience of geotechnical risks in a road project, which is done with an approach to risk management.

First of all, we started by definition the steps of road project and the importance of the geotechnical in road projects.

Then, we have tried to characterize the geotechnical risks and to understanding the causes that are trigger these events with better way.

After corresponding geotechnical risks, we have addressed the essential related activities of risk management and general process: identification, assessment, and strategies in response to the risks in the road projects.

Also, to manage the geotechnical risks with more efficiency, we have proposed a new form of risk management in the road projects based on the strategy of resilience. The risks will be reduced and mitigated by the approach of resilience, which is to resist and to adapt to a risk and to manage or avoid negative consequences.

Keywords: *Road Project, Geotechnical, Management, Risk, Resilience.*

ملخص

يندرج هذا العمل ضمن سلسلة من البحوث المختصة بتوصيف و مرونة المخاطر الجيوتقنية أو القدرة على مواجهتها في مشروع مختص بالطرق مع استعمال منهج تسيير أو إدارة المخاطر .

أولا بدأنا بتعريف مراحل مشروع الطريق و أهمية الجيوتقنية في المشاريع المختصة بالطرق .

ثم حاولنا وصف المخاطر الجيوتقنية على أحسن وجه والفهم بطريقة أفضل الأسباب التي تنطلق منها الأحداث .

بعد تأطير المخاطر الجيوتقنية تحدثنا عن أهمية النشاطات و السيرورة العامة المرتبطة بتسيير المخاطر : التحديد , التقييم و إستراتيجية رد الفعل للمخاطر في المشاريع المتعلقة بالطرق .

كذلك لتسيير المخاطر الجيوتقنية بفعالية أكثر , اقترحنا شكلا جديدا للتحكم فيها , لنقص من حدة خطرها و تسيير أو تفادي النتائج السلبية بناء على إستراتيجية مرونة المخاطر .

الكلمات الرئيسية : مشروع طريق , الجيوتقنية , تسيير المخاطر , مخاطر , مرونة المخاطر