TABLE DES MATIERES

DEDICACE **ii**

REMERCIEMENTS **iii**

RESUME EN FRANÇAIS **v**

RESUME EN ANGLAIS **vi**

RESUME EN ARABE **vii**

ACRONYMES **xi**

FIGURES ET TABLEAUX **xii**

INTRODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE 1 LES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS LA CONSTRUCTION **5**

1. INTRODUCTION **/5**
2. CONCEPTS DE RISQUE, DEFINITIONS, CLASSIFICATION **/6**
   - 2.1 Concepts et définitions **/6**
   - 2.2 Classification des risques **/10**
3. LES RISQUES DANS LA CONSTRUCTION **/10**
4. LES RISQUES GEOTECHNIQUES **/15**
   - 4.1 Les paramètres incertains en géotechnique **/15**
   - 4.2 Risques géotechniques d'origine naturelle **/21**
   - 4.3 Risques géotechniques d'origine anthropique **/24**
5. L'IMPORTANCE DE LA GEOTECHNIQUE DANS LES PROJETS DE CONSTRUCTION **/25**
6. LES DIFFERENTES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUES SUIVANT LA NORME NF P 94-500 : 2013 **/26**
   - 6.1 Schéma d'enchainement des missions types d'ingénierie géotechnique **/28**
   - 6.2 L'importance de la norme dans la maitrise des risques géotechnique tout au long du cycle de vie du projet **/29**
7. CONCLUSION **/32**

CHAPITRE 2 DE LA NECESSITE DE L'INTEROPERABILITE DANS LES PROJETS DE CONSTRUCTION **34**

1. INTRODUCTION **/34**
2. L'ACTE DE CONSTRUIRE **/35**
3. ROLES ET RESPONSABILITES DES INTERVENANTS DANS L'ACTE DE CONSTRUIRE **/36**
   - 3.1 L'environnement de la construction et les parties prenantes **/37**

3.2 Les différents intervenants dans l'acte de construire **/39**

3.3 La relation entre les acteurs et les types de contrat **/41**

4. LE PROCESSUS DE COMMUNICATION ET D'ECHANGE D'INFORMATIONS **/44**

4.1 La réunion **/45**

4.2 Les différents types de documents **/45**

4.3 Le mode (le flux) d'échange de documents **/47**

5. L'INTEROPERABILITE DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION ET LE CONCEPT DU TRAVAIL COLLABORATIF **/48**

5.1 Importance de la collaboration **/49**

5.2 Définitions et types d'interopérabilité **/51**

5.3 Les barrières de l'interopérabilité **/52**

5.4 Processus collaboratif : Concepts et définitions **/53**

5.5 Typologie des outils de travail collaboratif **/54**

6. DE LA MISE EN ŒUVRE D'UNE COLLABORATION A L'INTEROPERABILITE **/61**

7. CONCLUSION **/62**

CHAPITRE 3 LA SYSTEMIQUE : UNE APPROCHE NECESSAIRE POUR LA GESTION DES RISQUES 63

1. INTRODUCTION **/63**

2. COMPLEXITE ET GESTATION DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE **/64**

3. DU SYSTEME A LA SYSTEMIQUE **/65**

3.1 La complexité **/66**

3.2 Le système **/66**

3.3 La globalité **/67**

3.4 L'interaction **/68**

4. LA SYSTEMIQUE : UNE METHODE **/68**

4.1 L'investigation systémique **/69**

4.2 La modélisation qualitative **/70**

4.3 La modélisation dynamique **/70**

5. L'APPROCHE SYSTEMIQUE APPLIQUEE AUX PROJETS DE CONSTRUCTION **/71**

5.1 Le projet de construction, un système **/71**

5.2 Le projet de construction, un système complexe **/73**

5.3 La Modélisation systémique du projet de construction **/74**

6. DE LA NECESSITE DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE DANS LA GESTION DES RISQUES **/77**

6. 1. Niveau de complexité en gestion des risques **/79**

6. 2. Représentation du processus de danger **/79**

7. LA GESTION DES RISQUES PAR LA METHODOLOGIE MADS-MOSAR **/82**

7.1 Le modèle général de danger MADS **/83**

7.2 La méthodologie MOSAR **/84**

8. CONCLUSION **/86**

CHAPITRE 4 APPLICATION DE LA METHODE MADS MOSAR A UN PROJET ROUTIER 87

1. INTRODUCTION **/87**

2. METHODOLOGIE **/88**

2.1 Méthode MOSAR / Démarche de référence **/88**

2.2 Description des étapes du module A (Perilhon, 2000, 2007) **/89**

3. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE MOSAR **/97**

3.1 Présentation du projet d'étude **/97**

3.2 Etape par étape : résultats **/99**

4. GESTION ORGANISATIONNELLE DES RISQUES **/136**

5. CONCLUSION **/139**

CONCLUSION GENERALE 140

BIBLIOGRAPHIE 144

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

A.C.T. Assistance aux Contrats des Travaux

ADD Arbre De Défaillance

AFIS Association Française d'Ingénierie Système

AFSCET Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, Cognitifs et Techniques

AFNOR Association Française de Normalisation

AMDE Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets

AMDEC Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité

AOR Assistance aux opérations de réception

APD Avant-Projet Détaillé

APR Analyse Préliminaire des Risques

APS Avant-Projet Sommaire

BIM Building Information Modeling

BKRMS BIM and Knowledge based Risk Management System

BT Barrière Technologique

BU Barrière d'Utilisation

CEA Commissariat à l'Energie Atomique

CRMS Construction Risk Management System

DB Design build

DBB Design bid build

D.C.E. Dossier de Consultation des Entreprises

D.E.T Direction d'exécution des travaux

D.T.U. Document Technique Unifié

EIF European Interoperability Framework

ENS Evènement Non Souhaité

EP Evénements principaux

ES Etude du site

ETICS External Thermal Insulation Composite System

EXE Exécution

GEM Groupe des Ecoles des Mines

HAZOP HAZard and OPerability analysis

I.G. Investigations Géotechniques

INERIS Institut national de l'environnement industriel et des risques

ISO International Standard Organisation

LPP Projet promotionnel public

MADS Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnements des systèmes

MO Maitre d'ouvrage

MOE Maitre d'oeuvre

MOSAR Méthode Organisé Systémique d'Analyse des Risques

MRGenCI Maitrise des risques en génie civil

PGC Principes généraux de construction

PMBOK Project management body of knowledge

PMI Project management Institute

PRO Projet

PV Procès-verbal

REX Retour d'Expérience

RN Route nationale

SCDB Scénario dépassement de budget

SCNC Scénario Non-respect du contenu

SCDD Scénario dépassement de délais

SCCP Scénario clôture du projet

SS Sous-systèmes

SMACC Stochastic Multi-Agent simulation for Construction project

S.M.Q. Système de Management de la Qualité

U.S.G. Union Syndicale Géotechnique Française

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

1. LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Exemple de représentation de la criticité d'un risque 8

Figure 1.2 Quelques travaux de recherche sur le risque dans la construction 11

Figure 1.3 Types des incertitudes des propriétés du sol (Kulhawy, 1992) 16

Figure 1.4 Procédure de mise au point et de validation d'un modèle de calcul en géotechnique (Mestat, 2005, in Breysse, 2009c) 19

Figure 1.5 Répartition statistique des facteurs de défaillance (Matousek, 1976) 20

Figure 1.6 Classification des mouvements de terrain 22

Figure 1.7 Schéma d'enchainement des missions géotechniques 27

Figure 1.8 Enchainement des missions géotechniques/aux phases d'élaboration du projet 28

Figure 1.9 Traitement des risques/aux missions géotechniques/aux phases d'élaboration du projet 30

Figure 1.10 Cycle de développement des missions géotechniques 32

Figure 2.1 Principales phases d'un projet de construction 37

Figure 2.2 Environnements et parties prenantes (Benachenhou et al., 2016) 38

Figure 2.3 Les processus du management des parties prenantes (PMI-PMBOK, 2013) 39

Figure 2.4 Structure générale de la chaîne de production d'une construction (Boton, 2013) 40

Figure 2.5 Modèle traditionnel [DBB] 42

Figure 2.6 Modèle Etude/Réalisation 43

Figure 2.7 Exemple de synchronisation cognitive (Hanser, 2003) 45

Figure 2.8 Les documents produits au cours d'une opération de construction (Rochat et Dusart, 1996, in Hanser, 2003) 46

Figure 2.9 Flux d'échange de documents (Malcurat, 2001) 48

Figure 2.10 Stratégie mises en place par les entreprises en réseau (Camarinha-Matos et Afsarmanesh, 2008) 50

Figure 2.11 Synthèse coopération-coordination et collaboration (Levan, 2016) 50

Figure 2.12 Le modèle évolué du trèfle fonctionnel (David, 2001) 55

Figure 2.13 Répartition des types d'usages dans le modèle spatio-temporel (Zignale, 2013) 55

Figure 2.14 Positionnement des services par rapport aux caractéristiques d'une activité collective (Laaroussi 2007, Guerreiro 2009, Zignale, 2013) 56

Figure 2.15 Représentation graphique des principaux outils de travail collaboratif (Piquet, 2009) 58

Figure 2.16 Exemples de fonctions proposées par les logiciels « Meeting 3D » et « Workspace 3D » 59

Figure 2.17 Exemples de fonctions proposées par Google Drive 60

Figure 3.1 Concepts de base de la systémique 65

Figure 3.2 Le système général (Le Moigne, 2006) 67

Figure 3.3 Les composants d'un système 67

Figure 3.4 Les étapes de la démarche systémique (Donnadieu, Karsky, 2002) 69

Figure 3.5 Modélisation de l'action 75

Figure 3.6 Modèle canonique O.I.D (Le Moigne, 1999, Deroussy, 2015) 76

Figure 3.7 Les situations de management des risques (Montmain et al., 2007) 78

Figure 3.8 Biprocesseur orienté (Lesbats, 2012) 80

Figure 3.9 Sources de flux et effets ; effet de zoom (Lesbats, 2012) 80

Figure 3.10 Flux de danger (Lesbats, 2012) 81

Figure 3.11 Flux de champ (Lesbats, 2012) 81

Figure 3.12 Le processus de danger, représentation et construction : modèle de référence (Lesbats, 2012) 82

Figure 3.13 Modèle de processus de danger (Benachenhou et al., 2016) 84

Figure 3.14 La structure de la méthode MOSAR (Adapté de Perilhon, 2000) 86

Figure 4.1 Structure simplifiée de MOSAR module A (Adaptée de Perilhon, 2007) 89

Figure 4.2 Génération de scénarios courts par le schéma des boîtes noires (Perilhon 2007) 93

Figure 4.3 Grille Gravité/Probabilité 95

Figure 4.4 Le modèle MADS et les différents positionnements possibles de barrières (Perilhon, 2003) 96

Rapport-Gratuit.com

Figure 4.5 Situation de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 98
Figure 4.6 Décomposition du système route en sous-système source de danger 99
Figure 4.7 Scénario court du SS1 Chaussée 114
Figure 4.8 Scénario court du SS2 Equipements 115
Figure 4.9 Scénario court du SS3 Engins 116
Figure 4.10 Scénario court du SS4 Ressource humaine 117
Figure 4.11 Scénario court du SS5 Environnement global 118
Figure 4.12 Scénario court du SS6 Environnement spécifique 119
Figure 4.13 Scénario court du SS7 Acteurs du projet 120
Figure 4.14.a Scénarios longs d'enchaînements d'évènements .....121 et 122
Figure 4.14.b Scénarios longs d'enchaînements d'évènements 123
Figure 4.14.c Scénarios longs d'enchaînements d'évènements 124
Figure 4.14.d Scénarios longs d'enchaînements d'évènements 125
Figure 4.14.e Scénarios longs d'enchaînements d'évènements 126
Figure 4.15 Arbre de défaillance – Dépassement de Budget.....128
Figure 4.16 Arbre de défaillance – Dépassement de Délais.....129
Figure 4.17 Arbre de défaillance – Non-respect du contenu.....130
Figure 4.18 Arbre de défaillance – Clôture projet non achevé 131
Figure 4.19 Grille Gravité/Probabilité 133
Figure 4.20 Typologie des outils de travail collaboratif 138

2. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Définitions non exhaustives du risque (Talon, 2006, enrichi par l'auteur). 9

Tableau 2.1 Les avantages et les limites du contrat traditionnel 42
Tableau 2.2 Les avantages et les limites du contrat Etude/Réalisation 43

Tableau 4.1 Systèmes sources de danger dans la construction 91
Tableau 4.2 Canevas Tableau A reprenant le processus de danger MADS (Adapté de Perilhon, 2007)..... 92
Tableau 4.3 Niveau de sévérité (criticité) des risques.....96
Tableau 4.4 Information sur la bretelle principale « A » 98

Tableau 4.5 Etablissement des processus de danger du sous-système Chaussée 101

Tableau 4.6 Etablissement des processus de danger du sous-système Equipements 102

Tableau 4.7.a Etablissement des processus de danger du sous-système Engins 103

Tableau 4.7.b Etablissement des processus de danger du sous-système Engins 104

Tableau 4.8.a Etablissement des processus de danger du sous-système Ressource humaine 105

Tableau 4.8.b Etablissement des processus de danger du sous-système Ressource humaine 106

Tableau 4.9.a Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement global 107

Tableau 4.9.b Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement global 108

Tableau 4.10 Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement spécifique 110

Tableau 4.11 Etablissement des processus de danger du sous-système Acteurs du projet 111

Tableau 4.12 Matrice d'évaluation des évènements critiques 132

Tableau 4.13 Établissement des barrières sur les évènements de base.....135

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

INTRODUCTION GENERALE

Depuis quelques années, les questions relatives au risque et à la sécurité dans le BTP reviennent périodiquement à la une de l'actualité, le plus souvent à la suite d'accidents spectaculaires qui interpellent les citoyens et les pouvoirs publics. Dans le même temps, l'ingénierie de la construction connaît une évolution en termes d'organisation et de management. Les exigences d'amélioration de la productivité et de la qualité, tout en respectant les délais, coûts et performances imparties, conduisent souvent à des échanges peu structurés entre les acteurs du projet, ce qui nuit au management des risques, qui est souvent une dimension occultée dans les projets (Breysse, 2009a). Dans le domaine de la construction, comme dans de nombreux autres domaines, les risques liés aux projets peuvent provenir de nombreuses sources telles que le comportement des acteurs, leurs interactions, la non-maîtrise des flux internes au projet (Chapman, 2001). En effet, la conception des ouvrages, leur réalisation mais aussi leur exploitation, sont les phases de la vie d'un ouvrage de génie civil pendant lesquelles les acteurs diffèrent, les personnes ou les biens exposés diffèrent, et les risques engendrés également (Verdel, 2000). Un projet de construction fait intervenir, de nos jours, de plus en plus d'acteurs de différents domaines de connaissances. Cet aspect pluridisciplinaire pose le problème de l'interopérabilité entre les acteurs, et la gestion globale des risques. Les relations complexes entre les nombreux acteurs et l'organisation du projet participent significativement à la réussite ou à l'échec des projets (Klemetti, 2006). La bonne gestion des flux de matière, d'énergie, de documentation et d'information est essentielle (Breysse, 2011).

En Algérie, les grands projets d'infrastructures, dont certains étaient en souffrance depuis plusieurs décennies, ont été relancés dans les années 2000, avec des échéances précises. Malheureusement, les retards accusés et les surcoûts engendrés ainsi que les dégradations et les malfaçons observées dans certains projets nous confirment que l'industrie de la construction manque de maîtrise dans le pilotage des projets, et particulièrement en ce qui le management des risques projet. Aussi, les exemples sont nombreux et la liste est longue. Pour ne citer que le cas de l'autoroute Est-Ouest, un projet phare de l'Etat, qualifié par Chelghoum de projet « jetable » et qui continue à « subir des dégradations considérables en malfaçons le long de son tracé jonché d'affaissements, éboulements, crevasses, fissures, glissements et sinistres pathologies irréversibles de tous genres qui méritent largement de remplir la rubrique « catastrophes exceptionnelles » dans le Guinness Book of Records » (Chelghoum, 2017). De plus, ce projet, qui a été lancé en 2006, pour un délai de réalisation de 40 mois, est toujours en chantier et la question des malfaçons constatées revient avec acuité. Cet exemple présente une réalité que connaissent de nombreux projets dans le BTP en Algérie.

Ainsi, il est venu le temps ou l'intégration du management des risques est une nécessité pour assurer la qualité et la pérennité des ouvrages routiers en Algérie. Ceci passe par la

mise en place d'une procédure agile de gestion du risque tout au long du projet, jusqu'aux mesures à mettre en œuvre pour réduire ces risques ou les rendre acceptables (actions préventives et/ou de protections).

De nombreux outils et méthodes, développés initialement dans les secteurs de la finance et industriel, existent pour l'analyse des risques ; leur transposition au secteur de la construction ne peut se faire sans une vision systémique et une identification précise des interactions et des pratiques d'échange entre les différentes parties prenantes du projet (Malcurat 2001).

L'approche classique utilisée actuellement dans les projets de construction, même si elle permet de minimiser les aléas et/ou la vulnérabilité, n'apporte pas toujours les résultats souhaités parce qu'elle ne tient pas compte, d'une part, de la complexité de l'environnement technique, administratif et réglementaire d'une opération publique de construction, et d'autre part, de la multiplicité et diversité des intervenants dans un projet de construction qui induit une difficulté de communication formelle entre les différents acteurs.

Après avoir fait ce constat de consensus et montré ainsi la nécessité d'intégrer le management des risques de manière systémique dans les projets de construction, la problématique de recherche du présent travail peut s'énoncer sous la forme des questions suivantes :

- Quelle stratégie et quel outil utiliser pour manager les risques géotechniques dans un projet routier tout en sachant que l'absence d'interopérabilité est une des sources de danger ?
- Quelle méthode de management des risques choisir dans l'environnement algérien des travaux publics, où les problèmes de coordination et de collaboration entre les parties prenantes sont prégnants, et sachant que l'on est en face d'un système (le projet de construction) avec toute sa complexité ?
- Comment pouvons-nous envisager l'intégration d'une analyse des risques géotechniques par la méthode MADS-MOSAR dans un projet routier où l'interopérabilité n'y est pas formalisée à priori ?

Pour essayer de répondre à ces questions, et d'apporter une valeur ajoutée utile à la gestion des projets routiers en Algérie, l'objectif fondamental de cette thèse est de traiter de la résilience de notre périmètre d'étude (Bretelle A de l'échangeur de la RN2) aux risques géotechniques, qui doit se faire avec une approche intégrée et une vision systémique du management des risques. Celle-ci est déclinée avec une démarche de gestion des risques à partir de la méthode MADS-MOSAR en développant les aspects pertinents suivants :

- Identification et classification des risques géotechniques dans un projet routier en y intégrant l'interopérabilité des parties prenantes.
- Modélisation systémique et systématique des systèmes source de danger.

- Résilience et mitigation des risques géotechniques dans un projet routier par une approche personnalisée de la méthode MADS-MOSAR.
- De montrer la pertinence de ces outils et de la nécessité d'intégrer des outils pour améliorer l'interopérabilité en vue de minimiser les risques géotechniques dans les projets routiers en Algérie.

Ce document est organisé en quatre chapitres. Le chapitre 1 permet d'introduire notre travail de recherche. Après une présentation générale des risques et de leurs classifications, nous nous focaliserons sur les risques dans la construction et plus précisément les risques géotechniques et leurs origines. Les incertitudes, variabilités et erreurs se rapportant à la géotechnique seront ensuite expliquées. Par la suite, l'enchaînement des missions géotechniques suivant la norme NFP 94-500 : 2013 sera présenté et on conclura sur l'importance de la norme dans la maîtrise des risques géotechniques tout au long du cycle de vie d'un projet.

Dans le chapitre 2 intitulé « L'interopérabilité dans les projets de construction », nous allons d'abord définir l'acte de construire, les différents intervenants dans l'acte de construire, leurs missions, rôles, responsabilités, relations contractuelles ainsi que les notions d'interopérabilité et de travail collaboratif qui résument le mieux le nouveau besoin du secteur de la construction.

Au chapitre suivant nous abordons l'approche systémique, ses préceptes, son évolution pour traiter la question de la complexité puis on se focalise sur l'approche systémique appliquée aux projets routiers,et comment elle peut faciliter la détermination d'objectifs partagés et la mise en place de logique d'interopérabilité en vue d'une meilleure efficacité dans la gestion des risques pour la réussite des projets.

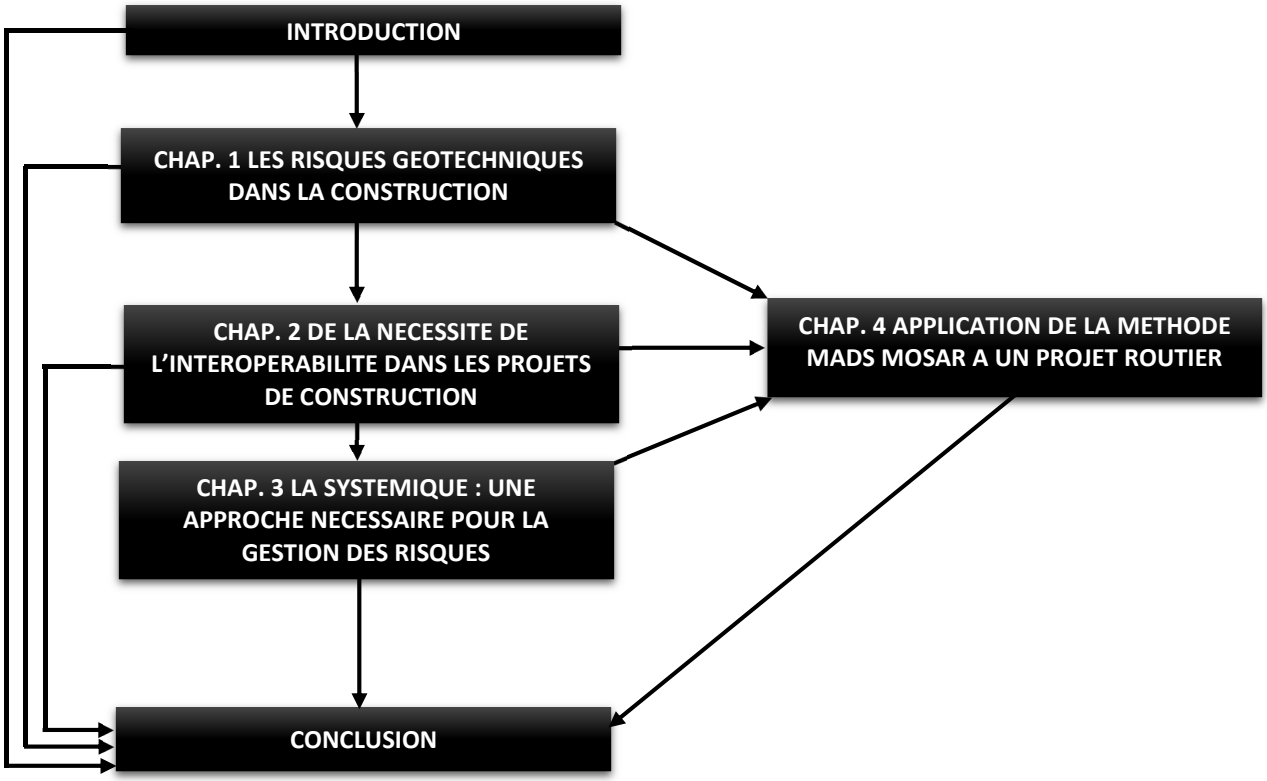
Le but du dernier chapitre est de montrer comment la méthode MADS-MOSAR peut aider à évaluer les risques géotechniques et à mettre en exergue l'interopérabilité des parties prenantes en nous appuyant sur l'étude du cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 (Tlemcen, Algérie).

Enfin, ce modeste travail de recherche s'achève par une conclusion qui met en valeur les principaux résultats obtenus et observations constatées en vue de légitimer l'utilité du management des risques dans la construction en Algérie. Aussi, des perspectives, non exhaustives, sont proposées en vue de développer au mieux cet axe de recherche qui apportera les réponses utiles et nécessaires pour une meilleure efficacité du management des projets de construction nationaux. ■

Le plan schématique de la thèse est illustré ci-dessous.

Approche systémique du management des risques dans l'ingénierie géotechnique.

Pour une interopérabilité des intervenants dans l'environnement algérien



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

« La seule façon d'éviter, autant que faire se peut, les catastrophes ou accidents graves, ou d'en limiter les effets, c'est de s'y préparer sans esprit catastrophique mais avec lucidité et détermination ».
Haroun Tazieff

1

LES RISQUES GEOTECHNIQUES DANS LA CONSTRUCTION

1. INTRODUCTION

Depuis l'aube des temps, l'acte de construire, en plus de répondre à un besoin de protection et de survie, est synonyme de grandeur et de pouvoir pour ceux qui veulent marquer l'histoire. Ces préoccupations pour assurer la pérennité des ouvrages ont été toujours sous-tendues par l'adaptation du milieu naturel aux besoins de l'être humain, qui s'est toujours inquiété de la sécurité de son édifice, en choisissant, souvent avec beaucoup de bon sens, les sols les plus résistants (Allal & Benachenhou, 2011).

Les dernières décennies ont été marquées par des évolutions considérables en matière de réalisations civiles mais aussi par une sinistralité récurrente à travers le monde entier. Les désordres imputables au sol constituent le poste le plus lourd de la sinistralité globale enregistrée dans le secteur de la construction (Vallée & Codina, 2003), où la géotechnique est souvent le parent pauvre.

En effet, au fil des années, plusieurs facteurs ont évolué défavorablement, les projets deviennent plus complexes et les sites d'implantation encore disponibles sont de moindre qualité géomécanique ce qui représente des facteurs de risque d'origine géotechnique.

Devant ce constat, de complexité croissante des projets et des risques associés, une connaissance approfondie du sous-sol est obligatoire. Or, le sous-sol est par nature le domaine privilégié des incertitudes parce qu'il n'est pas visible, parce qu'il est hétérogène et que les risques géotechniques associés sont parfois difficiles à identifier avant leur survenance (NFP 94-500, 2013). Comme l'a si bien dit Sénèque : « Les phénomènes les plus confus et les plus irréguliers ne se produisent pas capricieusement. Ils ont aussi leurs causes... ».

Ce premier chapitre nous permet d'introduire notre travail de thèse. Après une présentation générale des risques et de leurs classifications, nous nous focaliserons sur les risques dans la construction et plus précisément les risques géotechniques et leurs origines. Les incertitudes, variabilités et erreurs se rapportant à la géotechnique seront ensuite expliquées. Par la suite, l'enchaînement des missions géotechniques suivant la norme NFP 94-500 (2013) sera présenté et on conclura sur l'importance de la norme dans la maîtrise des risques géotechniques tout au long du cycle de vie du projet.

2. CONCEPTS DE RISQUE, DEFINITIONS, CLASSIFICATION

2.1 Concepts et définitions

« Le risque constitue aujourd'hui un thème central dans nos sociétés » (Veyret et al., 2004), car il représente une préoccupation majeure des citoyens et des pouvoirs publics. Il est présent partout : en économie, en finance, dans le champ social, en droit bien sûr, mais aussi en médecine, dans le milieu militaire, etc. (Ewald, 1999). Plusieurs équipes académiques ou groupes de travail s'inscrivent dans cette thématique du risque, chacun avec un regard particulier. A titre d'exemple, on peut citer : le centre de recherche sur les risques et les crises de l'Ecole des Mines de Paris, le groupe des Ecoles des Mines (GEM) Risques, le groupement d'intérêt scientifique MRGenCI (maîtrise des risques en génie civil), Risk Research Group de la School of Management de l'Université de Southampton, équipe du CIRANO Montréal, etc.

Ainsi, le terme « risque » est quotidiennement utilisé et même s'il a fait l'objet de plusieurs travaux à partir de retours d'expérience entre experts pour proposer des définitions standard (par exemple par l'ISO), il reste un mot complexe et un concept polysémique avec plusieurs manifestations possibles (Sienou, 2009) selon les domaines scientifiques dans lesquels il est utilisé. Périlhon (2007) dans son ouvrage « La gestion des risques » explique la polysémie du mot risque comme « un développement historique du domaine du risque, en réponse aux besoins mais sans concepts supports, associé à des cultures d'entreprise différentes, au sein desquelles s'est souvent développé ce vocabulaire ».

Il apparait donc judicieux de revenir sur les origines de ce mot avant de fournir quelques définitions classiques et préciser la définition du risque qui est adoptée dans ce travail.

Le mot « risque » apparaît dans la littérature française au XVI e siècle, avec le sens de « hasard qui peut causer une perte ». L'étymologie, de ce terme est contestée : Latine, italienne, espagnole, arabe, etc. Il est difficile d'établir avec exactitude son origine. Plusieurs pistes explicatives ont été avancées ; deux pistes se partagent la majorité des suffrages et des références (Dacunha-Castelle, 1996, Zihri, 2004, Pradier, 2006, in Breysse, 2009a) :

- La première piste est nautique : les termes de risicus ou de riscus en bas latin, descendraient du latin resecare, « couper », ou resecum, « ce qui coupe », comme l'écueil en mer. Le passage au sens de risque viendrait des périls qui menacent toute marchandise en mer ;
- Selon l'autre piste principale, le mot viendrait du roman rixicare, du latin rixare, se quereller, qui aurait donné le français rixe, associant le danger à l'adversité. Le genre féminin original du mot risque en français proviendrait d'une confusion risque-rixe entre combat et danger.

Tandis qu'une origine aujourd'hui plus vraisemblable, quoique non consensuelle, pourrait être le mot arabe "Al Rizq" signifiant la part que Dieu donne à chacun et son caractère fortuit.

Face à cette variété de sources, de domaines ou de cultures, de nombreuses définitions ont été proposées.

Dans le langage courant, le risque est « un danger éventuel plus ou moins prévisible » (dictionnaire Petit Robert, 2017) ou « un danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé » (dictionnaire Larousse, 2018). On retrouve aussi dans le dictionnaire de la langue philosophique par Foulquié (1962) une définition originale du risque, pour ce qu'elle énonce en très peu de mots (in Le Ray, 2015a) « Danger ou péril dans lequel l'idée de hasard est accusée, mais avec la perspective de quelque avantage possible. C'est en vue de ces avantages que l'homme assume des risques, mais, d'ordinaire, tout en s'assurant le plus possible contre eux. ». Le risque a longtemps été assimilé à la notion du danger, cependant il doit être dissocié de celle-ci. Le danger correspond en effet à la propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique à pouvoir provoquer, entraîner des dommages. En d'autres termes pour qu'il y ait risque, il faut qu'il y ait danger et une cible (personne, projet, organisation, partie prenante, etc.) exposée à ce danger. Pas de danger, pas de risque. Pas de cible, pas de risque. La présence simultanée d'un danger et d'une cible crée une situation dangereuse, dans laquelle un événement redouté, dont l'occurrence est incertaine (notion de probabilité), menace de se produire et de causer des dommages à la cible (notion de gravité).

Villemeur, en 1988, a défini le risque comme la mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un évènement indésirable et une mesure de ses effets et conséquences.

L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), en 2007, le définit comme : « La combinaison de la probabilité de dommage et de la gravité de ce dommage. »

Tandis que, Desroches et al, 2003 définissent le risque tel : Une grandeur a deux dimensions notées (p, g) : p est une probabilité qui donne une mesure de l'incertitude que l'on a sur la gravité g des conséquences, en termes de quantité de dommages, consécutifs à l'occurrence d'un évènement redouté.

Le risque est alors très souvent défini par une relation entre l'occurrence d'un évènement (appelé probabilité) et ses conséquences (généralement appelé gravité). La combinaison de ces deux mesures permet de définir la notion de criticité, calculée par le produit des mesures de probabilité et de gravité associées à un risque (AFNOR, 2010). En outre, la notion de criticité permet de définir les limites pour lesquelles un risque est considéré comme acceptable ou non (Fallet, 2012 ; Figure 1.1). Elle doit donc tenir compte des dispositions de prévention qui réduisent la probabilité, et des dispositions de protection, qui réduisent la gravité. Le seuil d'acceptabilité formalise la frontière entre les risques que l'on s'impose de traiter (les risques inacceptables) et les risques que l'on accepte de prendre (les risques acceptables). Néanmoins ceci ne signifie pas que l'organisme ne cherchera pas à réduire encore les risques jugés acceptables. De ce fait, la limite d'acceptabilité permet de mieux hiérarchiser les priorités d'actions et surtout fournir un objectif tangible à la gestion des risques (Le Ray, 2012a).



Figure 1.1 Exemple de représentation de la criticité d'un risque

Face aux définitions du risque basées sur une vision d'un couple « probabilité-gravité », l'Organisation Internationale de Standardisation a donné une définition plus générale et plus ouverte dans la version 2009 de la norme ISO 31000. Elle définit le risque comme « l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs », complétée de 5 notes précisant que les objectifs peuvent être de différentes natures (sécurité, finance, environnement, etc.), que l'effet peut être positif ou négatif par rapport à une attente, qu'un risque se caractérise aussi par une combinaison de causes et de conséquences, qu'il s'exprime en termes d'impact et de vraisemblance et que l'incertitude peut concerner tant les causes que les conséquences, la vraisemblance que les impacts. On note que le mot « vraisemblance » a été retenu pour designer la probabilité de survenance d'un évènement ; il a été préféré au mot « probabilité » au motif de la connotation trop mathématique de ce dernier (Le Ray, 2015a). Cette nouvelle définition met l'accent sur la relation indissociable entre objectifs et risques. Pour compléter ces différentes définitions, nous présentons ci-après le tableau réalisé par Talon (2006), et que nous avons enrichi, pour avoir une vue d'ensemble qui nous permettrais de faire le choix le plus pertinent pour notre travail de recherche.

Rapport-Gratuit.com

Tableau 1.1 Définitions non exhaustives du risque (Talon, 2006, enrichi par l'auteur)

N°	Source	Définition
1	NF 71-011 [HAD, 97]	Le risque est la probabilité d'occurrence d'une défaillance associée à l'importance des conséquences de celle-ci.
2	PrEN 50129 [HAD, 97]	Le risque est la combinaison de la fréquence (ou probabilité) d'un accident et des conséquences de l'accident.
3	RE.Aéro 701 10 [HAD, 97]	Le risque est la grandeur à deux dimensions associée à une circonstance de la vie du système et caractérisant un évènement redouté par sa probabilité d'apparition et le montant de la perte consécutive (gravité), exprimé qualitativement ou quantitativement.
4	EN 292-1 [HAD, 97]	Le risque est la combinaison de la probabilité et de la gravité d'une lésion ou d'une atteinte à la santé pouvant survenir dans une situation dangereuse.
5	PrEN 50126 [HAD, 97]	Le risque est la combinaison de la fréquence (probabilité) et des conséquences d'un accident en termes de gravité du danger, probabilité du risque et accident potentiel.
6	[DES, 95]	Le risque relatif à un évènement redouté survenant pendant une activité dangereuse est défini par deux paramètres : • La probabilité d'occurrence de l'évènement redouté (probabilité des causes) ; • La gravité des conséquences qui au final correspond à des morts, blessures graves, destruction, échec d'une mission, etc.
7	[DES, 03]	Formellement, le risque est une grandeur à deux dimensions notée (p, g) : p est une probabilité qui donne une mesure de l'incertitude que l'on a sur la gravité g des conséquences, en termes de quantité de dommages, consécutifs à l'occurrence d'un évènement redouté.
8	PrEN 50128 [HAD, 97]	Le risque est la combinaison de la fréquence, ou probabilité, et de l'effet d'un évènement dangereux spécifié.
9	CEI 56 SEC 410 [HAD, 97]	Le risque est la combinaison de la fréquence, ou probabilité, et des conséquences d'un évènement dangereux spécifié.
10	[DEQ, 01]	Le risque, relatif au phénomène dangereux considéré, est une fonction de la gravité du dommage possible pouvant résulter du phénomène dangereux considéré et de la probabilité d'occurrence de ce dommage.
11	[MOD, 93]	Le risque peut être défini, quantitativement, par l'ensemble des triplets [Scénario d'évènements conduisant à l'exposition à un danger ; occurrence de ce scenario ; conséquence de ce scenarios, c'est-à-dire une mesure du degré de dommage ou de perte].
12	ISO Guide 73:2009 [AFNOR, 2010]	Le risque est définit comme : l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs.

On voit bien à la lecture du tableau 1.1 que, quelle que soit la définition, la notion du risque est toujours associée aux notions de probabilité, dommage, évènements indésirables et/ou redoutés, gravité (Djaout, 2009). Face à ces définitions générales, le contexte de notre travail nous amène à nous focaliser sur les risques dans la construction et plus particulièrement les risques géotechniques. Dans l'ingénierie civile, le risque est défini comme le produit de la probabilité d'occurrence d'un évènement (aléa) par la conséquence de cet évènement (vulnérabilité) ; une définition utilisée par les experts en risques d'origine naturelle.

Nous verrons par la suite que les risques géotechniques peuvent être d'origine naturelle, ou anthropique. En effet comme l'a précisé Breysse (2003, in Dubost, 2009), l'approche des risques ne peut être exclusivement technique, mais dépend aussi de facteurs humains

qui peuvent être non seulement à l'origine des risques, mais qui définissent aussi le risque accepté. On retient pour notre étude les deux dimensions probabilité d'occurrence et gravité pour caractériser le risque, où la gravité est définie comme la mesure de l'intensité des conséquences susceptibles de résulter de l'occurrence d'un évènement indésirable (ou d'un aléa) (Breysse, 2009a).

2.2 Classification des risques

Plusieurs classifications des risques ont été proposées par différents auteurs. La catégorisation des risques requiert de préciser les thèmes traités. Pour cela, plusieurs critères peuvent être pris en compte dont les principaux sont la nature des risques traités et leurs fréquences d'apparition. Par conséquent, chaque organisme devant traiter tout type de risques créera ses propres catégories en tant qu'outil de gestion.

Les risques se distinguent aussi selon leur origine. On peut les classer selon deux catégories : les risques d'origine naturelle et les risques d'origine anthropogénique. Par abus de langage, on parlera dans la suite de la thèse de risques naturels et de risques anthropogéniques ou anthropiques.

a) Risques naturels : sont une menace découlant de phénomènes géologiques ou atmosphériques aléatoires, qui provoquent des dommages importants sur l'homme, les biens, l'environnement.

b) Risques anthropogéniques : sont engendrés par l'activité humaine, menaces 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.

D'autres auteurs classifient les risques en quatre familles : les risques naturels, les risques technologiques, les risques liés aux guerres et conflits, les risques liés aux catastrophes de société (émeutes, famines, etc.) (Breysse, 2009a).

3. LES RISQUES DANS LA CONSTRUCTION

Depuis l'Antiquité, l'homme s'est toujours préoccupé de la meilleure manière de construire son gîte en matière de sécurité, de confort et de durabilité pour sa famille, des châteaux pour son royaume, et des temples pour ses morts.

Au cours des temps, l'art de construire s'est transmis de génération en génération, et, à chaque époque de l'humanité, des techniques nouvelles et des améliorations ont été inventées et introduites dans la manière de construire, pour offrir une sécurité maximale vis-à-vis des aléas de la nature (séisme, inondations catastrophiques, vents, etc.) et des risques anthropiques, apporter plus de confort et se protéger de tout ce qui peut altérer la quiétude des usagers. Ainsi donc, on attend que les projets de constructions assurent notre protection. C'est heureusement le cas dans la plupart des situations mais les défaillances existent et le risque zéro n'existe pas.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

En effet, les constructions sont en interaction avec le milieu naturel toujours insaisissable dans sa complexité ou son évolution dans le temps. Ils peuvent être la cause d'agressions de l'environnement ou, au contraire, être conçues pour le protéger (Deneufbourg, 2000 in Breysse, 2009a).

Les questions liées au risque dans la construction, ainsi que le management du risque dans ce domaine sont assez récents, notamment en France [Khartabil, 2013]. La figure 1.2 mentionne quelques travaux de recherche sur le risque dans la construction.

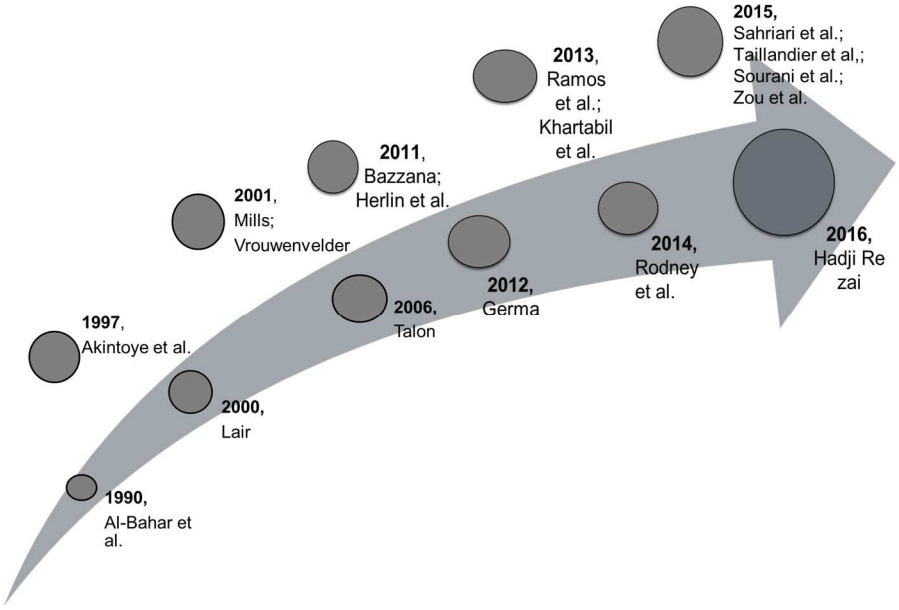


Figure 1.2 Quelques travaux de recherche sur le risque dans la construction

- En 1990, Al-Bahar et al. ont introduit un nouvel outil formel, logique et systémique pour les entrepreneurs de la construction afin d'identifier le risque, en faire une analyse probabiliste, évaluer les risques significatifs et développer plusieurs alternatives de stratégie de management du risque pour un projet de construction (Hadji Rezai, 2017). Cet outil est intitulé Construction Risk Management System (CRMS).

- En 1997, Akintoye et al. ont fait une enquête auprès d'entrepreneurs et de groupes de gestions de projet de construction pour décrire la perception du risque dans le secteur de la construction au Royaume-Uni. Cette enquête a permis de constater que le secteur de la construction a en majorité une aversion au risque. Les analyses de risques et les techniques de management des risques sont rarement utilisées dans le domaine par manque de connaissance d'une part et par scepticisme vis-à-vis de l'adaptabilité de ces techniques au secteur de la construction. Il est également conclu que le management du risque est essentiel au domaine de la construction permettant de minimiser les pertes et d'améliorer la rentabilité des projets.

- En 2000, Lair propose une méthode d'évaluation de la durabilité des systèmes constructifs du bâtiment en y associant l'AMDE (l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets).

- En 2001, on recense en premier lieu les travaux de Mills. Il a opté pour un management du risque systématique aux premières étapes du projet, afin d'identifier les sources de risques et les conséquences potentielles. Cette méthode permet de choisir les hypothèses qui seront les plus défavorables à la réussite du projet et proposer par la suite des actions pour maîtriser les risques identifiés. En second lieu Vrouwenvelder et al. présentent un état de l'art de l'appréciation du risque et de la communication du risque dans le secteur du génie civil. Ils traitent aussi de l'évaluation des risques et du processus de prise de décision. Par cette étude, ils montrent la nécessité d'une terminologie commune pour une communication fructueuse entre toutes les parties prenantes.

- En 2006, dans sa thèse intitulée « Evaluation des scénarii de dégradation des produits de construction », Talon propose une méthodologie qui permet d'obtenir la liste des scenarii de dégradation d'un produit intégré à un projet. Pour cela, il se base sur 4 types d'analyse : analyse qualitative (basé sur l'AMDE), quantitative temporelle, quantitative de la criticité et quantitative des performances. Bien que la méthodologie proposée prenne en compte plusieurs étapes du cycle de vie du bâtiment, elle ne permet pas de connaître l'influence du composant étudié au regard d'un ensemble d'objectifs de performance choisis pour le bâtiment représentant sa performance globale (Hadji Rezai, 2017).

- En 2011, on peut citer deux travaux de recherche. D'abord ceux de Bazzana qui propose un prototype d'outil fonctionnel. Il définit un cadre de modélisation générique adapté aux produits du bâtiment et destiné à la maîtrise de la qualité des produits. Pour cela il s'appuie sur une analyse de risques qui permet l'identification des modes de défaillances potentiels des produits. L'outil permet également une représentation qualitative et unifiée des systèmes constructifs et de leurs modes de fonctionnement. Il y aussi les travaux de Herlin et al qui proposent une démarche de représentation des risques reposant sur la combinaison de trois approches : temporelle, structurelle et fonctionnelle dans le but de prendre en compte le caractère évolutif et multi-échelle des projets de construction.

- En 2012, l'édition du cahier du moniteur présente les résultats du projet de recherche GERMA (Maîtrise et Gestion des risques liés au Management des projets complexes de Génie Civil) qui a débuté en 2009 pour une durée de trois ans. Ce projet propose aux acteurs de la construction un processus, une démarche et des outils permettant d'anticiper les risques susceptibles d'intervenir au cours des différentes étapes du cycle de vie du projet et d'engendrer des conséquences indésirables.

- En 2013, Ramos et al. proposent une méthodologie d'appréciation du risque probabiliste appliquée aux développements biologiques sur les ETICS (external thermal insulation composite system). Cette méthodologie a permis d'identifier les mécanismes responsables des dégradations des ETICS grâce à un arbre de défaillances. Un méta modèle permet également de réduire le temps de calcul des simulations Monte-Carlo qui comparent les différents scenarii pour identifier les façades offrant le moins de risques. La même année, Khartabil et al. (2013) ont développé un système à base de connaissances pour la gestion des risques du projet de construction par domaine (bâtiment, tunnels et autoroutes), en s'appuyant sur une ontologie qui permet de résoudre les questions liées

aux imprécisions du vocabulaire. L'ontologie pose le cadre sémantique d'une base de connaissance et permet de formaliser la représentation du projet de construction. Ces bases de données permettront, via un logiciel, d'apprécier le risque sur le cycle de vie de chaque projet et suivre les actions associées.

- En 2015, Shahriari et al. mettent l'accent sur le rôle de la communication et l'impact de la perte d'informations entre les différentes parties prenantes du projet tout au long de son cycle de vie sur la phase d'analyse du risque. Ils constatent aussi que l'incertitude, malgré un côté négatif qui engendre des pertes, a aussi un côté positif, qui permet d'apporter de la flexibilité dans le management des projets de construction. Aussi en 2015, Taillandier et al. (2015a et 2015b) ont développé un outil simulant un projet de construction tout en considérant les risques, appelé SMACC (Stochastic Multi-agent simulation for construction project). Il propose, par le recours à la simulation à base d'agents, couplée à une approche stochastique, d'évaluer les conséquences des risques sur le projet et cela pour chaque acteur du projet et d'aider à la décision grâce à des indicateurs. Les auteurs précisent que malgré les apports de ce nouveau modèle (SMACC2), il présente encore des limites. L'une d'elle est « l'impossibilité de se placer à différents niveaux de description du projet ou des risques ». Sourani et al. (2015) quant à eux, ont utilisé la méthode Delphi, une méthode d'auto-évaluation, une procédure systématique qui est utilisée pour parvenir à un consensus fiable auprès d'un panel d'experts sélectionnés. Elle peut être utilisée à des fins différentes, telles que l'étude ou la définition des zones d'incertitude et/ou un manque de connaissances convenues. Les auteurs soulignent que cette méthode est peu utilisée dans la recherche en management de la construction bien qu'elle soit utilisée dans plusieurs domaines. Ils ajoutent que la méthode Delphi permet une analyse quantitative mais n'offre pas la possibilité de tests statistiques avancés. Les auteurs démontrent, à partir d'une étude de cas, le fait que les experts doivent être sélectionnés au regard de leurs connaissances, de leurs compétences dans le domaine, de leur volonté à contribuer et de leur disponibilité. Toujours en 2015, Zou et al. constatent que, malgré les méthodes et les outils développés, le management des risques est basé sur l'expérience qui repose sur des connaissances multidisciplinaires, sur la récolte d'informations auprès des différentes parties prenantes pour résoudre les problèmes de risque dans le temps. Ils proposent par conséquent d'intégrer la méthodologie du management de la connaissance (Knowledge Management) dans le Building Information Modeling (BIM). Ils ont aussi développé un système de management intégrant le management de la connaissance au BIM (BIM and Knowledge Based Risk Management System-BKRMS) afin de pouvoir être compatible avec le management du risque tout au long du cycle de vie du projet. L'objectif est d'anticiper, analyser et communiquer les risques inhérents afin de mettre en place des processus de prévention et de maîtrise.

- En 2017, Hadji Rezai, s'est focalisée sur la problématique de l'atteinte de la performance globale du bâtiment. De ce fait, elle a développé une méthode d'évaluation de l'impact de l'intégration d'un composant de construction sur la performance globale (énergétique, environnementale, économique et sociale) d'un bâtiment tout au long de son cycle de vie. Pour cela, le choix a été fait de proposer des matrices 'aléa/impact' afin,

d'une part, de déterminer les sources de risques, permettant d'agir à la source si besoin est et, d'autre part, d'évaluer l'impact de ces aléas sur la performance globale du bâtiment permettant de déterminer quels sont les aléas les plus préjudiciables pour la performance puisqu'il est plus facile d'intervenir à la source, donc sur l'aléa, plutôt qu'une fois que le risque est déjà survenu.

Plus le monde est confronté aux catastrophes et plus les chercheurs tentent de trouver des solutions (processus, méthodes, outils, etc.) pour anticiper, minimiser et maîtriser les risques dans les projets de construction. En effet, les exemples de catastrophes sont multiples et foisonnent dans le secteur de la construction. D'après une étude faite par Swiss Re en 2016, 327 évènements « catastrophiques » ont frappé le monde, dont 191 sont liés à des phénomènes naturels et 136 sont causés par l'homme. Ces catastrophes ont couté la vie à 11000 personnes dont 6884 victimes de la nature et 4116, victimes de l'action humaine. Parmi les nombreux et variés périls, les séismes qui ont touchés le Japon, l'Equateur, la Tanzanie, l'Italie, la Nouvelle-Zélande, le plus important est celui qui a frappé l'ile japonaise de Kyushu, en avril 2016. De plus, de nombreux épisodes de fortes précipitations, à l'origine d'inondations majeures sur de vastes territoires ont été enregistrés aux Etats-Unis. On notera au passage les inondations de Houston en 2017. Des tempêtes orageuses, des pluies torrentielles, des inondations (fluviales) des crues soudaines se sont aussi abattues sur la France, l'Allemagne et la Belgique engendrant des dommages économiques de l'ordre de 2,7 milliards en 2016 (Chauveau, 2017).

En réalité, « les séismes n'ont jamais tué personne » ; c'est plutôt l'effondrement des habitations et des ouvrages qui, consécutivement au séisme, génère des désordres (Breysse, 2009a). C'est la construction qui devient elle-même source de danger et ceci est donc lié au facteur humain : par exemple l'effondrement d'un pont et les cas sont nombreux dans le monde entier. A titre indicatif, en 2017, un pont à Tébessa en Algérie s'est écroulé 24h après son inauguration et en 2007 un pont autoroutier de Minneapolis (Etats-Unis), a fait basculer des dizaines de véhicules dans le fleuve et provoqué la mort de 16 personnes. L'Egypte a aussi connu plusieurs effondrements d'immeubles ces dernières années faisant de nombreuses victimes, en raison de la vétusté des bâtiments et du non-respect de la législation en termes d'urbanisme. Le cas le plus récent en 2017 à Alexandrie, où il y a plusieurs dizaines d'effondrement par an, un immeuble de 13 étages s'est incliné avant de tomber sur un autre bâtiment. En 2016 à Alger (Algérie), un bâtiment en construction de 2 étages s'est effondré en raison de travaux de terrassement non conforme du terrain avoisinant (Zahraoui, 2016).

Ainsi, l'accroissement des catastrophes, constaté un peu partout dans le monde, a confirmé que les constructions, suivant leur fonction, leur localisation, tout au long de leur cycle de vie, peuvent être soumises à deux catégories de risques : les risques d'origine naturelle et les risques d'origine anthropique.

Comme cette recherche est centrée sur les risques sols, il est important de revenir sur les risques géotechniques.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4. LES RISQUES GEOTECHNIQUES

Dans un projet de construction, le risque géotechnique est l'un des risques majeurs ; il est récurrent dans tous les projets de génie civil qui présentent une part d'interaction avec le sol. Sa gestion est complexe à cause de l'origine naturelle des phénomènes et la difficulté de « bien connaître » un milieu naturel non visible. Il est vrai que depuis l'aube des temps, l'homme se préoccupe de la pérennité et de la qualité des constructions qu'il édifie, et cela dans un but civil ou militaire. En effet, la destruction des murailles de Jéricho en Palestine par les Hébreux conduits par Josué vers 1225 avant Jésus-Christ, s'avère être un exemple de l'intérêt que l'homme a toujours porté à la stabilité des édifices sur leur assise : le sol. En 1931, le major Toulok entreprit des investigations à l'emplacement de ces murs et constata qu'ils reposaient sur une fondation constituée par une couche de pierres. Cette dernière paraissait s'être déplacée latéralement vers l'extérieur et avoir glissé comme si une tranchée avait été creusée le long de sa base. Le major Toulok croit avoir expliqué ainsi d'une manière rationnelle une très vieille énigme ; cela prouverait en tout cas que les Hébreux avaient une certaine connaissance des phénomènes intervenant dans la stabilité des fondations (Costet & Sanglerat, 1977).

Les terrains naturels sont composés de grains solides, de vide et d'eau ; leurs caractéristiques sont souvent variables. Leur comportement évolue dans le temps et dépend de l'ouvrage qui les sollicite (bâtiments, ponts, etc.). L'hétérogénéité des sols est telle que, même dans une zone supposée bien connue, des anomalies locales sont toujours à craindre. Le sol présente donc des aléas qui induisent des conséquences qui peuvent être préjudiciables.

Les phénomènes sont naturels, pas les catastrophes ; le sol est neutre pas vicieux ; à l'homme d'éviter d'être là quand un phénomène naturel est susceptible de l'affecter, et de construire ses ouvrages en tenant compte des risques du sol.

4.1 Les paramètres incertains en géotechnique

Les termes « aléatoire », « incertain », « variabilité », « erreur » sont couramment employés pour caractériser l'hétérogénéité des sols, mais leur sens, en particulier en géotechnique, est souvent mal compris ou mal employé (Dubost, 2009). Plusieurs chercheurs ont essayé d'expliciter ces termes. On peut citer à titre d'exemple, Favre (2000, 2005) côté francophone, Baecher et Christian (2003), Lacasse (1996, 2007) coté anglo-saxon.

Un phénomène est dit aléatoire quand son résultat est variable, non ou mal maitrisé ; ce qui correspond dans tous les cas de figure à un phénomène imprévisible. Par contre, on qualifiera un phénomène d'incertain si son résultat est inconnu et non vérifié. Une propriété d'un sol, pour un lieu donné, a une valeur « vraie » ou « probable ». La mesure que l'on fait de cette propriété donne une valeur approchée de la valeur vraie. La différence entre la valeur vraie et la valeur mesurée est appelée erreur. Cette dernière est reliée à la notion d'incertitude.

4.1.1 Origines et caractéristiques de la variabilité des sols

Le sol est constitué de formations ni homogènes, ni isotropes, ni élastiques : elles sont nombreuses et de disposition spatiale aléatoire, une même formation pouvant présenter des lithologies très différenciées (Robert, 2013). Depuis le début du 20ième siècle, nombre d'études ont été menées pour répondre au problème de la reconnaissance de la variabilité spatiale et temporelle (variabilité naturelle) des propriétés physiques et mécaniques des sols (Rosat 2004, Smith 1938, Webster 1994 in Guerrero 2014). Phoon et Kulhawy (1999a, 1999b) ont cité trois causes principales d'incertitude géotechnique :

- la variabilité intrinsèque (inhérente),
- les erreurs de mesure,
- l'incertitude de transformation (corrélation entre propriétés, modèle rhéologique, etc.).

Une illustration en a été faite par Kulhawy (1992), suivant la figure 1.3. L'origine de la variabilité spatiale inhérente (naturelle) est le processus de sédimentation géologique qui a produit et modifie continuellement les couches de sol. Cette incertitude est souvent appelée active ou aléatoire (Favre 2000, 2004, Lacasse et al 2007, Uzielli et al 2008). La deuxième incertitude, souvent appelée passive ou épistémique (Favre 2000, 2004, Lacasse et al 2007, Uzielli et al 2008) est due aux erreurs de mesure, provoquées par l'appareillage, les procédures opératoires et les effets des essais effectués hors normes. La troisième source d'incertitude apparaît quand des mesures de laboratoire sont transformées en propriétés de sol de conception en utilisant des modèles empiriques ou de corrélation (Baziz, 2011).

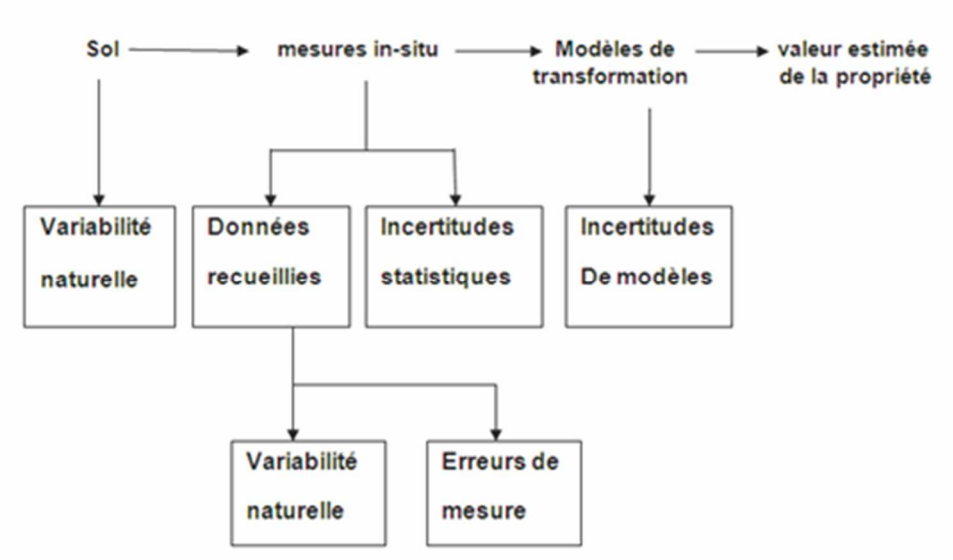


Figure 1.3 Types des incertitudes des propriétés du sol (Kulhawy, 1992)

4.1.2 Erreurs et incertitudes sur les sols

4.1.2.1 Les erreurs d'observation

a. Erreur de mesure

L'erreur de mesure proprement dite est directement liée à l'appareil lui-même (calibrage) et à l'opérateur (mode opératoire). L'évolution observée dans le domaine de la métrologie et l'acquisition automatique a permis de réduire considérablement les erreurs d'imprécision et d'opérateur. Malgré cela, on se retrouve toujours face une incertitude, caractérisant une dispersion des mesures, aussi faible qu'elle soit. Cette dispersion est aléatoire, et souvent fait référence à l'incertitude de l'appareil ou à la technique de mesure. Elle est généralement nommée bruit de mesure. On retrouve aussi l'erreur systématique de mesure qui peut être produite par exemple par une modification de l'appareil de mesure due à un vieillissement des instruments, et les erreurs de reproductibilité de la mesure liées au caractère destructif de la plupart des essais géotechniques. Enfin il y a l'erreur d'opérateur, liée au « coup de main » de la personne réalisant l'essai, qui fait qu'on constate des différences significatives d'un laboratoire ou d'un bureau de reconnaissance à l'autre.

b. Erreur de représentativité

L'erreur de représentativité provient de la transformation de la mesure physique pour obtenir la grandeur de la propriété recherchée. La transformation peut être directe, et dans ce cas l'erreur est liée à l'étalonnage et au tarage de l'appareil ; ou bien indirecte, comme par exemple pour déterminer certaines valeurs (les valeurs d'un essai pressiométrique) on doit se référer à des courbes prédéfinies (abaques, courbe d'expansion de la sonde pressiométrique).

c. Erreur de l'instant

Cette erreur provient de la variation de la propriété physique du matériau entre le moment où elle est mesurée et le moment où le matériau est mis en œuvre. On peut citer le cas du sol où sa teneur en eau peut varier en fonction de son remaniement, de son transport, des conditions climatiques, etc.

4.1.2.2 Les erreurs d'enquête

a. Erreur d'enquête proprement dite

Elle est liée à une mauvaise conduite des reconnaissances géotechniques. Les données recueillies ne sont pas pertinentes et parfois inexploitables. A titre d'exemple cette erreur peut survenir lorsqu'une investigation est effectuée uniquement sur les sols de surface alors que les fondations de l'ouvrage atteignent le substratum rocheux profond (Guerrero, 2014), ou encore une profondeur de sondage insuffisante pour caractériser le sol sollicité par une fondation, etc.

b. Erreur d'échantillonnage

L'erreur d'échantillonnage apparait lorsqu'on souhaite estimer les caractéristiques du sol en se focalisant seulement sur une partie du sol au lieu de l'ensemble du sol d'assise de la

structure étudiée. C'est une erreur statistique qu'on retrouve dans la notion d'intervalle de confiance (sa largeur va dépendre de la taille de l'échantillon). Elle existe toujours même quand l'échantillon est parfaitement représentatif. En pratique, on ne peut prélever un échantillon du sol à chaque centimètre pour espérer avoir une image parfaite. L'objectif de l'échantillonnage est de prélever un volume représentatif du sol pour déterminer les propriétés physiques de ce dernier. Il faut donc aborder la notion de représentativité des mesures effectuées et essayer de répondre aux questions suivantes : Est ce que les mesures effectuées sont représentatives du sol d'assise en entier ? Est-ce que le volume de matériau prospecté peut être considéré comme homogène à l'échelle à laquelle est effectuée la prospection (Lacasse et al 1998, Favre 1998 in Guerrero, 2014).

4.1.2.3 Erreur de modèle

Les modèles permettent de mettre en équations une certaine représentation que nous nous faisons de la réalité. Ils sont l'une des armes principales du géotechnicien pour la compréhension des phénomènes qu'il étudie ou pour définir des règles d'action (Verdel, 2007). Leur but est de décrire et de comprendre la situation réelle, et d'essayer d'anticiper son évolution. Il existe plusieurs types de modèles qui peuvent être d'origine empirique ou théorique. Comme toute représentation, sa conception et son usage nécessitent une simplification du phénomène étudié, du nombre de variables et de paramètres analysés. Cette réduction de la complexité introduit des erreurs dans l'interprétation des données, nécessitant de formuler des hypothèses quant à l'acceptabilité des approximations des résultats obtenus. L'erreur sur le modèle est l'écart entre l'observation sur site et la modélisation (Park et al. 2010, Marioni 2003).

Dans le contexte géotechnique, l'erreur de modèle peut être liée à plusieurs causes :

- L'utilisation de lois rhéologiques pour la représentation mécanique d'un matériau,
- Le choix effectué par le modélisateur sur le type d'analyse (statique, dynamique, etc.),
- Le choix du logiciel utilisé et des paramètres à prendre en compte par exemple : le choix du modèle mathématique (éléments finis, différences finies, etc.), le choix du modèle conceptuel (hydraulique, mécanique, etc.), le nombre d'itérations à effectuer, le maillage, les critères de convergence, etc.

La figure 1.4 illustre la manière dont un modèle de calcul est relié à la fois à un arrière-plan théorique (lois de comportement), à des moyens techniques numériques (outils de calcul) et à la réalité, que ce soit en phase d'acquisition de données ou de validation de résultats. En fait, pour chacune des flèches reliant deux pavés, des erreurs sont susceptibles de se produire et d'affecter la qualité des résultats de calcul.

Rapport-Gratuit.com

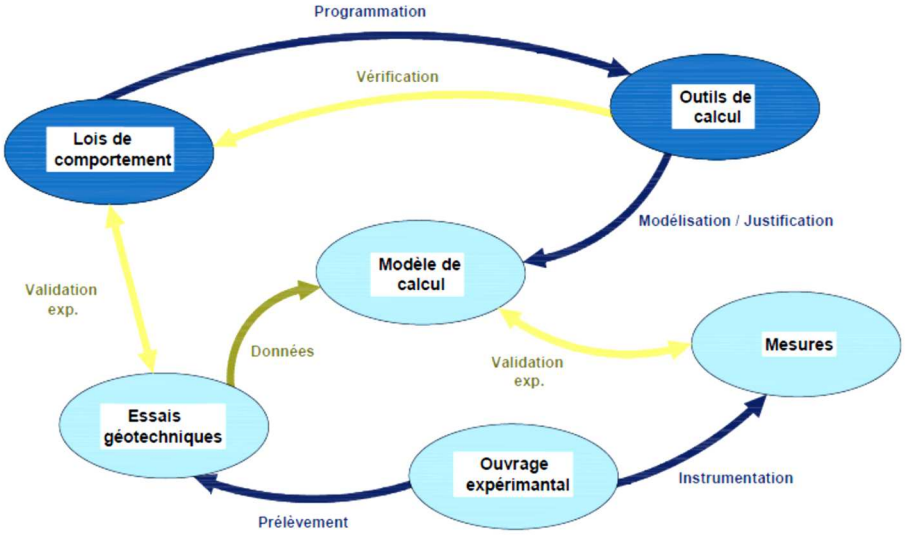


Figure 1.4 Procédure de mise au point et de validation d'un modèle de calcul en géotechnique (Mestat, 2005, in Breysse, 2009c)

Magnan (2000) a donné un exemple clair du type d'erreur résultant d'un mauvais choix de modèle. Il cite le cas de la reconnaissance géotechnique d'un terrain côtier ayant fait l'objet d'une campagne de mesures organisée (pénétromètre statique et sondages carottés) et n'ayant montré aucune variabilité particulière des terrains en surface. À partir de ses résultats l'ingénieur avait établi un modèle simple, constitué de couches horizontales. Mais le modèle s'avéra complètement faux et pour cause le site était traversé selon l'axe d'implantation des sondages carottés, par une vallée fossile remplie de sols compressibles. Magnan l'a qualifié de « manque de chance » qui a entrainé une erreur dans la représentation de l'ingénieur que les mesures réalisées n'ont pas permis de mettre en doute.

4.1.2.4 Les erreurs humaines

Le facteur humain joue un rôle essentiel dans toutes les étapes du cycle de vie du projet. La ressource humaine possède une caractéristique unique : elle s'autodétermine (Simba-Ngabi, 2006). En effet, l'être humain a la capacité d'agir selon son propre chef à tout moment et quelles qu'en soient les conséquences. Instable, distrait, colérique, malveillant, courageux, l'homme est dangereux volontairement ou non (Simba-Ngabi, 2006), l'erreur est inhérente à l'activité humaine.

D'après la norme ISO 10006 (Management de la qualité -- Lignes directrices pour le management de la qualité dans les projets, 2017), les erreurs humaines sont favorisées par :

- le manque de formation,
- le manque de pratique qui induit des erreurs par manque de savoir-faire, d'anticipation,
- la situation où un environnement habituellement anormal induit une baisse de vigilance et des erreurs par accoutumance au risque,

- les moyens inadaptés ou à l'ergonomie insuffisante,
- la fatigue due à une surcharge de travail, à l'environnement ou à l'état de santé,
- les informations insuffisantes sur la présence d'un risque ou difficiles à percevoir et à interpréter,
- la perception insuffisante des risques générés par les comportements engagés.

Ces causes peuvent se cumuler et conduire à des scenarios à risque induisant des conséquences plus graves que celles des causes prises séparément.

Diverses études ont été faites dans le but de faire une comparaison des causes des défaillances structurelles. Un point de départ pour plusieurs de ces études est la recherche de Shneider et Matousek (1976). Ces derniers ont fait une étude empirique sur 800 cas de défaillance en construction fournis par les compagnies d'assurances. L'étude a révélé qu'approximativement 25% de ces cas résultent de risques assumés consciemment et 75% des cas sont dûs à une erreur humaine (Ortega, 1999). Ces dernières peuvent être classées en plusieurs familles (Matousek et Shneider, 1976 ; Favre, 2001) comme l'illustre le diagramme de la figure 1. 5.

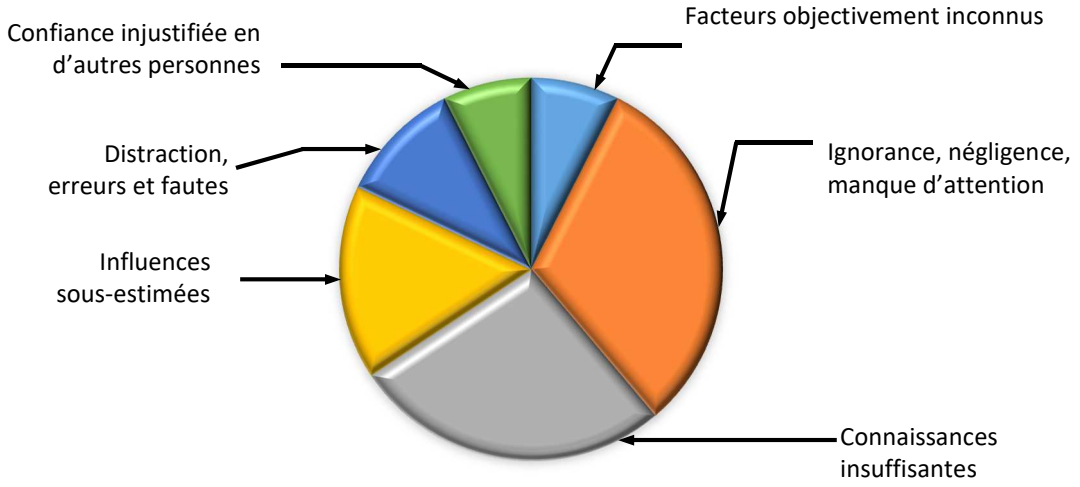


Figure 1.5 Répartition statistique des facteurs de défaillance (Matousek, 1976)

On constate que la majorité des cas de défaillance attribuée aux erreurs humaines des ingénieurs est due à une connaissance insuffisante, à la sous-estimation des influences ainsi qu'à l'ignorance, l'inattention et la négligence. Shneider et Matousek (1976), remarquent que 87% des défaillances auraient pu être évitées par un contrôle efficace, une meilleure coopération entre les parties prenantes du projet de construction, et par la mise en place d'un système de management de la qualité.

Plus récemment, Fruehwald et al. (2007) ont comparé les résultats de Shneider et Matousek avec huit autres études et ont ajouté 126 causes de défaillance de structure à cette base de données internationale. D'autres initiatives relatives aux bases de données ont aussi été discutées par Breysse (2012) et Terwel et al., (2014).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Une étude sur les sinistres de construction expertisés par le Bureau Veritas en France 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 (Breysse, 2009).

4.2 Risques géotechniques d'origine naturelle

4.2.1 Les mouvements de terrains

Les mouvements de terrain sont des phénomènes gravitaires régis par la force que la gravité terrestre exerce sur des éléments de terrain instables. Ceux sont des phénomènes géologiques qui évoluent dans le temps avec des phases de mouvements qui peuvent être très lents, ou extrêmement rapides, plus ou moins spectaculaires, souvent dommageables et parfois dangereux, généralement regardés comme exceptionnels et isolés (Martin, 2007). Il s'en produit quotidiennement, un peu partout dans le monde et ils seraient à l'origine de 800 à 1000 morts chaque année, hors séisme (INERIS, 2010). Ils constituent une menace permanente pour les personnes, les biens et l'environnement dans les zones exposées ; leurs évolutions et leurs effets sont très variés. Ils peuvent être d'origine naturelle ou anthropique.

En matière de risque naturel, on peut distinguer deux grands types de mouvements gravitaires de terrain, naturels et/ou induits (Figure 1. 6) :

Le premier groupe « Mouvements de pente », concerne les déplacements obliques vers des surfaces libres inclinées, à partir de ruptures sur des surfaces prédéterminées par les structures ou créées par les contraintes ; ils affectent les pentes naturelles ou terrassées, écroulements, glissements, coulées, etc. (Martin, 2007)

Le second groupe « Mouvement verticaux », concerne les déplacements verticaux sans rupture des surfaces horizontales, qui correspondent à la consolidation de matériaux meubles, affaissements, ainsi que les effondrements entrainés par des ruptures brusques de toits de cavités naturelles résultant par exemple de dissolutions de roches aboutissant en surface à des cuvettes ou des fontis.

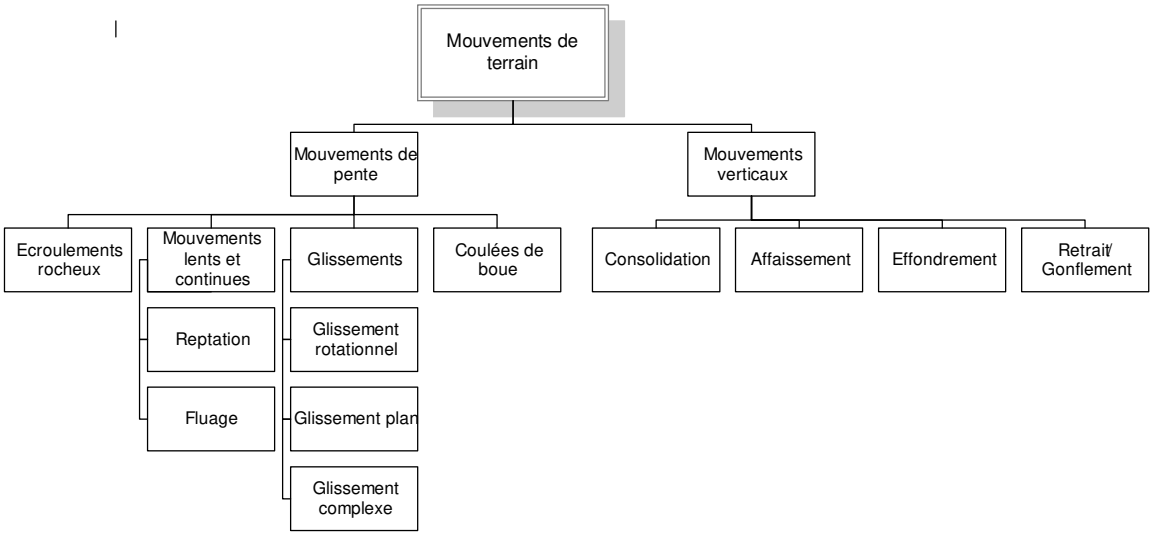


Figure 1.6 Classification des mouvements de terrain

Remarque

Le retrait gonflement est un phénomène tridimensionnel. Il est mis dans la catégorie des mouvements verticaux, parce que les phénomènes les plus préjudiciables dans la construction se font selon l'axe vertical.

4.2.1.1 Mouvements de pente

a. Ecroulements rocheux

Les écroulements rocheux sont une désolidarisation soudaine et brutale d'un versant à forte pente ou une falaise avec chute de pierres et blocs. Ils peuvent survenir à des échelles diverses et avec des conséquences plus ou moins grave. L'action de la végétation, les venues d'eau, la fracturation et l'altération des massifs sont des facteurs aggravant qu'il convient de prendre en compte.

b. Mouvements lents et continus

D'après, Pierre Martin (2007) « Les mouvements lents et continus affectent soit la couverture meuble de talus, coteaux, petits versants… soit l'altérité et/ou le substratum plus ou moins décomprimé de versants montagneux. Au fil des années voire des siècles, ils peuvent demeurer lents et continus, accélérer puis ralentir, s'arrêter puis repartir, le volume instable peut augmenter ou diminuer ; par une lente accélération ou brusquement, … »

On peut les subdiviser en deux catégories :

- **Reptation**

Dans ce premier cas, le mouvement affecte la couche superficielle peu épaisse de débris rocheux, dans une matrice argileuse plus ou moins humide mais non saturée, principalement dans des zones plus ou moins dénudées ou de prairies.

- **Fluage**

Dans ce deuxième cas, le mouvement affecte l'altérité et/ou le substratum plus ou moins décomprimé de grands versants sur parfois une épaisseur très importante ; au cours du temps, il passe par des différentes phases d'accélération et de ralentissement ce qui induit à une augmentation ou une diminution du volume instable apparent ; il peut passer, tout ou partie, généralement en surface, à un mouvement rapide, glissement, coulée, écroulement… (Martin, 2007)

c. Glissements

Les glissements de terrains sont des phénomènes complexes. Ils représentent l'un des accidents géotechniques les plus courants et les plus redoutés ; leurs conséquences peuvent être désastreuses tant sur les biens que sur les êtres humains. « C'est 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… » (Martin, 2007). Dans la plupart des cas de glissement, l'action de l'eau dans les sols joue un rôle majeur, c'est un facteur déterminant (Faisantieu, 2013). Le sinistre survient le plus souvent à l'action conjointe de plusieurs facteurs naturels ou anthropiques à titre d'exemple : une arrivée d'eau, la nature des terrains, modification de profils de pentes, séisme, etc.

Martin (2007) dans son ouvrage intitulé « Ces risques que l'on dit naturels », subdivise les glissements selon 3 types :

- Le glissement rotationnel est le cas d'école classique simplifié, sur lequel plusieurs modèles mathématiques ont pu être bâtis (Martin, 2007). La surface de glissement est de forme circulaire, concave. Ceci concerne surtout les terrains homogènes (remblais, digue de barrage, etc.)

- Les glissements plans se produisent en général sur une surface structurale plus ou moins plane préexistante (exemple : toit de substratum) qui sépare une formation supérieure meuble d'une formation inférieure compacte. Dans un tel cas la formation supérieure est prédisposée à être instable et est généralement aquifère tandis que la formation inférieure est stable et le plus souvent imperméable (Martin, 2007).

- Les glissements de forme de surface de rupture complexe représentent tous les glissements autres que ceux cités précédemment, c'est-à-dire une grande majorité de ceux qui se produisent dans la nature.

d. Coulées de boue

C'est un phénomène qui peut être très dévastateur, et très difficile à prévoir qui résulte d'une forte pluviosité ou d'une fuite d'eau importante.

4.2.1.2 Mouvements verticaux

a. Consolidation

Philiponnat et Hubert (2000) dans leur ouvrage intitulé « Fondations et ouvrages en terre », définissent la consolidation comme le phénomène de réduction progressive du

volume d'une couche de sol saturé, en fonction du temps, sous l'action d'une contrainte totale normale constante.

b. Affaissements

Ce sont des déplacements du sol ou du sous-sol lents et continus. Ils sont liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques dans le sous-sol qui viennent à s'effondrer. On rencontre les affaissements dans des régions minières où il y a rupture en profondeur des galeries de mines.

c. Effondrements

Ils provoquent une dépression topographique importante avec rupture apparente. Les effondrements se rencontrent dans les régions calcaires, là où il y a des cavités karstiques, mais aussi au-dessus de vides artificiels (carrières, mines souterraines, tunnels).

d. Retrait-gonflement

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, 2005).

4.3 Risques géotechniques d'origine anthropique

Les risques géotechniques d'origine anthropique ne sont pas provoqués par un phénomène naturel, mais par une action humaine. Il peut arriver que les risques anthropiques aient comme évènement initiateur des erreurs liées à l'observation, à l'enquête, au modèle (cf. paragraphe 4.1.2), l'humain restant la source principale de telles erreurs. Après l'effondrement de la bulle financière de la South Sea Compagny en 1720, Isaac Newton a déclaré « je peux prévoir le mouvement des corps célestes, mais pas la folie des hommes ».

En effet, il s'est produit et se produit, un peu partout dans le monde, tout autant qu'en Algérie, des mouvements de terrain provoqués, de tous types et de toutes ampleurs ; on en observe là où se trouvent des aménagements de terrain et des constructions, tant en zones urbaines que non urbaines ; ils affectent les ouvrages et leurs abords et quand cela arrive, ce sont souvent des effondrements en zones urbaines, ou d'autres types d'accidents sur des chantiers de terrassement. La suppression d'une butée de pied de versant peut activer un glissement par la modification du moment moteur (Besson, 2007).

Malgré l'état actuel des connaissances, il est encore fréquent de constater des instabilités, suite à des travaux et à une mauvaise anticipation de la stabilité. Certains sites et/ou certaines activités en relation avec le sol et le sous-sol, y prédisposent : ce sont les versants à pentes raides, les falaises ou les bords de torrents, les sols argileux ou marneux, les régions pluvieuses, les grands terrassements, les ouvrages souterrains et plus généralement, où que ce soit, tous les aménagements, ouvrages et travaux mal conçus, mal implantés et/ou mal construits (Martin, 2007).

De ce fait, quand elle est déficiente, l'activité humaine participe largement à accroître sinon à créer la plupart des mouvements de terrain : ce versant n'était peut-être pas très stable, mais il n'aurait jamais trop bougé, si l'on n'avait pas imprudemment rectifié ce talus routier, pour élargir la plate-forme ; la maison ne se serait pas inclinée si ce terrassement voisin avait été correctement blindé, si les instructions avaient été bien suivies, les procédures respectées, etc.

Comme cela été précisé dans le paragraphe 4.1.2.4, l'erreur est inhérente à l'activité humaine et il est essentiel de chercher les raisons des défaillances. D'après les diverses études citées (cf. paragraphe 4.1.2.4), on peut faire ressortir trois familles de raisons qui expliquent la majorité des défaillances :

- Le manque de coordination entre les différentes parties prenantes, ceci se traduit par un problème d'interopérabilité,
- Le manque de communication entre les différents acteurs, ceci se traduit par un problème organisationnel,
- Le manque de compétence et de maîtrise, ceci se traduit par un problème opérationnel

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 (Breysse, 2009a).

Il ressort que les risques géotechniques et leurs origines sont divers et variés, ils sont liés au milieu naturel, en particulier aux caractéristiques des sols, et à l'activité humaine. La maîtrise des risques géotechniques nécessite que les reconnaissances des sols soient conduites efficacement et apportent les informations suffisantes pour identifier les propriétés des sols, mais aussi que le géotechnicien considère les incertitudes, les variabilités et les erreurs inhérentes à ces informations.

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

La géotechnique est l'ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur. C'est un domaine essentiellement empirique que l'on pourrait presque considérer comme un art si on la comparait aux autres branches du génie civil (Allal & Benachenhou, 2011).

L'histoire de la géotechnique est un bon exemple de l'évolution générale des sciences appliquées ; c'est une technique aussi vieille que l'humanité et connue de toutes les civilisations. Dès l'antiquité, il y avait évidemment des géotechniciens en Mésopotamie, en Egypte, et dans tout le bassin méditerranéen, qui ont permis de construire des ouvrages dont nous admirons les vestiges à ce jour. Ils utilisaient des techniques empiriques, sans cesse améliorées, comme celles communes à tous, qui consistent à adapter la charge appliquée à la capacité portante du sol, en jouant sur les dimensions et la profondeur d'ancrage des fondations ; nous continuons à le faire.

En effet, un des caractères spécifiques de l'homme est sa constante volonté d'adapter le milieu naturel à ses propres besoins ; choisir une grotte pour l'habiter, exploiter une carrière de silex, construire une cité lacustre, ériger un mégalithe, etc. comptent sans doute parmi les premiers actes géotechniques de l'homme. Hormis quelques rares incursions, le plus souvent aidées, dans l'eau et l'air, l'être humain se limite à son élément de prédilection : la terre. Ce souci de pérennité est dicté par la recherche d'une protection de son habitat et de son activité. Ainsi, pour l'homme, le sol donne l'image même de la stabilité. Ni les modifications locales par érosion ou sédimentation, ni les séismes ne mettent en cause cette référence. Alors, quand le sol se dérobe, l'homme est désemparé.

Aucune structure ne peut être conçue ou réalisée sans que l'on ait procédé à un moment ou un autre, à l'étude du sol et ce, que la structure soit érigée à la surface du sol ou dans le sol. La solidité, le coût et la performance d'une structure dépendent en grande partie de sa fondation, et en d'autres termes de l'étude géotechnique.

Le caractère aléatoire est d'autant plus développé que le sous-sol est de nature très hétérogène. Comment espérer réduire à un niveau faible les incertitudes du sous-sol, si ce n'est en réalisant les études géotechniques par étapes successives tout au long des différentes phases d'élaboration du projet. Réduire l'intervention du géotechnicien à une étude de sols "préliminaire", sans accompagnement du projet, correspond à une caricature rendant l'aléa géotechnique inéluctable et soudain, alors qu'en réalité la maîtrise des incertitudes géotechniques, condition indispensable pour la maîtrise du coût final de construction, passe par l'intervention du géotechnicien aux divers stades du projet.

Donc, la démarche « idéale » d'étude peut être décomposée en plusieurs étapes, correspondant chacune à un état d'avancement donné du projet et donc à un besoin d'information et de précision différent pour chaque étape de la construction : conception, étude, réalisation, et ceci conformément à la norme NF P 94-500 qui assure une concertation continuelle, réactive, entre le géotechnicien, les concepteurs et les constructeurs, permettant ainsi d'assurer une gestion optimale des risques du sol.

Une étude géotechnique bien conduite accroîtra toujours, et souvent de façon déterminante, la rentabilité, la qualité, la pérennité et la sécurité de l'ouvrage comme le précise si bien ce célèbre proverbe Mongol **«** Pour bâtir haut, il faut creuser profond ».

6. LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE SUIVANT LA NORME NF P 94-500 : 2013

La norme NF P 94-500 « Missions d'ingénierie géotechnique classification et spécification » est le fruit d'années de réflexion et de travaux d'une commission de l'union syndicale géotechnique française (USG). C'est une norme à caractère volontaire et contractuel, c'est une donnée de référence et non un règlement. Les sinistres de sol donnent régulièrement des soucis aux maîtres d'ouvrage, aux intervenants à l'acte de construire et également aux contrôleurs techniques. L'importance de ces sinistres et la réaction des assureurs face aux situations qu'ils provoquent, ont conduit l'USG à se faire

la cheville ouvrière de la rédaction de la norme « Missions géotechniques ». Le respect de la démarche qu'elle formalise ne peut que réduire significativement le risque géotechnique. Mais pour cela, chaque acteur doit effectivement jouer son rôle ; c'est au géotechnicien de proposer le contenu de ses missions successives, en réponse aux besoins exprimés par le maître d'ouvrage, puis de les réaliser après validation du programme qu'il a proposé.

Elle a vu le jour en juin 2000 pour sa version initiale, puis mise à jour en décembre 2006, et novembre 2013 dans sa version actuelle.

Elle a pour objet de définir les différentes missions susceptibles d'être effectuées par le géotechnicien, à la demande d'un maître d'ouvrage ou d'un constructeur, pour étudier les propriétés géotechniques des terrains et leur incidence sur les aménagements de terrain ou les ouvrages existants ou à réaliser (cf. figure 1.7).

Elle précise le contenu et les limites des missions géotechniques types ainsi que leur enchaînement recommandé au cours de la conception, de la réalisation et de la vie d'un aménagement de terrain ou d'un projet de construction afin de contribuer à la maîtrise des risques géotechniques.

Cette norme a le mérite de clarifier de manière précise les limites de chaque mission ainsi que les prestations qu'elle recouvre. La clarification des missions de chacun permet de bien savoir qui fait quoi, et en particulier, qui assume la conception des fondations. La lecture de la norme avec le maître d'ouvrage permet de bien recadrer les obligations de chacun et de mettre en évidence le(s) maillons(s) manquant(s) dans le schéma d'élaboration du projet. Elle permet de circonscrire la sphère d'intervention de l'ingénierie géotechnique, donc d'avoir une idée plus précise sur les éléments attendus dans le rapport qui sera produit.

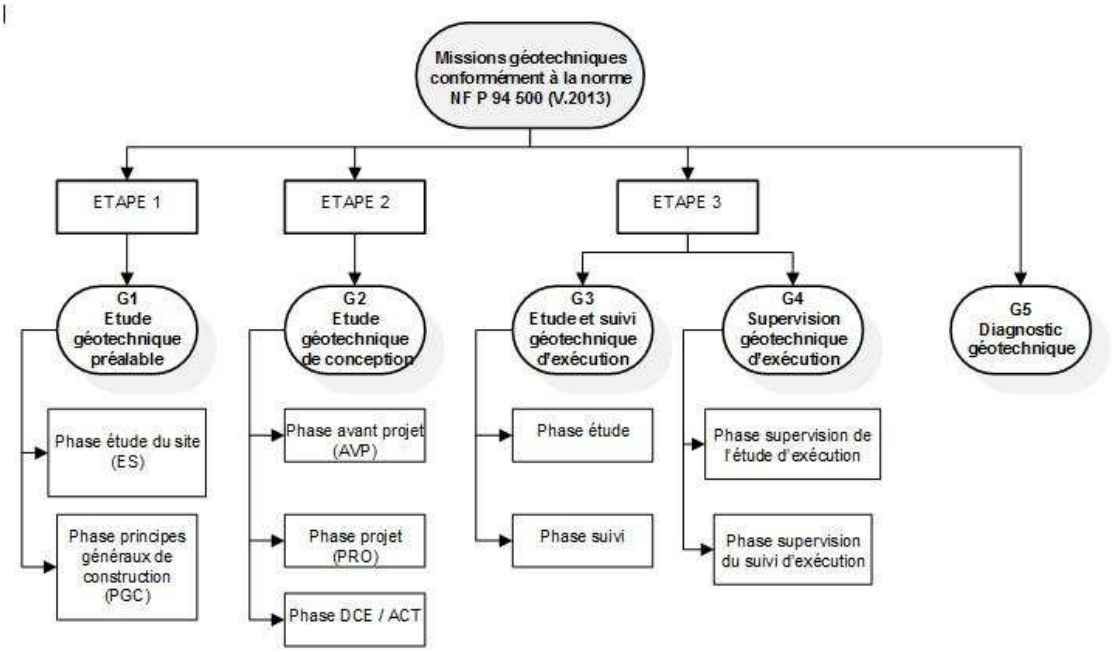


Figure 1.7 Schéma d'enchaînement des missions géotechniques

6.1 Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique

Le schéma d'enchaînement des missions géotechniques établit la correspondance entre les missions géotechniques types et les phases d'élaboration du projet : phase études (APS, APD, PRO, ACT DCE), phase de suivi et de réalisation (EXE/VISA, DET/AOR).

Ce schéma (voir figure 1.8), en accompagnement des missions de la maîtrise d'œuvre, doit permettre une meilleure maîtrise des risques géotechniques et donc des délais et coûts d'exécution de la construction. Cet enchaînement doit, bien entendu, se faire dans une concertation continue réactive entre les parties prenantes dont les contrôleurs techniques doivent faire partie « le plus en amont possible ». Le texte même de la norme précise : « Il est recommandé que le dialogue entre géotechniciens et clients soit établi en amont des phases de consultation (présentation des services offerts par l'ingénierie géotechnique, réunions ou entretiens) pour assurer la bonne définition des missions à réaliser (besoins liés à la géotechnique vis-à-vis de l'ouvrage) et la cohérence entre les objectifs de ces missions et les moyens indispensables pour garantir la qualité de leur réalisation ».

Ainsi, à tous les niveaux de la conception, de l'étude et de la réalisation d'un projet, une étude géotechnique bien conduite accroît toujours, et souvent de façon déterminante, la rentabilité, la pérennité et la sécurité de l'ouvrage. De plus l'enchaînement des missions géotechniques contribue à une meilleure appréciation des obligations et des responsabilités du géotechnicien vis-à-vis des autres participants à l'acte de construire (Allal & Benachenhou, 2010). Il ne sera jamais reproché à un géotechnicien de se heurter aux limites de la science, mais il lui sera reproché de ne pas informer ses contractants ou de laisser un flou sur le contenu de ses prestations exécutées.

La norme NF P 94-500 constitue donc un garde-fou indispensable contre les abus vécus jusqu'alors tendant à faire supporter au géotechnicien, avec une vision plus large du devoir de conseil, la charge de sinistres résultants parfois simplement de contraintes financières.

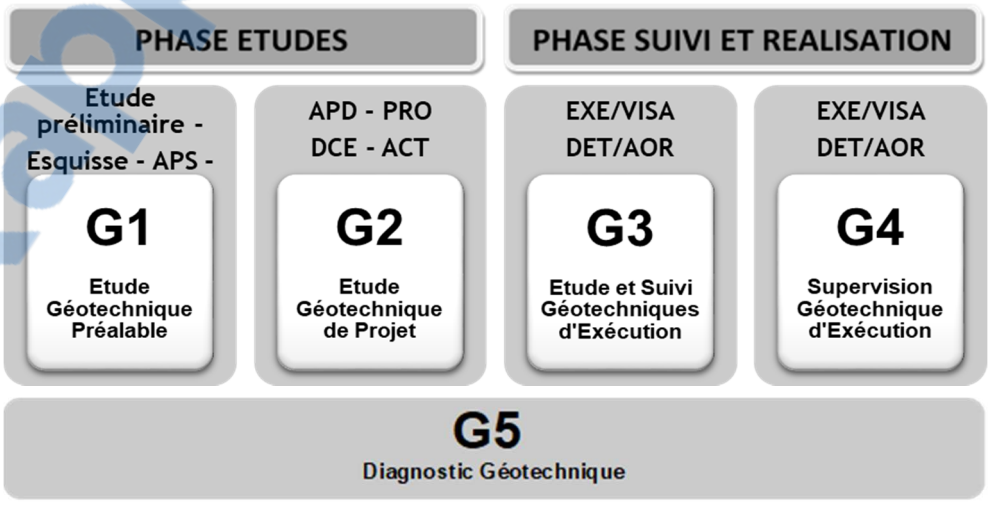


Figure 1.8 Enchainement des missions géotechniques/aux phases d'élaboration du projet

Rapport-Gratuit.com

6.2 L'importance de la norme dans la maîtrise des risques géotechniques tout au long du cycle de vie du projet

Le retour d'expérience sur l'application de la norme NF P 94-500 version 2006 pendant plusieurs années a permis de dégager plusieurs dysfonctionnements dont le non enchaînement des missions géotechniques qui induit une augmentation des risques géotechniques. Face aux risques évoqués précédemment (cf. paragraphe 3), la meilleure réponse à apporter pour les problèmes liés à la géotechnique est l'application rigoureuse de la norme NF P 94-500 version 2013 sur la classification des missions d'ingénierie géotechniques. En effet, l'objectif de la révision 2013 de la norme a été de faciliter son application en réduisant le nombre de missions pour en faciliter l'enchaînement et maîtriser les risques géotechniques tout au long des diverses étapes de conception et de réalisation du projet et ceci en coordination avec les missions de maîtrise d'œuvre. Une enquête sur la sinistralité publiée par le comité géotechnique de Syntec Ingénierie en 2014 a montré que dans la majorité des cas de sinistres, la norme n'a été appliquée que partiellement. L'enquête révèle ainsi que l'absence d'enchaînement des missions de la norme est la cause majeure dans 10% des manifestations de désordres. Plus généralement, dans 61% des dossiers de sinistres, la mission d'ingénierie géotechnique s'est arrêtée en phase AVP (mission G12, version 2006) (Baumann, 2014).

Le sous-sol n'est pas visible, c'est le domaine favorable des incertitudes et ceci est dû à son hétérogénéité et aussi à la difficulté d'identifier les risques géotechniques avant leurs survenances. Pour une bonne maîtrise des risques géotechniques inhérent à tout projet, la norme préconise la connaissance du contexte géologique et géotechnique du site et la prévision du comportement de l'ouvrage projeté, que ce soit en phase de réalisation que pendant sa durée de vie d'où l'intérêt de veiller à la bonne réalisation de l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique, en les synchronisant avec les phases de conception puis de réalisation de l'ouvrage. Les études montrent que tout investissement fait par le maître d'ouvrage en phase de conception permet une meilleure maîtrise des risques et des coûts liés au site et aux sols (NF P 94-500, 2013).

Le schéma de la figure 1.9 synthétise le traitement des risques à chaque phase de déroulement du projet conformément à la norme et en adéquation avec le schéma d'enchaînement des missions géotechniques présenté dans la figure 1.7.

Comme le préconise la norme, la gestion des risques est axée sur leur détection le plus tôt possible ainsi que sur le contrôle de l'efficacité des solutions correctives prévues.

Elle s'appuie sur les actions suivantes :

a. Au stade de la conception de l'ouvrage (étape 1, étape2) :

- évaluation des incertitudes et de la variabilité des paramètres influents, avec réalisation d'investigations géotechniques complémentaires pour les réduire ;
- reconnaissance de l'environnement, en particulier des avoisinants potentiellement concernés ;

- définition des éventuelles dispositions constructives complémentaires à mettre en œuvre si le contexte géotechnique ou le comportement de l'ouvrage observé n'est pas conforme aux prévisions ;
- définition des adaptations possibles avec recherche d'opportunités ;
- prise en compte des risques inhérents par leur budgétisation et leur incidence sur les délais ;
- prise en compte de la maintenance inhérente à certains types d'ouvrages géotechniques (drains, tirants, etc.) : accessibilité, coûts, etc.

b. Pendant l'étape 3 de réalisation de l'ouvrage :

- étude géotechnique d'exécution,
- suivi et contrôle géotechnique en continu (en fonction des valeurs seuils associées) ;

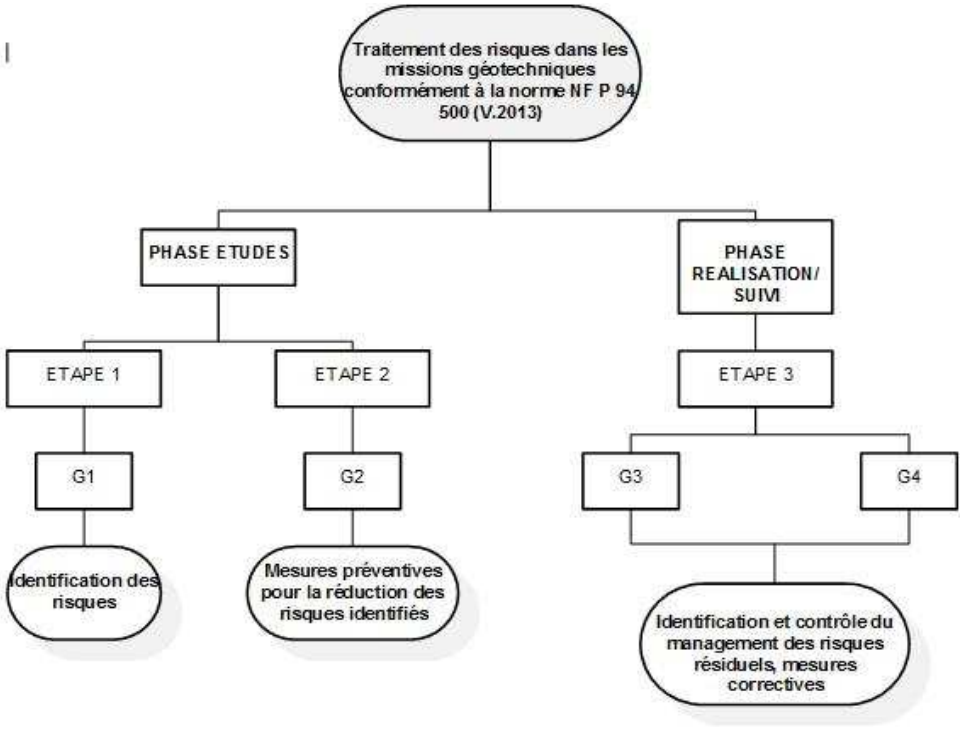


Figure 1.9 Traitement des risques/missions géotechniques/phases d'élaboration du projet

Durant la vie de l'ouvrage, la somme des renseignements géotechniques recueillis lors de l'étude et de la réalisation permet de mieux entretenir l'ouvrage, et éventuellement de le réparer pour prévenir les risques ou une ruine prématurée. Ces informations constitueront un socle fondamental pour l'apprentissage et l'amélioration continue de l'organisation. En effet, on projette, on étudie et on réalise de plus en plus rapidement des ouvrages, de plus en plus complexes, dans des sites de plus en plus difficiles à aménager ; il en résulterait alors un accroissement inadmissible des risques de tout ordre, si l'on négligeait l'étude géotechnique de ces sites. D'autre part, l'industrialisation de plus en

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

plus complète de la réalisation des projets d'aménagement du sol et du sous-sol, impose que l'on prévoie de programmer de façon de plus en plus rigoureuse leur exécution qui doit être aussi rapide que possible pour que l'ouvrage conçu puisse être mis en service dans les délais les plus brefs après qu'a été prise la décision de son financement. Cela impose, entre autres, de créer une continuité informationnelle dans le cycle de conception et réalisation du bâtiment et la prise en compte, dès le début de la conception, de tous les paramètres du projet, y compris ceux concernant la mise en œuvre et la maintenance (Allal & Benachenhou, 2011).

La figure 1.10 présente le cycle de développement fonctionnel des missions géotechniques avec un enchaînement simultané et un retour d'expérience pour apprentissage (Feed back), avec la superposition des investigations géotechniques supplémentaires, du diagnostic géotechnique (mission G5) et des étapes de management des risques géotechniques conformément à la norme NF P 94-500 2013.

Le choix s'est porté sur une représentation de ce cycle en perspective d'ingénierie concourante (ou simultanée). En effet, la représentation séquentielle et linéaire du cycle de vie dans le domaine de la construction est la première cause de discontinuité informationnelle entre les acteurs (Oumeziane, 2005). Tous les travaux récents soutiennent cette démarche et montrent que l'ingénierie concourante permet de créer une continuité informationnelle à même d'améliorer l'efficacité (Mesquita, 2002). Ceci permet d'optimiser des ressources, de maîtriser les délais et les coûts, d'éviter l'accumulation des erreurs, de minimiser les risques et de favoriser la communication entre les différents intervenants impliqués dans l'opération en vue d'une meilleure efficacité et efficience dans le management des risques des missions géotechniques.

Le reconnu en géotechnique est toujours modeste et les risques géotechniques dépendent non seulement des caractéristiques des terrains mais également de celle de l'ouvrage, de sa méthode de construction et de son environnement ainsi que des problèmes de coordination entre les différentes parties prenantes. Effectivement, la multiplication des intervenants de toutes natures, et donc l'accroissement significatif du nombre d'interfaces, est un facteur significatif de risque (Tepeli, 2014).

Le problème de coordination entre les acteurs sera traité dans le chapitre suivant où on mettra l'accent sur la nécessité du travail collaboratif à la base de l'interopérabilité pour la maîtrise des risques dans les projets de construction.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

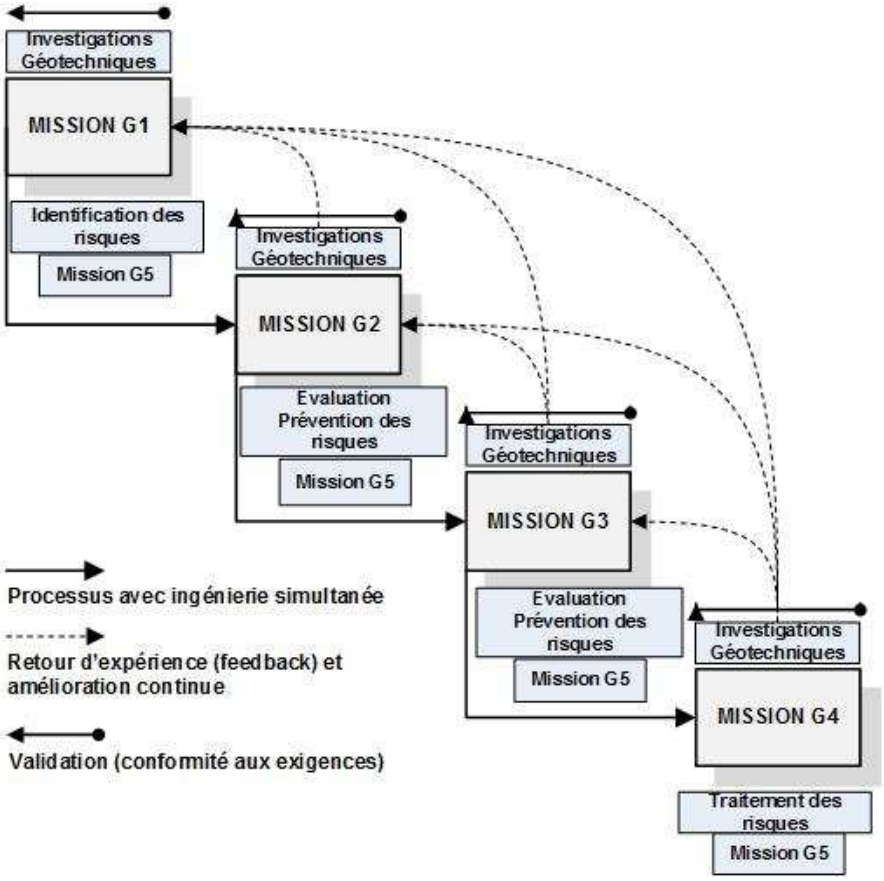


Figure 1.10 Cycle de développement des missions géotechniques

7. CONCLUSION

La nature n'est pas capricieuse ; le sol n'est pas vicieux : aux constructeurs de s'accommoder à ce qu'ils sont ; la géotechnique le leur permet. Les catastrophes ne sont pas naturelles : les effets paroxystiques mais normaux des phénomènes naturels sont catastrophiques quand on ne tient pas compte de leur éventualité ; la géotechnique permet d'éviter, de prévenir ou au moins, de minimiser la vulnérabilité de certains sites soumis à des phénomènes naturels. En effet, la géotechnique est indispensable à l'art de construire : l'ignorer conduit presque toujours au dommage, à l'accident, voire à la catastrophe (Allal & Benachenhou, 2011). Parallèlement, les études de géotechnique souffrent d'incertitudes dont les origines sont complexes. Nous avons cité entre autres, les erreurs de mesures et l'incertitude de transformation, les erreurs d'observation, d'enquête, les erreurs humaines, la complexité des problèmes étudiés, le volume réduit des informations disponibles, etc. L'analyse approfondie de ces erreurs et incertitudes est indispensable pour une meilleure connaissance du milieu étudié. La norme NFP 94-500, qui définit les natures et contenus des missions géotechniques, a apporté sa contribution à la lutte contre les erreurs et incertitudes, en incitant les différents acteurs d'un projet de construction à constituer rationnellement la connaissance et la maîtrise du milieu géologique par un enchaînement d'investigations et de contrôles tout le long du cycle de vie de l'ouvrage. Nous avons aussi vu que les projets de construction ne se limitent pas aux risques géotechniques d'origine naturelle et/ou anthropique. La complexité des

projets apparaît de plus en plus souvent liée au nombre croissant d'intervenants, à leurs objectifs qui peuvent être différents, voire parfois contradictoires. En effet, il est difficile d'imaginer qu'un seul homme, fût-il architecte, ingénieur ou constructeur, puisse mener à lui seul un projet de construction. L'architecte, jusque-là incontesté dans ses pratiques, devient concurrencé, par différents acteurs. Il voit s'installer dans la profession de l'acte de construire une pluridisciplinarité dans tous les domaines qui touchent à la construction. Un projet de construction nécessite, à ce titre, une articulation forte entre les intervenants, un travail collaboratif à la base de l'interopérabilité pour la recherche d'efficacité dans la maîtrise des risques géotechniques à toutes les étapes du cycle de vie du projet. ■

« Une cause très petite, et qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard ».
Henri Poincaré, 1908.

2

DE LA NECESSITE DE L'INTEROPERABILITE DANS LES PROJETS DE CONSTRUCTION

1. INTRODUCTION

Un projet de construction résulte d'une activité collective menée par de nombreux intervenants intégrés dans une configuration organisationnelle définie contractuellement pour la durée du projet. A chaque opération de construction correspond une équipe de projet ou le contexte de travail, les compétences et les missions de chacun des intervenants sont différents. Au sein de cette organisation, les relations sont complexes et la manière dont les acteurs collaborent est une source de danger. De ce fait, un nombre important de dysfonctionnements peut entraver le bon déroulement d'un projet de construction ; à titre d'exemple, nous citerons, les dysfonctionnements propres aux mises à jour des documents, à leur circulation parmi les intervenants, à la communication entre

les intervenants, à l'absence de suivi des demandes des intervenants, etc. La gestion de ces risques issus de la collaboration est un enjeu majeur.

La question de la collaboration dans un projet de construction n'est pas nouvelle. Elle est même consubstantielle de l'acte de bâtir (Zignale, 2013). Les édifices des dynasties d'antan (El Mechouar à Tlemcen, Pyramides à Gizeh, Colisée de Rome, Taj Mahel en Inde, etc.) sont l'expression d'une collaboration entre de multiples et différents métiers habitués à travailler ensemble et dont l'activité de création reste encore un objet d'étonnement. De plus, d'après un article de Pascal Waringo sur « L'organisation de la construction des cathédrales » (2000), l'édification des cathédrales médiévales, entre le XII^{ème} et XV^{ème} siècle, s'étalaient sur une période de temps qui allaient de quelques années à plusieurs siècles et réunissaient une moyenne de 650 personnes (sur le chantier et à l'approvisionnement) qui devaient être coordonnées. Les notions d'interopérabilité et de travail collaboratif y étaient déjà présentes, même si elles n'étaient pas formalisées.

Dans ce deuxième chapitre, nous allons d'abord définir l'acte de construire, les différents intervenants dans l'acte de construire, leurs missions, rôles, responsabilités, relations contractuelles ainsi que les notions et l'importance du travail collaboratif et de l'interopérabilité ; celle-ci résume ce nouveau besoin du secteur de la construction en vue de minimiser les risques induits par la multiplicité des acteurs et leurs interactions. Malheureusement, s'il n'y a pas de collaboration, de coordination et de communication, et parce que le projet est un « tout », il y a de fortes probabilités d'apparition d'événements géotechniques non souhaités perturbant le bon déroulement du projet.

2. L'ACTE DE CONSTRUIRE

Chaque construction, chaque pierre, chaque brique, chaque trace laissée par nos ancêtres, représente l'expression et le vécu de différentes civilisations. C'est à travers les ruines, les monuments, qu'on est parvenu à imaginer les modes de vie, l'histoire des peuples, les organisations sociales, la culture des peuples qui nous ont précédés. L'acte de construire s'inscrit dans un temps long et est durable par essence.

À propos de l'art de bâtir, l'égyptologue et romancier Christian Jack (1996), dans sa collection sur l'histoire des pharaons, relatait que le pharaon Sethi disait en conseillant à son fils Ramsès : « C'est au contact des hommes de métier que se forme le sens du gouvernement. La pierre et le bois ne mentent jamais. Pharaon est bâti par l'Egypte, Pharaon bâtit l'Egypte, il construit et construit encore, car bâtir le temple et le peuple est le grand acte d'amour ». Au cours des temps, l'art de construire est transmis de génération en génération, et à chaque époque de l'humanité, des techniques nouvelles et des améliorations sont inventées et introduites dans la manière de construire. Le bâtiment, terrain d'enjeux économiques très importants, doit faire face aux situations socio-économiques caractérisées par une modification des exigences et des besoins qualitatifs et un renforcement de la compétitivité des différents acteurs économiques sous l'effet de la mondialisation, des échéanciers tendus, des exigences de qualité de construction, de la complexité des ouvrages, des réglementations complexes et difficile à intégrer. Le

bâtiment reste ainsi constamment tendu entre deux pôles. Le plus contingent est, bien sûr, celui de prégnance de la « satisfaction des besoins », de la rentabilité financière, de la valeur d'usage immédiate, de l'adaptation à la demande. De l'autre côté, émerge la responsabilité face à l'histoire et plus précisément envers nos descendants, le désir de faire œuvre, le souci de la durée. Cette mise en perspective conduit à s'interroger sur les différentes facettes de l'acte de bâtir : que construire (l'architecture), comment construire (la technologie), que conserver (le patrimoine), quelles villes aménager (l'art urbain), et tout cela pour quel avenir ?

Le risque est ainsi de prendre des décisions irréversibles qui s'avèrent être quelques dizaines d'années plus tard, des décisions heureuses, ou…regrettables ! Cela suppose humilité, respect des professionnels et jugement réfléchi sur l'acte de construire qui est par essence durable. Cette démarche volontaire, entend intégrer des exigences pour la création d'un environnement intérieur sain, et confortable.

De ce fait, l'acte de construire est devenu de plus en plus complexe, tant par le nombre et la diversité des disciplines qui concernent la construction, ainsi que des acteurs qu'il fait intervenir, que par les procédures et les risques auxquelles il est soumis. Il nécessite à ce titre, de coordonner les activités de chaque acteur d'une manière efficiente à toutes les étapes de la vie des opérations.

3. ROLES ET RESPONSABILITES DES INTERVENANTS DANS L'ACTE DE CONSTRUIRE

Un projet de construction est un ensemble d'activités à réaliser qui nécessite l'intervention de plusieurs acteurs. Il se caractérise par son cycle de vie qui est généralement constitué de plusieurs phases. Plusieurs découpages existent et plusieurs acteurs y jouent différents rôles. Le nombre d'acteurs impliqués croît avec la taille et la complexité du projet. En ce qui nous concerne, nous considérons quatre phases : études préalables, conception, réalisation, et clôture. Chacune de ces phases est composée de plusieurs étapes (Figure 2.1)

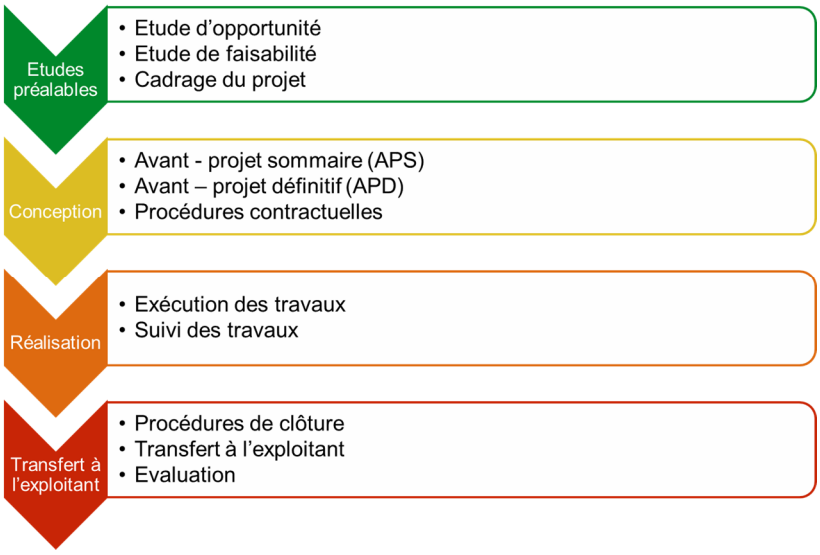


Figure 2.1 Principales phases d'un projet de construction

3.1 L'environnement de la construction et les parties prenantes

Le lancement d'un projet de construction est conditionné, en partie, par une connaissance et une analyse de l'environnement. L'environnement est ce qui donne aux organisations les moyens de leur survie : répondre aux attentes des clients pour rester en activité. Pour autant, l'environnement est également une source de menaces (et d'opportunités) : irruption de nouveaux concurrents, nouvelles exigences règlementaires, instabilité politique, etc. Il est donc essentiel pour les commanditaires de projets d'analyser leur environnement, afin d'anticiper et de prendre en compte toutes ses évolutions.

On distingue deux types d'environnement (Figure 2.2) :

a. L'environnement général : Il désigne tout l'arrière-plan de environnement externe de l'organisation, le contexte qui influence le comportement des gestionnaires et qui encadre la prise de décisions. Il est composé de :

- L'environnement politique (le rôle des pouvoirs publics, etc.)
- L'environnement socioculturel (les évolutions culturelles et démographiques, etc.)
- L'environnement légal (contraintes juridiques, les évolutions réglementaires, les normes de sécurité, etc.)
- L'environnement économique (les facteurs macro-économique tels que les taux de change, le pouvoir d'achat, les revenus, l'inflation, etc.)
- L'environnement technologique (l'analyse des tissus industriels et des nouvelles technologies, etc.)
- L'environnement naturel (les préoccupations écologiques et environnementales : pollution, recyclage, etc.)

b. L'environnement spécifique : Il comprend les organismes et les personnes avec lesquels l'organisation entre en interaction (directement ou indirectement) afin de

survivre et de prospérer ; ils peuvent être des parties prenantes du projet. On peut identifier par exemple :

- Client
- Fournisseur
- Distributeur
- Concurrent

En plus des environnements cités ci-dessus avec lesquelles le projet interagit, chaque projet de construction comporte des parties prenantes qui peuvent avoir un impact sur le fonctionnement ou les résultats du projet. Elles sont définies par le Project Management Institute (PMBoK, 2017) comme une personne, un groupe ou un organisme qui peut affecter, être affecté par, ou percevoir d'être affecté par une décision, une activité ou le résultat d'un projet. Les parties prenantes peuvent prendre une part active au projet ou avoir des intérêts qui peuvent être affectés, positivement ou négativement par la performance du projet ou pour son achèvement. Ainsi dans le projet de construction, le management des parties prenantes comportent 4 processus tel que représentés dans la figure 2.3. Ces processus permettent à l'équipe projet d'analyser les attentes des parties prenantes, d'évaluer dans quelle mesure elles affectent ou sont affectées par le projet et d'élaborer des stratégies afin de les faire participer de manière efficace dans la prise de décision du projet mais aussi la planification et l'exécution du travail du projet (PMI-PMBOK, 2017). Pour réussir le projet, la satisfaction des parties prenantes doit être gérée comme un des principaux objectifs du projet, d'où l'intérêt de mettre en place des processus et des outils collaboratifs pour atteindre la satisfaction des parties prenantes.

L'identification des parties prenantes, la compréhension de leur degré d'intervention et d'influence sur le projet, ainsi que l'assurance d'un équilibre entre leurs exigences, leurs besoins et leurs attentes, sont des actions essentielles qui permettent de limiter les risques, d'instaurer une confiance et d'encourager des adaptations introduites au plus tôt dans le cycle de vie du projet. Ainsi, les chances de réussite du projet sont accrues.

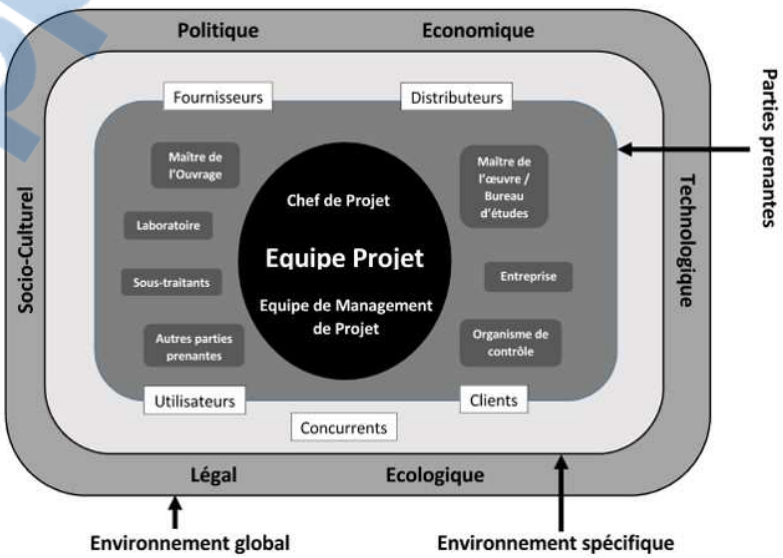


Figure 2.2 Environnements et parties prenantes (Benachenhou et al., 2016)

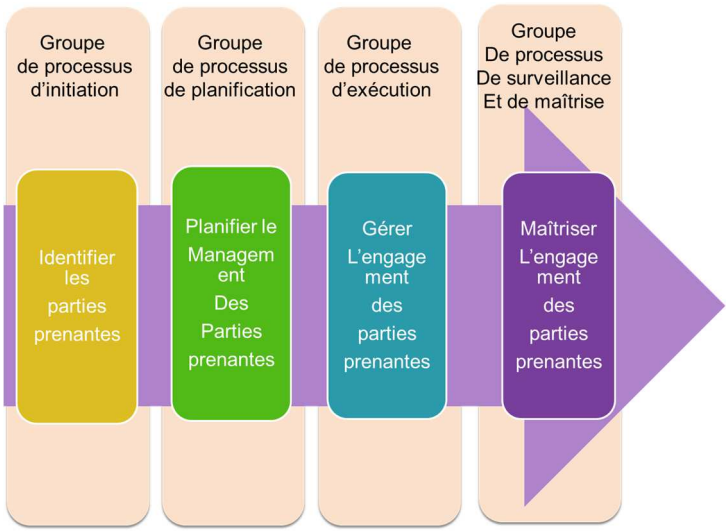


Figure 2.3 Les processus du management des parties prenantes (PMI-PMBOK, 2013)

3.2 Les différents intervenants dans l'acte de construire

Au cours d'un projet chaque acteur a un rôle défini et sa responsabilité varie en fonction de son niveau d'intervention dans le projet. Un acteur peut jouer des rôles différents d'un projet à un autre, voir même au sein d'un même projet. Parmi ses acteurs, nous pouvons citer :

- **Le maître d'ouvrage**, qui est le commanditaire et celui qui supporte le coût financier de l'ouvrage à concevoir. C'est l'entité porteuse du besoin, s'assurant de la faisabilité et de l'opportunité de l'opération, définissant le programme du projet, son calendrier et le budget consacré à ce projet. Le maître d'ouvrage, peut déléguer à d'autres personnes physiques ou morales (mandataire, manager conseil, manager de projet, manager de construction) « l'exercice, en son nom et pour son compte, de certaines attributions », nécessairement délimitées dans un contrat ou un marché.

- **Le maître de l'œuvre** regroupe non seulement la fonction de conception (architecturale), mais aussi les fonctions techniques et économiques, ainsi que la représentation du maître d'ouvrage à l'égard des entreprises, pour suivre la réalisation. La maîtrise d'œuvre peut être assurée par l'architecte, les bureaux d'ingénierie ou tout autre organisation qui a les agréments et les compétences pour cela (ex. un maître d'ouvrage, une entreprise, les services techniques publics, etc.) en fonction du type et des exigences de l'ouvrage et du type de contrat.

- **L'entreprise** est chargée de la réalisation des travaux de construction pour le compte du maître d'ouvrage. Elle travaille dans des configurations contractuelles qui peuvent varier (entreprise générale, sous-traitance, co-traitance, etc.).

En plus de ses trois principaux acteurs, d'autres sont impliqués dans l'acte de bâtir comme suit :

- **Le manager de projet**, responsable du bon déroulement du projet, notamment par l'identification des problèmes et le suivi de l'information,

- **Le contrôle technique**, qui a un rôle d'analyste et d'expert ; il contribue à la prévention des différents aléas susceptibles d'être rencontrés dans la réalisation des ouvrages,

- **Le laboratoire géotechnique** qui a pour mission de faire un ensemble de recherches et de reconnaissances par mesures et essais, in situ et en laboratoire. Il a un rôle déterminant au niveau de toutes les étapes de réalisation d'un projet. Il constitue un pilier porteur de tout l'acte de construire par ses études géotechniques, ses études de formulations, ses expertises, ses analyses, etc.

- **Les fournisseurs** et autres industriels jouent également un rôle important en ce sens qu'ils vont approvisionner le chantier en matériaux, matériels et autres.

Il convient d'ajouter à cette liste d'acteurs, d'autres parties prenantes comme les services publics tel que le cadastre, les municipalités qui vont délivrer les différentes autorisations (permis de construire, autorisation d'ouverture de chantiers, autorisation d'occupation des voies, etc.) nécessaires à la bonne marche des activités de construction.

Le nombre d'acteurs et l'hétérogénéité du groupe influent directement sur la manière dont devra être géré le projet : plus le nombre est important, plus les responsabilités doivent être identifiées et plus la coordination joue un rôle important (Figure 2.4).

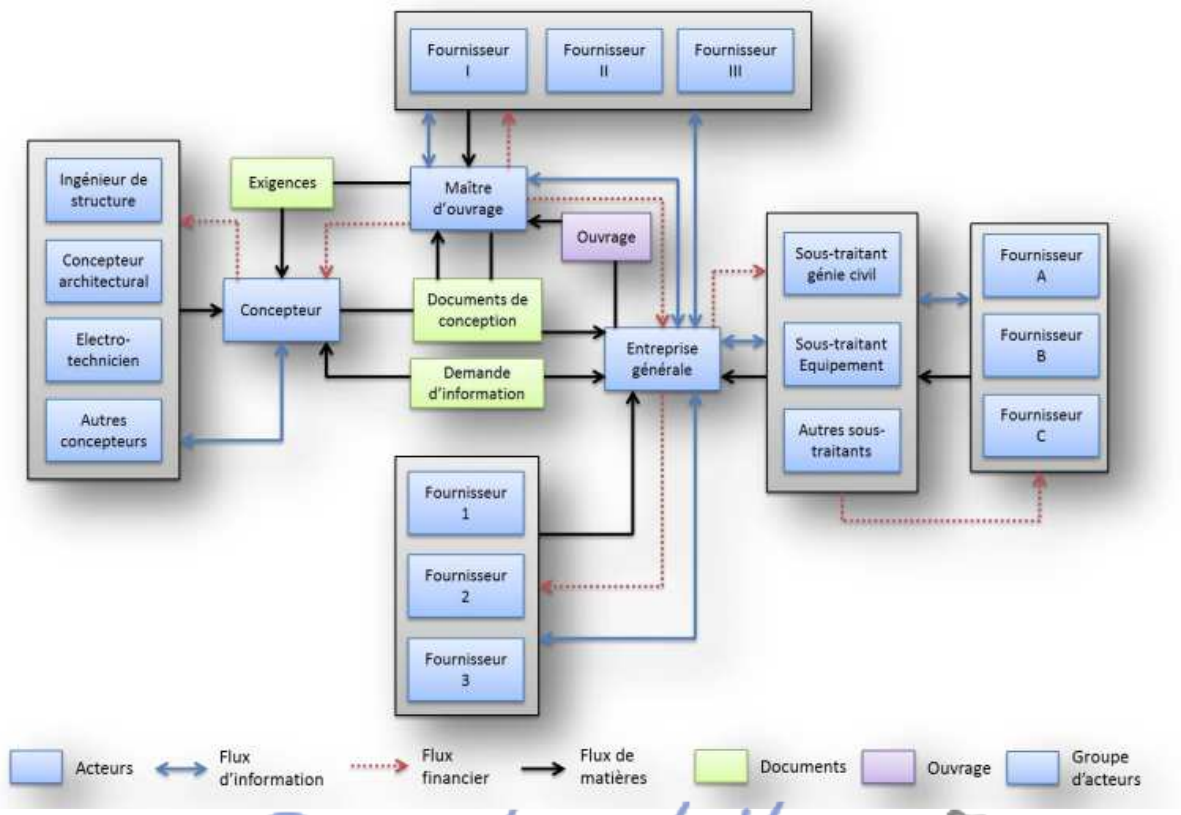


Figure 2.4 Structure générale de la chaîne de production d'une construction (Boton, 2013)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3.3 La relation entre les acteurs et les types de contrat

La relation entre les acteurs dans un projet de construction peut être de nature fonctionnelle non contractuelle ou marqué par un contrat de louage appelé marché.

L'appel d'offres par projet est le principal mode d'attribution des marchés.

Malcurat (2001) a montré que pour un projet donné, la multiplicité des acteurs et des centres de décision est un facteur de complexité des rapports de coopération parce que :

- la séparation formelle entre clients, concepteurs, réalisateurs et contrôleurs techniques rend le centre de gravité décisionnel instable ;
- le décideur n'est pas toujours le client final ; c'est le cas par exemple lorsqu'un maître d'ouvrage délégué assiste un maître d'ouvrage non-professionnel, ce qui entraîne une démultiplication des pouvoirs.

Les rôles des contrats consistent alors à organiser et à repartir entre les différents partenaires du projet de construction chacune des taches qu'exige sa réalisation, en s'adaptant efficacement aux besoins de chaque projet.

3.3.1 Les différents types de contrat

Les critères de choix d'un modèle contractuel dépendent en premier lieu du donneur d'ouvrage lui-même (ses compétences, son confort), et en second lieu du projet proprement dit (le temps, le cout, la qualité, l'innovation).

Ainsi, les différents types de contrat recensés à ce jour sont les suivants :

- Traditionnel ;
- Traditionnel avec acquisition au plus tôt ;
- Traditionnel avec manager de projet ;
- Traditionnel avec manager de construction ;
- Traditionnel avec acquisition au plus tôt et manager de construction ;
- Management de construction à risque ;
- Etude/Réalisation (Design/Build) ;
- Multiple, Etude/Réalisation (ou conception/construction) ;
- Plusieurs entrepreneurs en parallèle ;
- Traditionnel, avec ingénierie séquentielle ;
- Clé en main avec ingénierie simultanée [Turnkey] ;
- « Fast Track », avec ingénierie simultanée.

Comme nous l'avons précisé plus haut, il faut adapter le contrat aux besoins de chaque projet (à l'intérieur d'un modèle existant ou en les combinant, ou encore en les adaptant aux circonstances propres au projet, ou sinon, en créant un tout nouveau type de contrat).

De plus, le choix du type de contrat doit aussi tenir compte de l'environnement et de la législation en vigueur.

Ceci dit, et en tenant compte de notre environnement dans lequel les projets sont initiés et réalisés, les modèles contractuels les plus utilisés en Algérie sont : le contrat type traditionnel et le contrat type Etude/Réalisation (Design-Build).

3.3.2 Le contrat Traditionnel [DBB]

Dans ce type de contrat, les phases de conception et de construction sont réalisées en série. Le maître d'ouvrage passe des contrats avec deux entités (Figure 2.5) :

- Un premier contrat avec un maître d'œuvre pour la mission étude/conception
- Un second contrat avec une entreprise générale pour la réalisation du projet.

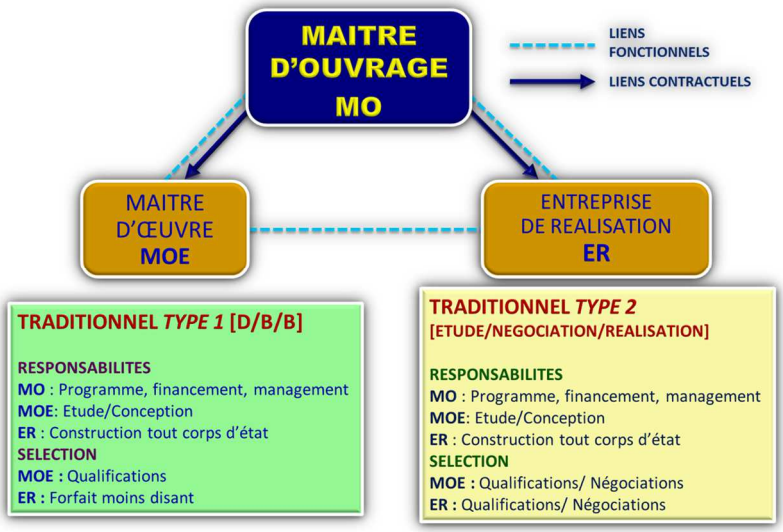


Figure 2.5 Modèle traditionnel [DBB]

Le tableau 2.1 ci-après recense les avantages ainsi que les limites de ce modèle contractuel.

Tableau 2.1 Les avantages et les limites du contrat traditionnel

Avantages	Prudences et limites
• Rôles et responsabilités clairement définis ; • Peu de risques, dus à un manque de coordination, pour le propriétaire ; • Le maître d'ouvrage a une idée sur le cout total avant le début des travaux ; • Les procédures sont bien établies et largement documentées ; • Les spécifications permettent une production de qualité par l'entreprise de réalisation ;	• Pas de possibilités d'ingénierie simultanée entre l'étude et la réalisation ; • Le maître de l'ouvrage doit gérer tous les contrats (étude et réalisation) ; • Dans le modèle traditionnel, la durée du projet est plus longue ; • Les soumissions peuvent être supérieures à la prévision du propriétaire ;

• Possibilité simple de faire des modifications pendant la conception ; • La planification peut être préparée à l'avance d'une façon fine.	• Des relations hostiles peuvent se développer entre les trois parties (MO, MOE, ER), parce que leurs objectifs ne sont pas les mêmes.

Ce type de contrat a longuement été utilisé en Algérie. L'émergence des grands projets et la venue des multinationales, ainsi que les limites du contrat traditionnel, ont suscité le besoin d'adapter un autre modèle contractuel du type étude-réalisation (design-build).

3.3.3 Le contrat Etude/Réalisation (Design-Build)

Le maître d'ouvrage passe un contrat pour l'ensemble du projet avec une seule entreprise (ce peut être un groupement d'entreprises, une société, un promoteur) qui se charge de faire à la fois la conception et la réalisation du projet (Figure 2.6). Les phases de conception et de construction sont simultanées. Ce type de modèle est utilisé en Algérie pour les grands projets notamment l'autoroute Est-Ouest, le chemin de fer, certains ouvrages d'art, etc.

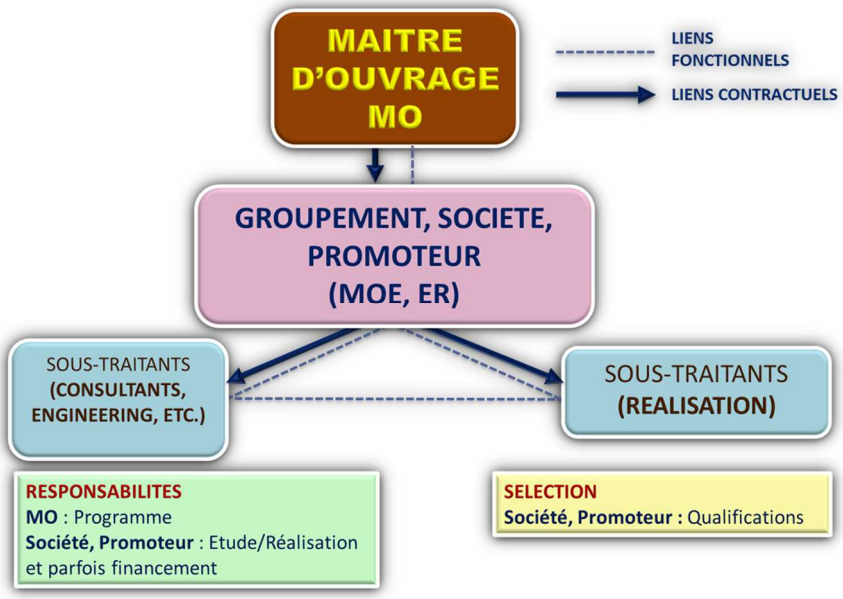


Figure 2.6 Modèle Etude/Réalisation

Il est essentiel dans ce type de modèle que le maître d'ouvrage élabore un programme précis avec une description claire des performances attendues. Dans le tableau 2.2, on présente les avantages et les limites de ce contrat.

Tableau 2.2 Les avantages et les limites du contrat Etude/Réalisation

Avantages	Prudence et Limites
• Une seule entité responsable et interlocutrice du MO ; • Travail en ingénierie simultanée ;	• Le « design-build » demande plus de flexibilité de la part du MO non seulement pour l'étude des soumissions mais aussi tout long du projet, qui est géré par l'entité unique ;

• Possibilité d'accélérer le processus de construction à n'importe quelle phase et de gagner du temps à la fin du projet ; • Moins de risques de conflits entre MOE et l'entreprise de réalisation que dans le modèle traditionnel ; • Résolution rapide des problèmes techniques et des modifications dans le chantier.	• L'utilisation de documents non détaillés au début peut conduire à des malentendus entre le MO et le co-contractant ; • L'esprit de vérification et de métré entre le MOE et l'entreprise de réalisation disparait ; • Le MO n'exerce que très peu de contrôle sur le projet après la signature du contrat et le coût peut être accru du fait que sa contribution au travail est extrêmement limitée ; • Processus d'appel d'offres onéreux.

4. LE PROCESSUS DE COMMUNICATION ET D'ECHANGE D'INFORMATIONS

Au regard du fonctionnement de l'environnement de la construction et du nombre d'acteurs établi plus haut, les professionnels du secteur expriment le besoin d'améliorer le mode de communication et d'échanges d'informations. En effet, au cours d'un projet de construction, le contexte de travail, les compétences et les rôles de chacun des intervenants sont différents. Cela rend difficile la gestion et l'optimisation du travail et des échanges d'information dans un contexte collectif (Zignale, 2013).

Souvent, la manière dont les acteurs collaborent est une source de problèmes considérables qui se répercute sur la bonne conduite du projet (mauvaise compréhension des instructions, mauvaise transmission d'informations, absence de suivi et de coordination des exigences des collaborateurs, etc.). La gestion de ces risques issus de la collaboration est un enjeu important. Pour cela, les différents acteurs doivent s'entendre sur les interfaces, les documents, le mode de communication.

Au cours d'une activité collective, la communication doit permettre aux acteurs d'échanger, de se synchroniser et négocier la répartition du travail par une coordination « inter-individuelle » (Hanser, 2003). Le processus de communication consiste à la transmission de signes porteurs de significations devant être communes à l'émetteur et au récepteur. L'objectif de la communication entre les différents acteurs dans un projet de construction est de se synchroniser sur le plan cognitif (informations sur les évènements du projet, connaissances et savoir commun) (Figure 2.7) et opérationnel (séquencement, simultanéité, etc.).

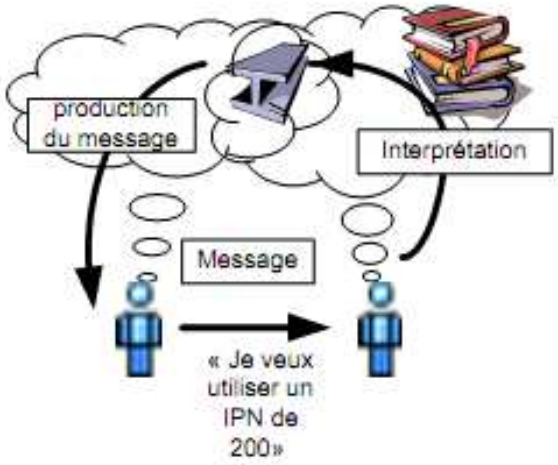


Figure 2.7 Exemple de synchronisation cognitive (Hanser, 2003)

4.1 La réunion

Dans le domaine de la construction, la réunion prend une importance toute particulière. C'est le lieu d'échanges et de mise au point. Elle regroupe tous les acteurs du projet et se retrouve tout au long du cycle de vie du projet.

Il existe un certain nombre de réunions de coordination, à titre d'exemple :

- Les réunions de coordination « ad-hoc », dans lesquelles un acteur convoque tous les autres acteurs concernés par un problème bien particulier à résoudre ;
- Les réunions de maîtrise d'ouvrage dans lesquelles les acteurs de la maîtrise d'œuvre rendent compte de l'avancement du projet ;
- Les réunions de créativité (brainstorming) ;
- Les réunions d'enclenchement.

Les problèmes soulevés, les décisions prises, les réflexions menées au cours d'une réunion sont retranscrits dans un document (compte rendu) transmis et diffusés à l'ensemble des intervenants, afin d'assurer l'échange d'information.

4.2 Les différents types de documents

Un projet de construction, est le lieu d'un échange d'informations diverses. Une interaction entre acteurs et ce qu'il produit est supportée, instrumentée par des documents. Les documents produits au cours d'un projet sont variables en types et en proportions. La figure (2.8) ci-après présente les différents documents fournis dans les différentes étapes du cycle de vie d'un projet de construction.

Olivier Malcurat a proposé dans sa thèse (2001) de catégoriser les documents au cours d'un projet en dégageant trois familles de documents :

- **Les inter-documents** qui véhiculent l'expérience collective et le savoir du domaine (documents échangés entre les membres d'une même organisation tels que : livres, normes, textes juridiques, etc.) ;
- **Les intra-documents** qui sont propres à un acteur et qui n'ont pas vocation à être échangés (croquis, notes sur un cahier, etc.) ;
- **Les extra-documents** qui servent à échanger et qui permettent le travail de groupe (documents échangés entre les parties prenantes tels que : documents graphiques, pièces de marchés, etc.).

Nous avons noté dans le paragraphe précèdent que l'échange d'informations est essentiel dans un projet. Les documents sont un type d'objet informationnel particulier, mais l'information produite, utilisée, transformée durant un projet ne se limite évidemment pas aux seuls documents. Une conversation téléphonique, le caractère urgent d'un envoi, ou l'expérience passée sur d'autres projets, sont des éléments d'information qui ont leur importance et que doivent prendre en compte tous les acteurs.

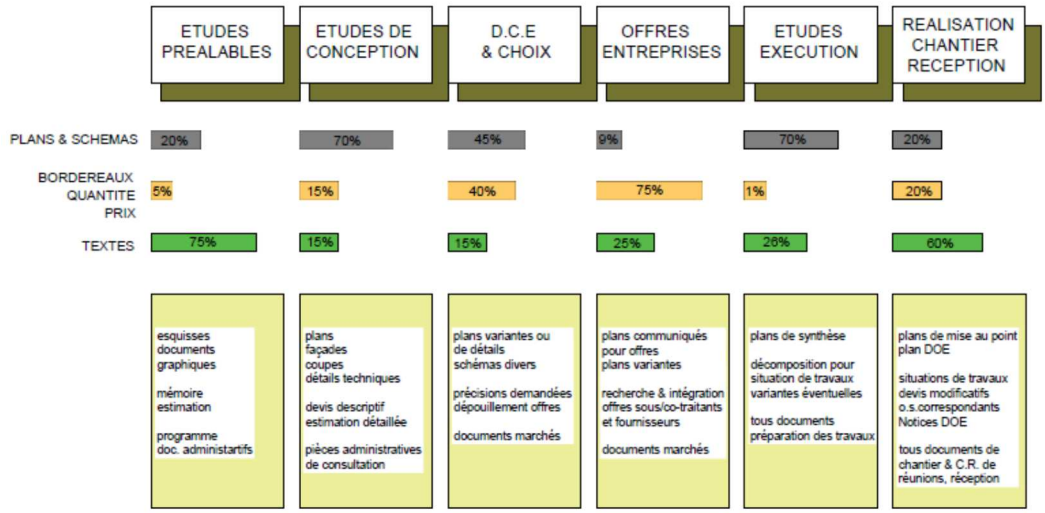


Figure 2.8 Les documents produits au cours d'une opération de construction (Rochas et Dusart, 1996, in Hanser, 2003)

Dans les différentes étapes du cycle de vie d'un projet, un volume important d'informations, formalisé sous forme graphique ou textuel est échangé et utilisé. Ainsi, on sait que le nombre et la nature des documents échangés au cours d'un projet sont élevés. La figure 2.8, établie par Rochas et Dusart (1996), fait ressortir le pourcentage des documents produits dans chaque étape du cycle de vie d'une opération de construction. Les plans et les schémas représentent 38,60% de l'ensemble des documents, par contre les documents écrits (bordereaux, devis, textes, comptes rendus, PV de chantiers, etc.) atteigne un pourcentage de 61,40%. Il est à noter que le principal support de diffusion des documents est actuellement le papier. En plus de cela, la formalisation des documents est loin d'être partagée et il arrive souvent qu'un document soit ressaisi, informatiquement

ou non, à l'issue d'un échange. Ce constat nous amène à mettre l'accent sur la nécessité d'améliorer et développer le mode de communication et de collaboration entre les acteurs du projet.

4.3 Le mode (le flux) d'échange de documents

Le support utilisé de manière majoritaire pour l'échange de documents c'est le papier. Les documents papier sont échangés et ne sont que rarement partagés. L'échange consiste à transmettre un document à l'occasion d'une rencontre entre acteurs par exemple lors de la présentation du projet du maître d'œuvre au maître d'ouvrage, ou le dépôt des plans d'exécutions auprès du contrôle technique, etc. (Figure 2.9).

Le partage est nettement moins répandu parce qu'il est plus difficile à mettre en œuvre. Il existe toutefois une situation où l'on peut observer un partage de documents à l'intérieur d'une équipe hétérogène, au moment de la consultation des entreprises. Le document D.C.E est remis par le maître d'œuvre au maître d'ouvrage pour en faire des copies et le diffuser aux entreprises soumissionnaires.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Notons quelques problèmes liés à la gestion des documents :

- La mauvaise diffusion auprès des personnes concernées ;
- Le manque d'outils permettant la diffusion des documents (moyens de communications peu évolués) ;
- Le manque de formation des acteurs sur les outils informatiques ;
- La mauvaise gestion des mises à jour et des versions des divers documents ;
- La mauvaise compréhension et interprétation des documents techniques (manque de compétence) ;
- L'incohérence entre les documents techniques (plans de l'architecte, plans techniques de l'ingénieur) du fait d'une mauvaise concertation ou d'une incompréhensions entre les acteurs.

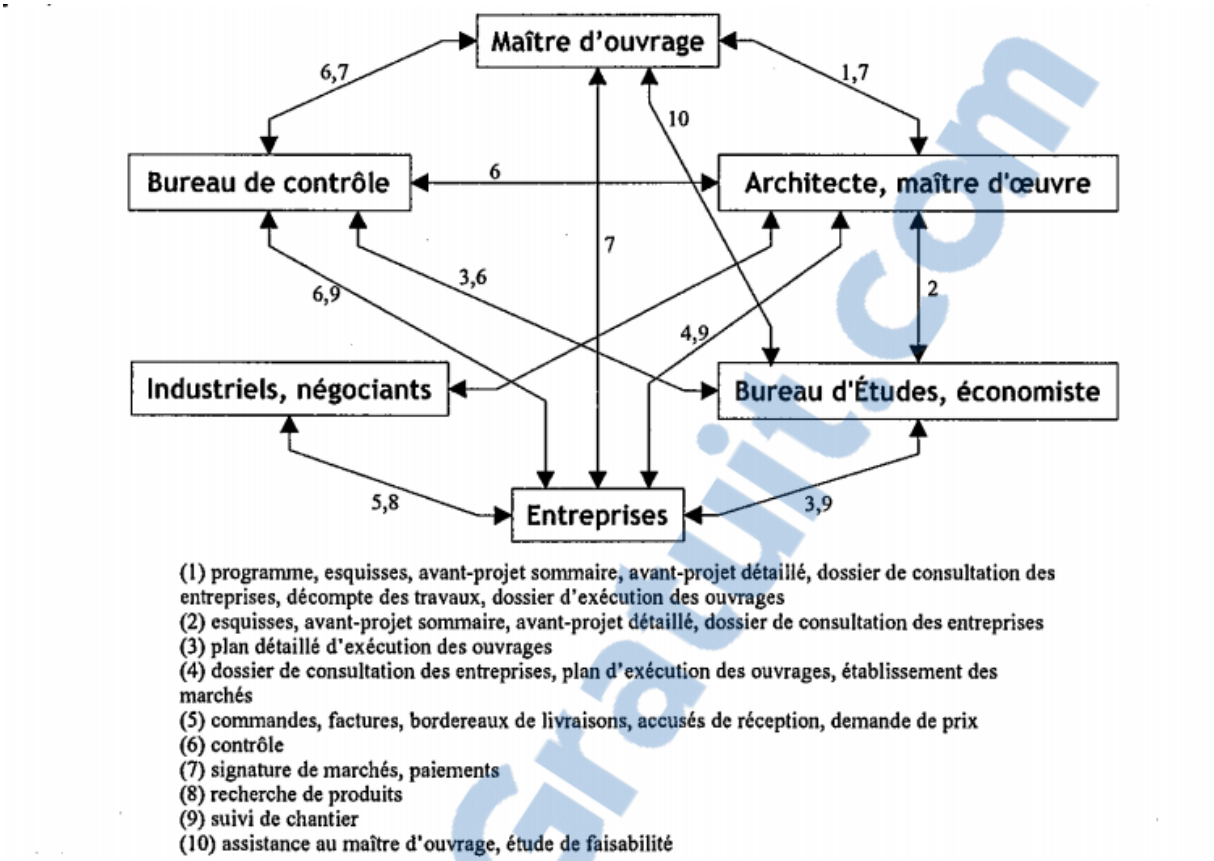


Figure 2.9 Flux d'échange de documents (Malcurat, 2001)

5. L'INTEROPERABILITE DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION ET LE CONCEPT DE TRAVAIL COLLABORATIF

Les problématiques d'interopérabilité émergent de la pluralité d'acteurs dans un projet de construction. Chaque étape du cycle de vie du projet implique la collaboration de multiples parties prenantes ainsi que l'existence de systèmes d'information hétérogènes.

La complexité statique et dynamique due à la constitution de cet ensemble, au nombre de fonctions à réaliser, au nombre de composants ainsi qu'à la dynamique des interactions entre les différentes structures, révèle l'importance de la maîtrise des processus de coordination pour assurer la réussite du projet.

Certains facteurs liés à la nature du projet et porteurs de risques font émerger l'importance de cette maîtrise :

- La multiplicité et diversité des acteurs avec leurs propres compétences et méthodes de travail, certains parfois réfractaires à adapter celles-ci à un projet particulier ;
- Des équipes d'acteurs éphémères et de composition hétérogène qui se recomposent tout au long du projet. Ils sont réunis pour un temps court sur un projet particulier. Ils ne se connaissent pas et n'ont donc pas l'habitude de travailler ensemble ;
- Des interactions entre acteurs, fonctionnelles, informelles et peu prospectives ;

Rapport-Gratuit.com

- Des difficultés de communication formelle entre les différents acteurs ;
- Des difficultés pour échanger les données et comprendre les informations échangées ;
- De nombreuses contraintes fonctionnelles, techniques, économiques et esthétiques qui varient d'un projet à un autre ;

Cependant, l'intervention de plusieurs acteurs dans un projet, nécessite la prise en compte de relations telles que la communication, la coordination, la coopération ou encore la collaboration au travers des différentes interactions entre eux.

5.1 Importance de la collaboration

Bien que chacun ait une notion intuitive de ce que la collaboration signifie, la confusion terminologique règne sur ce concept. La collaboration est souvent confondue avec la coopération. Ces deux mots alimentent des controverses sans fin. Ils se disputent la notion d'interdépendance inhérente à toute forme de travail collectif (Levan, 2016). L'ambiguïté atteint un niveau plus élevé lorsque l'on considère d'autres termes proches comme la mise en réseau (Networking), la communication et la coordination (Himmelman, 2001 et Denise, 1999 dans Yahia, 2011). Bien que chacun de ces concepts soit un prérequis important pour la collaboration, ils ne lui sont pas équivalents (Yahia, 2011).

Il existe une pléthore de définitions. Pour clarifier ces diverses notions, nous reprenons les définitions suivantes tirées des travaux de Camarinha-Matos et Afsarmanesh, (2008a, 2008b) et synthétisées dans la Figure 2.10 :

- Networking : implique la communication et l'échange d'informations pour réaliser un avantage commun.
- Coordination : en plus du networking, elle implique l'alignement et la synchronisation des activités mises en commun pour rendre plus efficaces les résultats attendus.
- Coopération : elle implique non seulement la coordination, mais aussi le partage des ressources pour réaliser des objectifs compatibles. La coopération est réalisée à travers la répartition des tâches à réaliser entre les participants.
- Collaboration : c'est un processus dans lequel les entités partagent des informations, des ressources et des responsabilités pour planifier conjointement, mettre en œuvre et évaluer un programme d'activités leur permettant de réaliser les missions communes. La collaboration implique l'engagement mutuel des participants pour résoudre ensemble un problème. Ceci implique une confiance mutuelle.

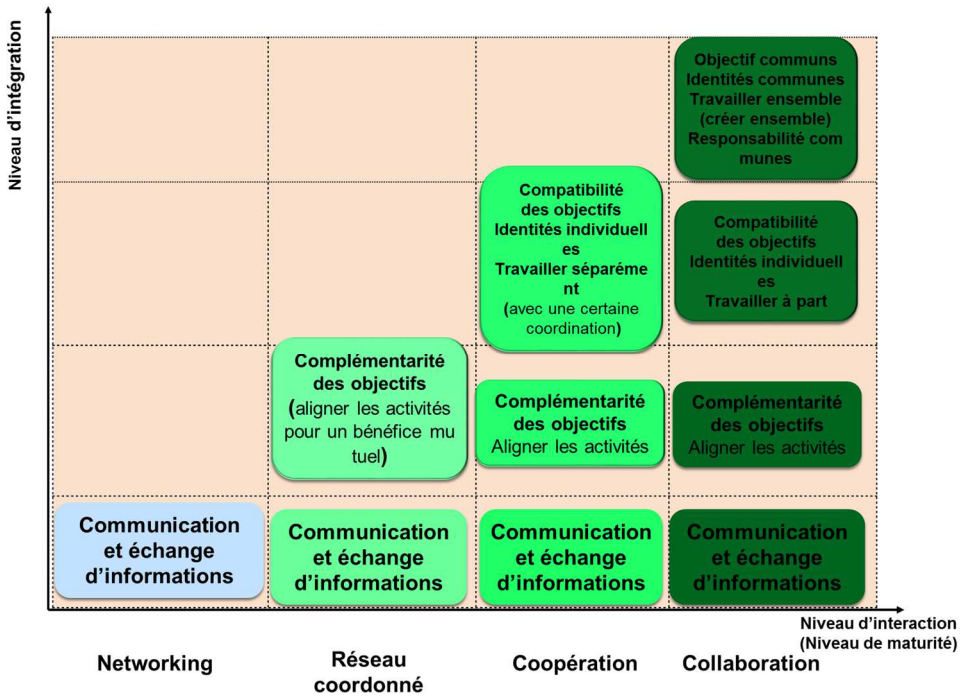
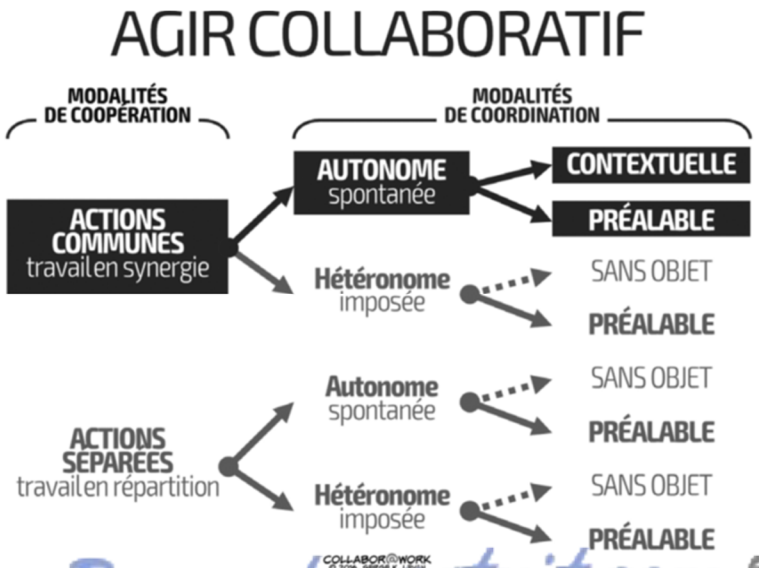


Figure 2.10 Stratégie mises en place par les entreprises en réseau (Camarinha-Matos et Afsarmanesh, 2008a et 2008b)

Au travers de ses définitions, la collaboration requiert donc un engagement de la part des acteurs qui est matérialisé par la définition des rôles et des responsabilités de chacun. Dans nos organisations néo-tayloriennes, la plupart des processus de travail (les agirs organisationnels) sont sous le régime de la coordination préalable à l'action et le plus souvent en mode hétéronome (le mode autonome s'applique de plus en plus souvent avec la coopération par actions séparées induites par la déspatialisation du travail) (figure 2.11).



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 2.11 Synthèse « coopération-coordination et collaboration » (Levan, 2016)

De ce fait, afin d'améliorer les conditions d'une collaboration fructueuse en vue de minimiser la survenance d'événements non souhaités, nous nous intéressons à l'interopérabilité qui est nécessaire et requise pour une efficacité accrue dans les projets de construction.

5.2 Définitions et types d'interopérabilité

L'interopérabilité, dès ses premières définitions, vise à accroître la capacité de systèmes et d'organisations hétérogènes à coordonner leurs activités de manière efficiente (Moalla et al., 2012). Aussi, dans la littérature, il existe de nombreux travaux proposant des définitions de l'interopérabilité, telles que :

- « Capacité de deux ou plusieurs systèmes à communiquer, coopérer et échanger des données et des services, malgré les différences de langues, d'implémentations et d'environnements d'exécution ou de modèles d'abstraction » (Wegner 1996).
- « L'interopérabilité est le moyen par lequel les systèmes, les informations et les méthodes de travail sont interconnectés : à l'intérieur des administrations ou entre ces dernières, au niveau national ou à travers toute l'Europe, ou avec les entreprises » (EU 2003).
- « L'interopérabilité est l'aptitude d'organisations à interagir en vue de la réalisation d'objectifs communs mutuellement avantageux impliquant l'échange d'informations et de connaissances entre ces organisations via les processus métiers qu'elles prennent en charge, grâce à l'échange de données entre leurs systèmes informatiques » (EIF /COM2017).
- « L'habilité pour deux (ou plusieurs) systèmes à échanger des informations et à utiliser les informations qu'ils ont échangées » (IEEE 1990).
- « La capacité d'un ensemble d'entités communicantes à échanger de l'information spécifique et à opérer à partir de cette information, selon une sémantique commune, dans le but d'accomplir une mission spécifiée dans un contexte donné » (Carney, Fisher et Place 2005).

L'interopérabilité a également fait l'objet de travaux de normalisation dans les domaines techniques (ISO17933 : 2000). En ce qui concerne l'interopérabilité d'entreprises, la norme ISO11354-1 (ISO11354-1 : 2009) définit celle-ci comme « la capacité des entreprises et des entités au sein de ces entreprises à communiquer et à interagir efficacement ».

A partir de ses différentes définitions, nous retenons la définition de (Carney, Fisher et Place 2005) qui ont ajouté la notion d'objectif lié à l'interopération (la nécessité de partager, d'échanger et d'exploiter des flux de données, d'informations, d'énergie, de ressources humaines, de ressources matérielles, etc.) ainsi que la notion de contexte qui montre l'importance à un moment donné de l'environnement dans lequel évolue l'ensemble des informations échangées. Celle-ci s'adapte bien au mode de fonctionnement du secteur de la construction. D'autres études réalisées dans le domaine ont montré que

le besoin d'interopérabilité n'est pas seulement visible entre les systèmes d'information, ce besoin est également observé entre les différents acteurs (d'un processus) qui communiquent en utilisant les systèmes d'information ou via les autres moyens de communication (Pirayesh, 2014). Par exemple, selon (Kajtazi et al. 2011), peu importe le moyen de communication, l'interopérabilité est nécessaire pour résoudre le problème du manque d'information qui entraîne des échecs dans les tâches individuelles des acteurs. L'interopérabilité a pour objectif la résolution des difficultés des collaborations et des communications entre deux ou plusieurs systèmes (Pirayesh, 2014).

Il existe plusieurs types d'interopérabilité ; les principaux sont décrits par le cadre européen d'interopérabilité (European Interoperability Framework ou EIF). L'EIF représente un ensemble de recommandations sur les communications informatiques entre les administrations, entreprises et citoyens dans l'Union européenne et entre les États membres. Les types d'interopérabilité présentés ci-dessous ont été décrits par l'EIF (2004, 2010) lors des commissions au parlement européen (COM 2006, 2017) :

- **L'interopérabilité technique** désigne le recours à la définition et l'utilisation d'interfaces technologiques, des normes et protocoles, en vue de créer des systèmes d'information collaboratifs fiables, efficaces et performants capables d'échanger l'information.

- **L'interopérabilité sémantique** garantit que le format et le sens précis des données et informations échangées sont préservés et compris dans les échanges entre les parties, autrement dit que «ce qui est envoyé est ce qui est compris». Elle nécessite que l'interopérabilité technique soit effective. Dans l'EIF, l'interopérabilité sémantique couvre à la fois les aspects sémantiques et syntaxiques :

  - l'aspect sémantique concerne le sens des éléments de données et les relations entre ces éléments. Il suppose également la mise au point de vocabulaires et de schémas spécifiques qui serviront à décrire les échanges de données, et permet que les éléments de données soient compris de la même façon par toutes les parties communicantes ;

  - l'aspect syntaxique consiste à définir le format exact des informations à échanger en termes de grammaire et de format.

- **L'interopérabilité organisationnelle** est la capacité d'identifier les acteurs et les procédures organisationnelles intervenant dans la fourniture d'un service spécifique et de parvenir à un accord entre ces acteurs et à des procédures sur la manière de structurer leur interaction. En d'autres termes, il s'agit de définir les «interfaces d'entreprise» et s'intéresser aux rôles des entités et des acteurs en interaction avec les systèmes d'information. Elle nécessite que l'interopérabilité sémantique soit effective.

5.3 Les barrières de l'interopérabilité

Chen et Daclin (2006) ont défini une barrière comme : « une incompatibilité ou une inadéquation qui entrave le partage et l'échange d'informations ». En effet, afin de réaliser

chaque niveau d'interopérabilité certaines barrières doivent être levées. Le Cadre Européen d'Interopérabilité (EIF) (2011) nomme ces barrières : couches ou niveaux d'interopérabilité. Les barrières sont définies différemment à chaque niveau de préoccupation. Il existe trois niveaux de barrières (Chen et Daclin, 2006 ; EIF, 2011) :

- **Niveau Technologique/Technique** : les barrières technologiques correspondent à l'incompatibilité des technologies de l'information entre elles (comme par exemple : architecture, plate-forme, infrastructure, système d'exploitation, etc.). Le niveau technique nécessite la compatibilité des formats de fichiers et des outils de génération de données pour la présentation, le stockage, l'échange, le traitement et la communication des données. Cela signifie que dans une collaboration, les entités partagées/échangées doivent être accessibles et exécutables en utilisant les outils et les applications informatiques (EIF2 2011).

- **Niveau Conceptuel/Sémantique** : ces niveaux correspondent aux différences syntaxiques et sémantiques entre les entités échangées. Ces différences concernent respectivement le codage d'information, la modélisation et le niveau d'abstraction de cette dernière (Daclin et all, 2008). Selon EIF2 (EIF2 2011), le niveau sémantique nécessite la compatibilité entre les informations communiquées ou partagées entre les acteurs. Cela signifie que dans une collaboration, les informations doivent être : compréhensibles, univoques, et adaptées aux besoins de chaque acteur.

- **Niveau Organisationnel** : les barrières organisationnelles sont liées aux structures organisationnelles et aux techniques de management utilisées dans différentes entreprises. Ces barrières concernent les aspects de responsabilité, (qui est responsable de quoi ?), des autorisations (qui est autorisé à faire quoi ?), juridiques, etc. Cela indique que dans une collaboration, les acteurs doivent avoir l'autorisation de communiquer ou de partager les entités telles que les données et les informations (EIF2 2011).

Dans un projet de construction, on peut être confronté à ses différentes barrières tout le long de son cycle de vie. Une partie de notre problématique de recherche est l'identification des barrières d'interopérabilité pour améliorer le management des risques géotechniques dans un projet.

De ce fait, nous nous intéressons à l'interopérabilité dans les processus collaboratifs entre les différentes parties prenantes d'un projet de construction.

5.4 Processus collaboratif : Concepts et définitions

L'approche processus a permis d'avoir une vision transversale de l'organisation. Elle a été développée au sein même de l'entreprise ; par la suite, cette approche s'est entendue pour décrire et gérer des relations avec des partenaires externes. Dans ce cas-là, on parle plus précisément de processus collaboratifs.

Le processus collaboratif, dont nous adoptons la définition proposée par Touzi (2007), représente une nouvelle vision de l'organisation dans le contexte partenarial. Ainsi, Touzi (2007) dit que c'est : « un ensemble partiellement ordonné d'activités spécifiquement

organisées chez les partenaires de la collaboration et leur exécution est hébergée chez ces derniers ». Mallek, 2011, dans ses travaux de recherche, a défini deux types de processus collaboratif :

- Les processus collaboratifs privés (vision intra-entreprise) représentent des processus internes spécifiquement réalisés au sein de l'organisation.
- Les processus collaboratifs publics (vision inter-entreprises) représentent des processus menés en collaboration avec d'autres en dehors des frontières de l'organisation.

5.5 Typologie des outils de travail collaboratif

Dans un projet de construction, le travail en équipe est indispensable. Cependant, la communication au sein de l'équipe peut parfois s'avérer difficile. C'est pour cela que les outils collaboratifs ou outils de travail collaboratif se sont développés. Ils permettent ainsi aux parties prenantes d'un projet d'être plus efficaces dans leurs tâches tout en mettant en place une communication plus transparente. Ces outils s'opposent au travail en série en permettant à plusieurs personnes de travailler sur la même tâche en ajoutant chacun de la valeur à celle-ci avec une optimisation de temps. Les outils de travail collaboratif donnent des informations exploitables qui sont mises à jour régulièrement pour que toute l'équipe chargée du projet puisse suivre son avancée dans sa globalité.

5.5.1 Les dimensions fonctionnelles et spatio-temporelles

Les outils de travail collaboratif dans leur ensemble couvrent un ou plusieurs « espaces fonctionnels » (Ellis et Wainer, 1994). Salber et al. (1995), Piquet (2009) ont défini le « trèfle fonctionnel », regroupant trois espaces fonctionnels :

- l'espace de production, supportant l'action des acteurs sur l'information,
- l'espace de coordination, supportant la planification des activités,
- l'espace de communication, supportant l'échange d'information.

Depuis, plusieurs variantes du trèfle fonctionnel ont été proposées. Le model 3C de Gerosa et Pimentel en 2006 (in Zignale, 2013), pour Communication, Coordination et Coopération, où le terme Coopération est utilisé pour parler de la « production conjointe des membres d'un groupe au sein d'un espace partagé ». David (2001) propose une évolution du trèfle fonctionnel, en introduisant un nouvel espace de « conversation ». Cet espace comprend les outils permettant la communication entre les acteurs, mais ne produisant pas d'information persistante, au contraire de l'espace de communication (Zignale, 2013) (Figure 2.12).

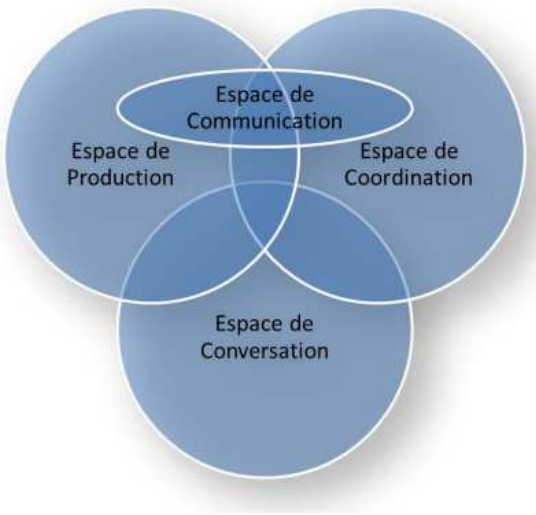


Figure 2.12 Le modèle évolué du trèfle fonctionnel (David, 2001)

Dans une situation de travail collaboratif et lors de l'usage d'outils collaboratifs, les interventions des différents utilisateurs peuvent être conceptuellement réparties dans deux contextes différents : le contexte temporel et le contexte de localisation (Piquet 2009) (cf. figure 2.13) :

- On parle d'usages synchrones lorsque plusieurs utilisateurs agissent en même temps, et d'usages asynchrones lorsqu'ils interviennent à des moments différents,
- On distingue également les usages « dans un même lieu » des usages « à distance ».

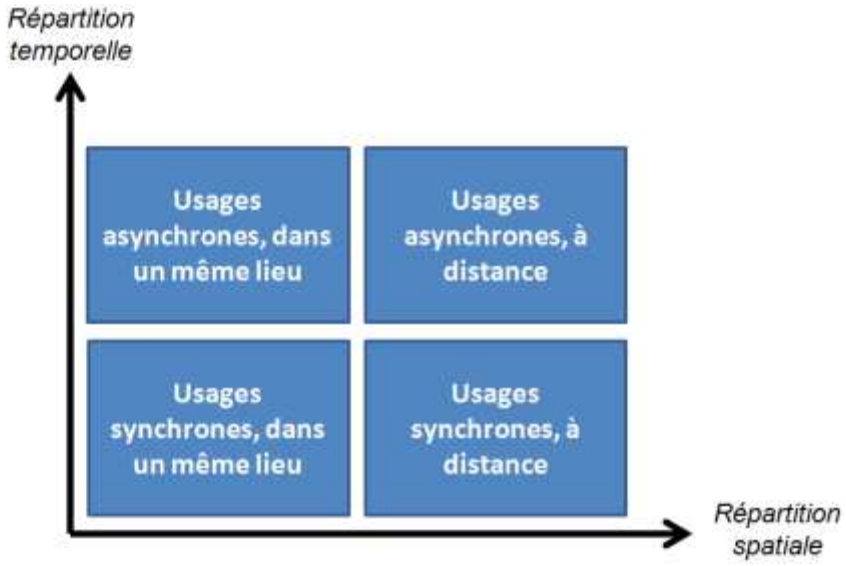


Figure 2.13 Répartition des types d'usages dans le modèle spatio-temporel (Zignale, 2013)

5.5.2 Les types de services collaboratifs

Les outils collaboratifs aussi appelé « collecticiels » offrent un certain nombre de services collaboratifs utilisés à différents moment de la collaboration. Ils sont repartis dans les

trois espaces fonctionnels et les quatre espaces spatio-temporels (Laurillau 2002, Dewan 2001, Gerosa & Pimentel 2006 (in Zignale, 2013),), tels que :

- Les services de gestion du calendrier (échéancier),
- les services de partage et contrôle de l'information qui permettent de gérer l'accès des utilisateurs à l'information partagée (cela implique la consultation mais aussi la modification par un groupe comme la comparaison et la fusion des éditions, l'annulation…),
- les services de gestion d'interface qui permettent de propager les éléments graphiques entre les utilisateurs, de manière synchrone (tout le monde voit la même chose) ou de manière répartie (chacun a sa propre visualisation),
- les services de notification qui informent les différents utilisateurs des changements d'état du système,
- les services de courrier électronique, de tchat, de forum, etc.

La figure 2.14 ci-dessous (Laaroussi 2007, Guerriero 2009, Zignale, 2013), illustre une répartition de ces services dans une opération de construction en fonction des dimensions fonctionnelles présentées précédemment (figure2.12).

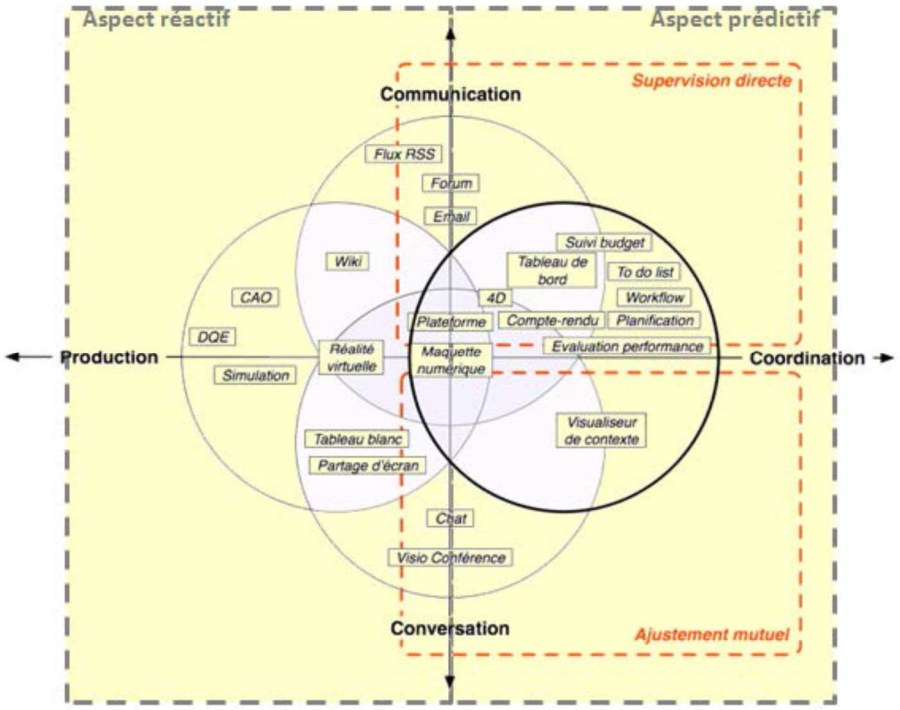


Figure 2.14 Positionnement des services par rapport aux caractéristiques d'une activité collective (Laaroussi 2007, Guerriero 2009, Zignale, 2013)

5.5.3 Les principaux outils du travail collaboratif

Il existe aujourd'hui une abondance d'outils en ce domaine et il en paraît de nouveaux tous les jours. Ils sont en perpétuelle évolution. A partir des services qu'offrent les outils

collaboratifs présentés dans le paragraphe (5.5.2), on distingue quatre grandes catégories (Piquet, 2009) :

- **Les outils de communication :** ils sont considérés comme des outils "de première nécessité" car sans eux il est impossible de collaborer. Leur rôle est avant tout de faire circuler l'information entre collaborateurs. Ils permettent de fluidifier les échanges et le partage d'informations entre les membres d'une équipe.

- **Les outils de partage d'applications et de ressources :** ils permettent à plusieurs membres d'une équipe de travailler ensemble sur un même document, sur une même application dans le cadre d'un projet commun. Ce sont ici les outils de collaboration par excellence offrant la possibilité à des utilisateurs de travailler à distance en ligne.

- **Outils d'information et de gestion des connaissances :** ces outils de partage de contenus et d'accès au savoir sont également connus sous l'appellation de Knowledge Management. Ils ont pour finalité de rendre plus aisé l'accès aux informations. Dans le cadre d'un projet, ils offrent la possibilité à un groupe de gérer le cycle de publication du contenu, à savoir les documents produits et partagés par le groupe. Cela facilite la création, la validation, l'organisation et la distribution de ce contenu. On peut diviser cette catégorie en trois sous-divisions :
  - Les outils actifs de diffusion de l'information (diffuser une information pertinente) ;
  - Les outils passifs de recherche de l'information (accéder aux documents quels que soient leur nature et leur lieu de stockage) ;
  - Les outils passifs de recherche des compétences (accéder à une information précise et détaillée détenue par un expert).

- **Outils de coordination :** ce sont des outils de suivi et de gestion de projet qui permettent de synchroniser, de contrôler et d'accélérer les interactions entre les contributeurs, les relecteurs et les personnes chargées de la validation d'un projet. Ils peuvent ainsi assister un groupe projet à tenir les objectifs fixés tout en répondant aux contraintes de délais, de coûts et de qualité.

La figure 2.15 représente, de manière non exhaustive, les principaux outils de travail collaboratif suivant leur catégorisation.

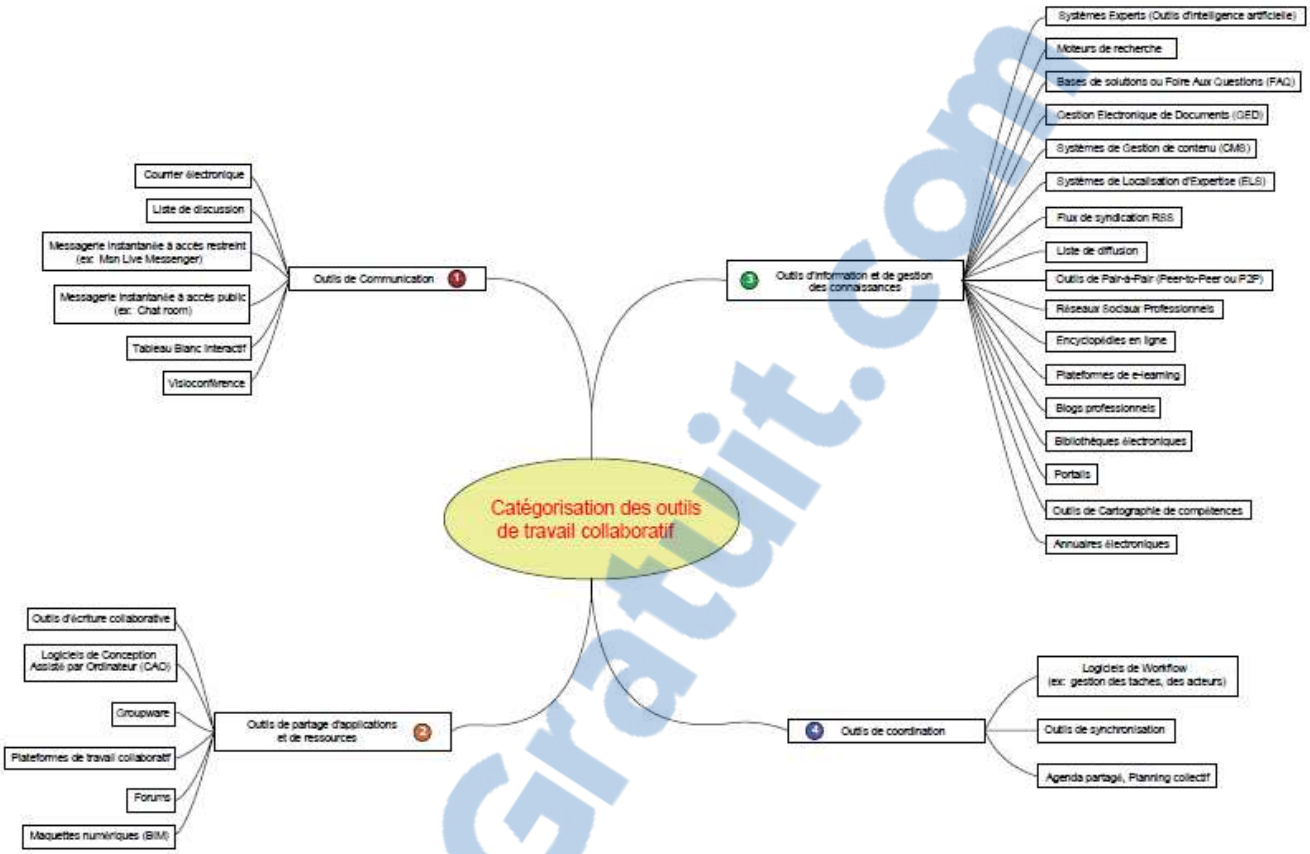


Figure 2.15 Représentation graphique des principaux outils de travail collaboratif (Piquet, 2009)

Pour la suite de notre travail de recherche, dans le but de minimiser l'impact de l'absence d'interopérabilité sur la conduite des missions géotechniques, en vue de diminuer les risques induits, notre choix s'est porté sur l'utilisation des outils collaboratifs en ligne. En effet, ces technologies de l'information et de la communication vont accompagner le travail de groupe pour répondre aux trois problèmes induits par la division de travail, à savoir la communication, la coopération et la coordination. Elles permettent aussi d'être moins dépendant des contraintes de lieu et de temps spécifiques au métier de la construction et même d'accroitre la productivité et d'améliorer la gestion des risques. L'utilisation des outils collaboratifs en ligne est donc la réponse technique efficace à une évolution managériale profonde dont les risques sont une des grandes préoccupations actuelles.

Ces outils sont définis de la manière suivante : « Un outil dont le principal objectif est de permettre à une équipe d'optimiser ou simplement d'améliorer un ou plusieurs aspects collaboratifs de son activité, que celle-ci soit totalement internalisée ou qu'elle implique des acteurs extérieurs, grâce à des fonctionnalités pensées pour la collaboration et ce, dans le but de travailler ensemble vers un but commun tout en exploitant les avantages offerts par Internet. » (Retis, 2017). Quelques exemples d'outils pour collaborer en ligne : Trello, Google Docs, Asana, Slack, OneDrive, Google Drive, Meeting 3D, Workspace 3D (figure 2.16).

Rapport-Gratuit.com

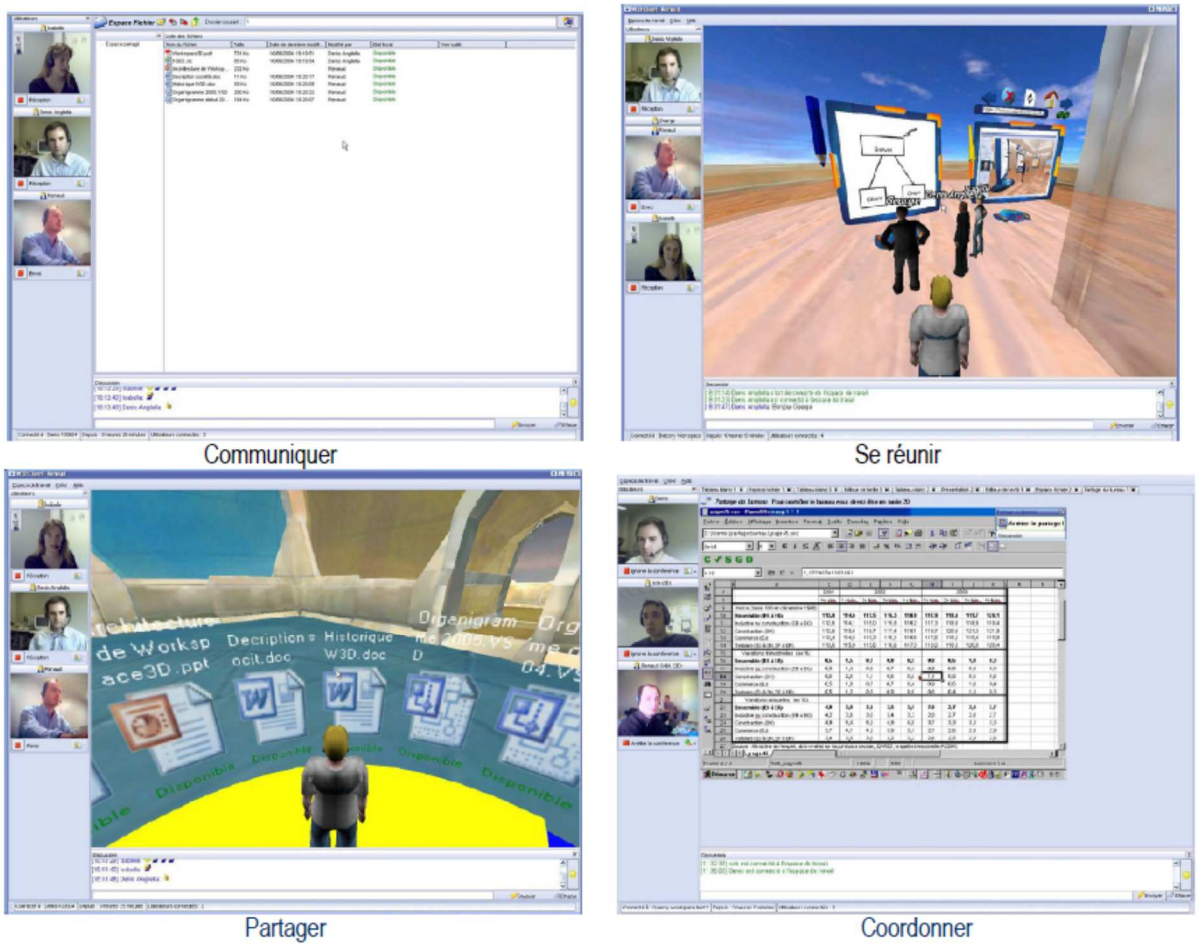


Figure 2.16 Exemples de fonctions proposées par les logiciels « Meeting 3D » et « Workspace 3D »

Nous utiliserons l'outil Google Drive pour assurer le travail collaboratif dans le management des risques d'un projet routier. De par sa disponibilité, sa facilité d'utilisation et sa gratuité, Google Drive s'avére naturellement être l'outil à utiliser dans l'environnement algérien de la construction (figure 2.17).

Il permet :

- De créer des documents, feuilles de calcul et présentations (par l'intermédiaire des applications intégrées), et de travailler à plusieurs sur le même document et les modifications apparaissent en temps réel.
- De paramétrer l'accès aux documents par utilisateur : en déterminant qui peut visualiser, modifier ou commenter les documents partagés.
- De garder la trace des versions successives des documents modifiés. Il est possible de revenir sur les modifications effectuées pendant les 30 derniers jours.
- De stocker en cloud des documents et de les modifier à plusieurs.

- D'importer de nombreux types de documents (Image, Autodesk Auto CAD, vidéo, etc.).

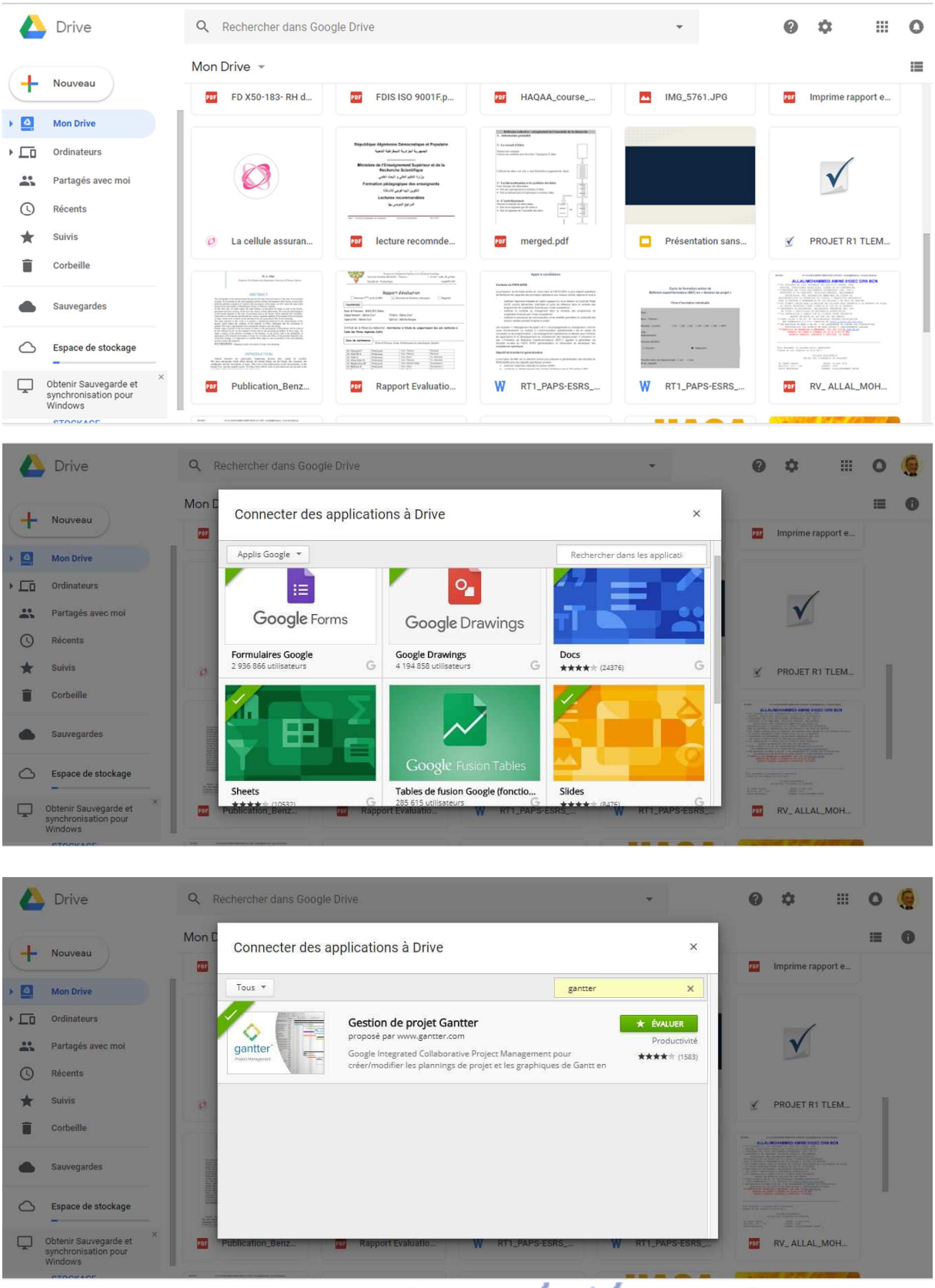


Figure 2.17 Exemples de fonctions proposées par Google Drive

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

6. DE LA MISE EN ŒUVRE D'UNE COLLABORATION A L'INTEROPERABILITE

Un processus collaboratif met en œuvre, éventuellement de manière temporaire au regard de la durée nécessaire de la collaboration, des mécanismes de coordination, d'interaction et d'échange entre les différentes unités organisationnelles impliquées (Touzi, 2007).

En conséquence, la réalisation effective de ce processus repose sur les points suivants (Mallek, 2010) :

- la synchronisation et la coordination des unités organisationnelles,
- la définition des rôles au regard des objectifs internes et communs, ainsi que celle des capacités et des ressources des unités organisationnelles,
- les capacités de ces unités organisationnelles à interagir avec les autres, c'est-à-dire leur capacité à être interopérables.

L'essence de l'interopération réside dans les relations d'interopérabilité entre les systèmes évoluant dans le contexte coopératif (Carney, Fisher et Place 2005) et nécessite certaines exigences pour garantir cette interopération. Ces besoins sont résumés par (EIF 2004) et (EIF 2010) comme suit :

- La coopération des systèmes d'informations dans le but d'assurer l'objectif attendu ;
- L'échange d'informations entre les systèmes d'informations ;
- Le partage et la réutilisation d'informations entre les systèmes d'informations.

Pour garantir une certaine interopérabilité à chaque partenaire lorsqu'il souhaite s'impliquer dans des processus collaboratifs. Mallek, Daclin, Chalpurat, 2010a, ont repris les besoins d'interopérabilité entre les différents systèmes collaboratifs pour établir un référentiel d'exigences d'interopérabilité définis par les trois exigences suivantes :

a. L'exigence d'interopération est définie par : « un énoncé qui prescrit une fonction, une aptitude ou une caractéristique, dépendant du temps et lié à la performance de l'interaction, que les entreprises doivent satisfaire lors de la collaboration ».

b. L'exigence de compatibilité est définie par : « un énoncé qui prescrit une fonction, une aptitude ou une caractéristique, indépendant du temps et lié aux barrières d'interopérabilité pour chaque niveau d'interopérabilité, que les entreprises doivent satisfaire avant toute collaboration ».

La compatibilité est souvent vue comme la capacité de deux composants ou plus d'exécuter leurs fonctions en partageant un environnement commun (Yahia, 2011).

Selon Panetto (2007), les systèmes interopérants sont, par définition, nécessairement compatibles, l'inverse n'est pas forcément vrai. Ainsi, pour réaliser un échange robuste d'informations, il faut aller au-delà de la compatibilité.

c. L'exigence de réversibilité est définie par : « un énoncé qui prescrit une fonction, une aptitude ou une caractéristique, dépendant du temps et lié à la capacité qu'a l'entreprise à reprendre son autonomie et à retourner à son état d'origine (en terme de ses propres performances), que l'entreprise doit satisfaire à la fin de la collaboration ».

7. CONCLUSION

Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, plusieurs acteurs participent à un projet de construction, chacun avec une ou des missions, un rôle, des intêrets différents, inscrits dans des environnements distincts. Nous avons également vu qu'un projet de construction est le lieu d'un échange d'informations diverses. On retrouve une abondance de documentation avec une difficulté à la gérer du fait de la variété dans la nature des documents, de la multiplicité et de la diversité des relations et des types de contrats, ainsi de l'existence de plusieurs formats d'échange.

Ce constat nous a amené à mettre l'accent sur la nécessité d'améliorer et de développer le mode de communication et de collaboration entre les acteurs du projet pour minimiser la survenance d'événements non-souhaités. De ce fait, nous avons mis en évidence le besoin de mettre en œuvre l'interopérabilité et plus particulièrement les processus collaboratifs entre les parties prenantes, parce que c'est une condition nécessaire à une gestion des risques globale et plus efficace . L'interopérabilité est une caractéristique et, au final, une aptitude essentielle à maîtriser pour l'amélioration et la facilitation des interactions entre les acteurs du projet (Mallek, 2011). Nous avons ensuite démontré que cette maîtrise passe par l'identification des barrières d'interopérabilité et des exigences d'interopération, de compatibilité et de réversibilité. Après une description non exhaustive des différents outils de travail collaboratif, nous recommandons l'utilisation de l'outil collaboratif en ligne « Google Drive » (pour sa disponibilité, sa gratuité, et sa facilité d'utilisation) pour une meilleure efficacité du processus collaboratif dans le management des risques dans un projet de construction.

Aussi, nous avons vu que les entreprises deviennent de plus en plus complexes, dans un environnement évolutif, où les parties prenantes (stakeholders) sont incontournables. Afin de faire une analyse des risques géotechniques dans un projet routier, tout en sachant que le l'absence d'interopérabilité est une des sources de danger, nous présenterons dans le chapitre suivant l'intérêt d'appréhender cette problématique avec une approche systèmique. ■

« Les impossibilités probables sont préférables aux possibilités improbables. »
Aristote (384-322 avant J.C.)

3

LA SYSTEMIQUE : UNE APPROCHE NECESSAIRE POUR LA GESTION DES RISQUES

1. INTRODUCTION

Le projet de construction est un regroupement de ressources humaines en vue de réaliser des objectifs définis au préalable pour assurer sa fonctionnalité et sa pérennité. En fait, ceci n'est possible que si les interactions entre individus sont créatrices de synergies et sans conflits destructeurs. Pour cela, une bonne connaissance des fonctionnements anthropologiques et sociaux s'avère nécessaire, pour étudier les comportements humains individuels et collectifs.

Actuellement, les projets deviennent de plus en plus complexes, au sens littéral du terme, parce qu'il est de plus en plus difficile pour les parties prenantes, de comprendre, d'analyser un système dynamique, évolutif, dans lequel les interactions, les rapports entre les éléments se densifient et se multiplient.

Face à ces évolutions, les managers connaissent bien les limites d'une logique cartésienne qui partage, décompose, dissocie, ou les limites d'une logique analytique qui prend en compte l'individu, l'élément ou le problème considéré, et tente à partir de l'un ou de l'autre d'appréhender l'ensemble. A l'inverse, la logique systémique rassemble, associe, considère les éléments dans leur ensemble les uns vis-à-vis des autres et dans leur rapport à l'ensemble. L'approche systémique appliquée à l'entreprise devient alors essentielle pour une vision globale du système, ainsi qu'une compréhension des interactions inhérentes à ce système et percevoir la dynamique propre à une organisation.

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps définir le concept du système, on évoquera par la suite l'évolution de la systémique et les préceptes de l'approche systémique en mettant en exergue un élément essentiel qui suscite le besoin d'une telle démarche, à savoir la complexité. Par la suite, on se focalisera sur l'approche systémique appliquée aux projets de construction et comment elle peut faciliter la détermination d'objectifs partagés et l'intégration de l'interopérabilité en vue d'une meilleure efficacité dans la gestion des risques pour la réussite des projets. Pour cela, notre choix s'est porté sur l'utilisation de la méthode MADS-MOSAR qui est basée, fort justement, sur une vision systémique.

2. COMPLEXITE ET GESTATION DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE

La grande aventure intellectuelle de la fin du 20ème siècle aura été la découverte de l'extraordinaire complexité du monde qui nous entoure. Complexité du cosmos, des organismes vivants, des sociétés humaines, mais aussi de tous ces systèmes artificiels conçus par les hommes et qui sont, comme l'entreprise, aussi bien de facture technique, organisationnelle, économique et sociale. Le phénomène de mondialisation des échanges, qu'ils soient commerciaux, financiers ou culturels, ne fait qu'accélérer cette prise de conscience de la complexité et en accentuer les effets.

Certes, la complexité a toujours existé même si sa perception est récente. Ceci dit, l'accélération de la diffusion mondiale des savoir via internet, les changements dans les modes de communication, la concurrence de plus en plus rude, la complexification des projets, la nécessité de mettre en place des processus d'amélioration continue, et un environnement en perpétuel changement suscitent un certain nombre de questionnements. Les managers, toujours en recherche d'avantages compétitifs et d'une amélioration de la productivité avec une priorité accordée au client de plus en plus accrue, se rendent compte que les méthodes usuelles ne permettent pas de prendre suffisamment en compte cet accroissement de complexité. Comment réagir pour, en même temps, anticiper les changements, améliorer l'efficacité et l'efficience de l'organisation, et lutter contre les résistances au changement ? Il faut tout simplement changer ses modes de pensée et trouver une autre démarche.

Cette autre approche, fondée sur de nouvelles représentations de la réalité prenant en compte l'instabilité, l'ouverture, la fluctuation, le chaos, le désordre, le flou, la créativité,

la contradiction, l'ambiguïté, le paradoxe, en fait la complexité, est alors requise. Cette démarche porte un nom, c'est l'approche systémique.

Née aux Etats Unis au début des années 50, connue et pratiquée en France depuis les années 70, l'approche systémique ouvre une voie originale et prometteuse à la recherche et à l'action. La démarche a déjà donné lieu à de nombreuses applications, aussi bien en biologie, en écologie, en économie, que pour le management des entreprises, l'urbanisme, l'aménagement du territoire, etc. Elle repose sur l'appréhension concrète d'un certain nombre de concepts tels que : système, interaction, rétroaction, régulation, organisation, finalité, vision globale, évolution, etc. Elle prend forme dans le processus de modélisation, lequel utilise largement le langage graphique et va de l'élaboration de modèles qualitatifs, en forme de "cartes", à la construction de modèles dynamiques et quantifiés, opérables sur ordinateur et débouchant sur la simulation (Bouabdallah, 1996).

Cette manière de penser et de réaliser nous permettra, par la suite, d'avoir une vision globale du projet de construction, d'analyser ses interfaces et processus, et donc de couvrir l'ensemble des parties prenantes et du nombre de fonctions à réaliser pour une meilleure collaboration et un management des risques efficace.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3. DU SYSTEME A LA SYSTEMIQUE

Pour appréhender la complexité, la systémique fait appel à un certain nombre de concepts spécifiques. Donnadieu et al. (2003) les ont regroupés de la manière suivante :

- quatre concepts de base à caractère général, articulés entre eux et pouvant donner lieu en préalable à une présentation simple (cf. figure 3.1) ;
- une dizaine de concepts complémentaires plus techniques et orientés vers l'action (l'information, la rétroaction, la finalité, etc.).

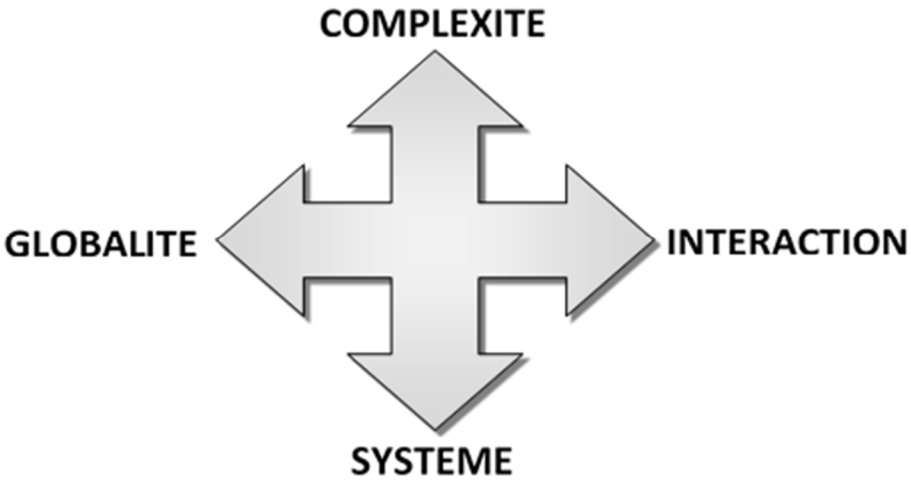


Figure 3.1 Concepts de base de la systémique

3.1 La complexité

Comme cela été relevé précédemment, la prise de conscience de la complexité est la cause de la lente émergence de la systémique. Sans complexité, la logique cartésienne et analytique pouvait sembler suffisante pour appréhender le monde et la science. Selon Penalva (1997), est considérée comme complexe toute situation qui présente pour un observateur des difficultés de compréhension d'anticipation ou de maîtrise. Ce concept renvoie à toutes les difficultés de compréhension (flou, incertain, imprévisible, ambiguë, aléatoire) posées par l'appréhension d'une réalité complexe et qui se traduisent en fait pour l'observateur par un manque d'information (accessible ou non) (Donnadieu et al, 2003). En effet, la complexité est attribuée par l'observateur au système (Sghaier, 2014).

3.2 Le système

Ce concept constitue le socle sur lequel repose la systémique. Etymologiquement, le mot provient du grec sustêma qui signifie "ensemble cohérent". Il existe plusieurs définitions dont nous retiendrons (Saïd, 2006) :

- la définition « large » donnée par Jacques Lesourne (1974) : Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique.
- la définition « étroite » donnée par Joël de Rosnay (1975) : Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but. Cette définition met l'accent sur la finalité ou le but poursuivi par le système.

Jean-Louis Le Moigne (2006) propose une définition d'un système, quelle que soit sa nature, autour des 5 axiomes de base (activité, structure, évolution, finalité et environnement ; Figure 3.2) que l'on trouve implicitement ou explicitement, dans les différentes acceptions du mot système. Cette construction est baptisée « système général ». L'activité (le fonctionnement) décrit ce que le système fait, transforme. L'évolution étudie ses changements, ses progressions, ses régressions (ce que le système sera). La structure est sa forme stable, ses sous-systèmes, éléments et les liaisons / interactions qui les relient. Tout système est le produit d'un environnement actif, qui fonctionne pour atteindre un objectif. Ceci revient à identifier :

- quelque chose (n'importe quoi présumé identifiable) ;
- dans quelque chose (environnement) ;
- pour quelque chose (finalité ou projet) ;
- qui fait quelque chose (activité = fonctionnement) ;
- par quelque chose (structure = forme stable) ;
- qui se transforme dans le temps (évolution).

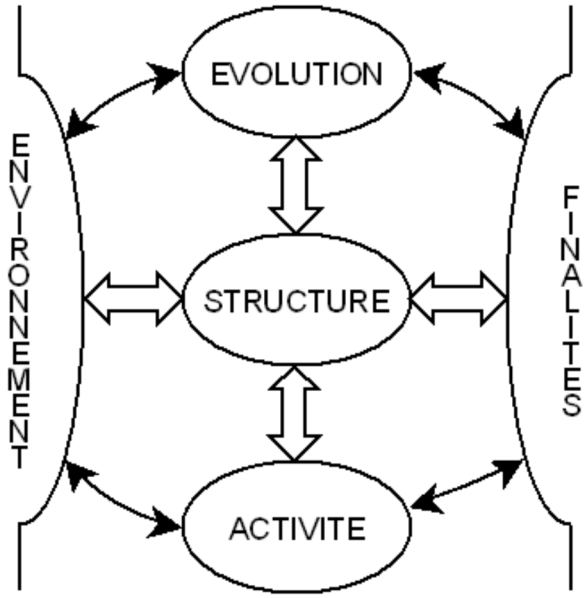


Figure 3.2 Le système général (Le Moigne, 2006)

À partir de ses définitions on peut dire qu'un système peut être défini comme un tout organisé de composants en interaction (figure 3.3). Il est constitué du :

- Monde des objets (composants)
- Monde des relations (interactions)
- Monde de la totalité.

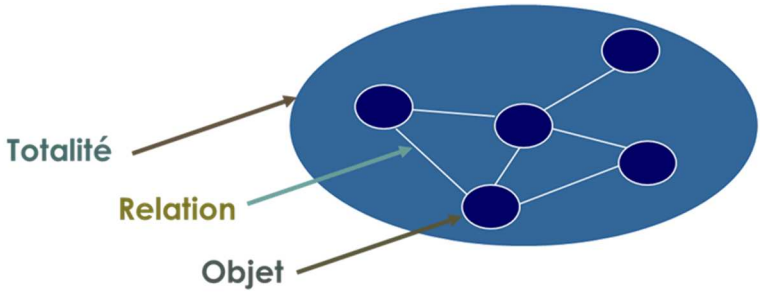


Figure 3.3 Les composants d'un système

3.3 La globalité

Si un système est d'abord un ensemble d'éléments, il ne s'y réduit pas tel que ça été démontrer par Von Bertalanffy (1973). Selon l'adage, « le tout est plus que la somme de ses parties ». Von Bertalanffy montre, « qu'on ne peut obtenir le comportement de l'ensemble comme somme de ceux des parties et qu'on doit tenir compte des relations entre les divers systèmes secondaires et les systèmes qui les « coiffent » pour comprendre le comportement des parties ». Cette vision traduit le phénomène d'émergence : au niveau global, apparaissent des propriétés non déductibles des propriétés élémentaires. La démarche à suivre pour résoudre un problème est d'aborder tous ses aspects d'une manière globale puis aller dans les détails et prendre en compte toutes les interactions en

faisant de nombreuses itérations et en revenant en arrière pour compléter ou corriger la vision antérieure.

3.4 L'interaction

C'est un concept fondamental et un des plus riches de la systémique. Il complète celui de globalité car il s'intéresse à la complexité au niveau élémentaire de chaque relation entre les constituants du système pris deux à deux (Donnadieu et al, 2003). Dans les systèmes complexes, la relation entre constituants se traduit par un rapport d'influence ou d'échange portant sur des flux de matière, d'énergie et d'information.

Une forme particulière d'interaction est la rétroaction (ou feed-back). Les études ont prouvé que la notion d'interaction déborde largement la simple relation de cause à effet qui domine la science classique. Et connaître la nature et la forme de l'interaction est plus important pour le systémicien que de connaître la nature de chaque composant du système.

Si les quatre concepts mentionnés ci-dessus sont essentiels, il est nécessaire d'en connaître d'autres (Donnadieu et Karsky, 2002) :

- Les systèmes sont ouverts : notion de mouvance, d'ouverture, de durée et d'irréversibilité, de souplesse et d'adaptabilité, de rétroaction, la causalité s'ouvre sur la finalité. Un système a une limite qui le sépare de l'environnement.
- Il existe entre les éléments tout un réseau de communication.
- Dans ce réseau, certaines des parties jouent un rôle de réservoir, d'autres jouent un rôle de transformation, d'autres jouent le rôle de vannes et servent à contrôler les échanges ; ils sont les organes de base de la régulation et agissent selon le mécanisme de la rétroaction.
- Tous ces éléments sont agencés pour atteindre un ou plusieurs objectifs communs.
- Les systèmes ont besoin de variété pour s'adapter aux évolutions de l'environnement et aux nouveaux milieux.
- Les systèmes sont auto-organisateurs pour se maintenir en vie en tenant compte des modifications internes et externes. Cette capacité naît de la rencontre entre la finalité et la variété.

4. LA SYSTEMIQUE : UNE METHODE

La systémique est non seulement un savoir, mais aussi une pratique, une manière d'entrer dans la complexité. Son objectif principal est d'apporter une aide conceptuelle et méthodologique à l'action. Turchany (2008) définit la systémique comme un paradigme qui :

- Regroupe des démarches : théoriques, pratiques, méthodologiques,

Rapport-Gratuit.com

- pose des problèmes concernant les modes : de l'observation, de représentation, de modélisation, de simulation,
- se donne pour objectifs de préciser la notion de système : ses frontières, ses relations internes et externes, ses structures, ses lois ou propriétés émergentes.

D'une manière générale, l'approche systémique vise à formaliser une méthode pour organiser la production de connaissances sur les objets et, à partir de ces productions, orienter l'action sur ces objets.

Synthétisant les contributions des penseurs qui se sont intéressés à la question, Donnadieu et Karsky (2002) définissent trois étapes de la démarche systémique comme suit (figure 3.4) :

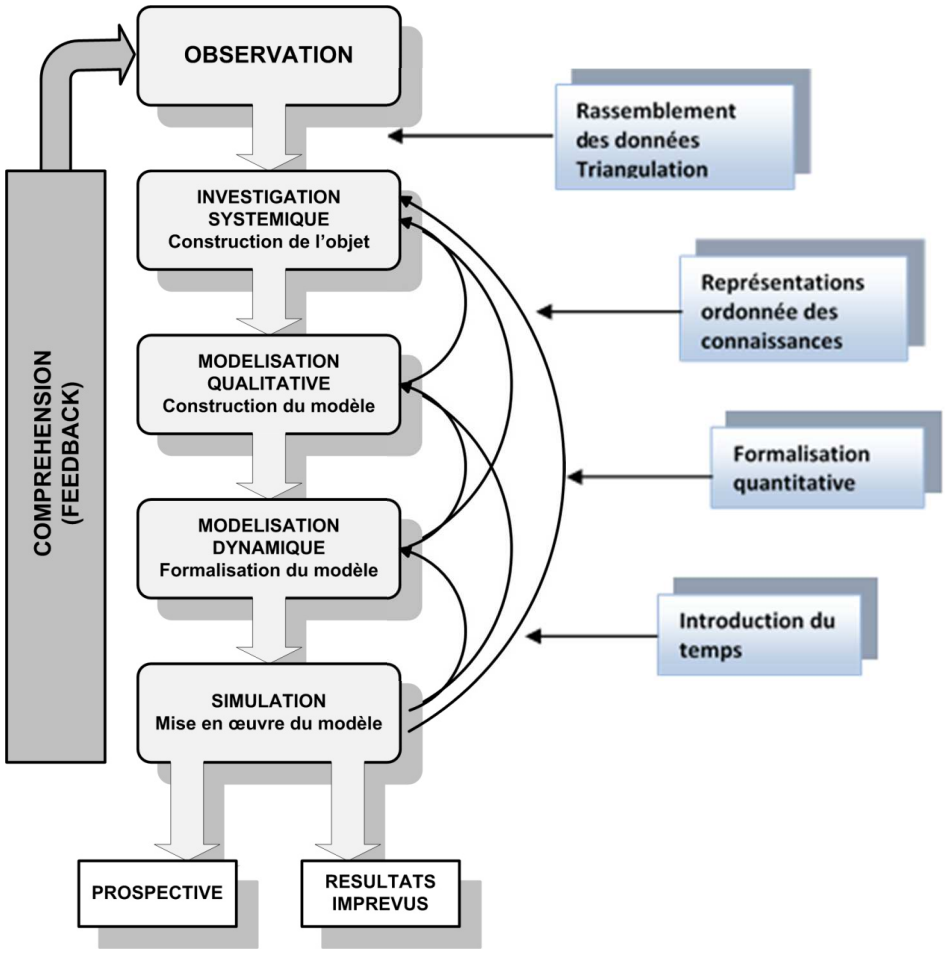


Figure 3.4 Les étapes de la démarche systémique (Donnadieu, Karsky, 2002)

4.1 L'investigation systémique

C'est une première étape pendant laquelle on s'attache à définir les limites du système à étudier, situer le système dans son environnement, comprendre la nature et la raison des échanges que le système entretient avec son environnement, avoir une idée de son architecture interne, des principaux composants et la nature des relations entre ces

composants, connaître suffisamment l'histoire du système pour mieux appréhender son évolution. La systémique utilise pour cette phase par exemple, la méthode de triangulation systémique, qui consiste à s'interroger à partir de trois pôles permettant d'approfondir la représentation du système. Ces pôles sont :

- l'aspect fonctionnel (à quoi sert le système dans son environnement ?) ;
- l'aspect structural (ses composants et leur agencement) ;
- l'aspect historique (nature évolutive du système).

Schindler (2009) dans ses travaux a défini 4 axes qui caractérisent le système :

- un axe ontologique, qui représente sa structure, ce qu'il est : moyens ;
- un axe fonctionnel, qui représente son activité, ce qu'il fait : processus ;
- un axe génétique, qui représente son évolution, ce qu'il devient : cycle de vie ;
- un axe téléologique, qui représente sa finalité dans son environnement, ce qu'il a pour objectifs : valeurs créées.

Cette exploration doit permettre d'identifier les différents flux qui traversent le système, aussi bien les flux humains que les flux d'information. Toutes les informations rassemblées doivent ensuite être traduites par des graphiques de réseaux, des cartes, des diagrammes.

4.2 La modélisation qualitative

Il s'agit, à partir des informations récoltées, de mettre au point une carte fidèle et utilisable du système, en visualisant les différentes interactions entre les principaux composants du système et l'environnement, les différents flux et les actions de pilotage pour la régulation du système. Différents schémas normalisés ont été mis au point, pour représenter différents circuits : organigrammes, logigrammes, etc.

4.3 La modélisation dynamique

Il s'agit, en introduisant la variable temps, d'observer les évolutions possibles du système par simulation ; ceci se fait de plus en plus par ordinateur, sur des modèles numériques. Le but de cette démarche est de permettre une meilleure compréhension de la situation observée. Donnadieu et Karsky (2002) notent qu'en sciences humaines, les démarches ne vont pas toujours jusqu'au bout de ces trois étapes, que même limitée à l'exploration, la méthode systémique reste un bon outil de compréhension.

Cependant les objectifs de notre travail de recherche ne vont pas jusqu'à la modélisation dynamique et la simulation qui sont des étapes opérables sur support informatique.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

5. L'APPROCHE SYSTEMIQUE APPLIQUEE AUX PROJETS DE CONSTRUCTION

Comme il a été montré dans le chapitre 2, le projet de construction peut être considéré comme un système complexe, ne serait-ce que parce que l'homme est omniprésent dans tout le cycle de vie du projet du commanditaire « maître d'ouvrage » au client.

Mais aussi de par :

- Son environnement constitué d'une multiplicité et une diversité de parties prenantes avec lesquelles il interagi ;
- son organisation (différentes relations contractuelles entre les parties prenantes) ;
- une évolution technologique constante ;
- la diversité des catégories professionnelles (architecte, ingénieur, métreur, etc.) ;
- la variation et l'interrelation entre les technologies utilisées par les différentes parties impliquées dans la réalisation d'une activité ;
- le chevauchement entre différents éléments de l'ouvrage à construire.

Pour faire face à la complexité et couvrir l'ensemble des parties prenantes pour assurer un travail collaboratif et une gestion des risques efficace, il est primordial de conserver une vision globale du projet de construction et de ses interfaces. Nous avons donc recherché des modes de pensée adaptés aux aspects multicritères, multi-parties et incertains. Les approches cartésiennes classiques sont considérées comme réductrices et simplificatrices de cette complexité (Schindler, 2009). Par opposition, les approches constructivistes systémiques semblent plus adaptées pour aborder ce type de sujets. Nous avons donc choisi d'adopter une vision systémique.

En effet, l'approche systémique fournit les éléments d'une vision distanciée, organisée et globale du projet de construction.

Nous allons montrer dans la suite de ce paragraphe pourquoi le projet de construction entendue comme système peut être qualifié de complexe.

5.1 Le projet de construction, un système

Suivant le PMI-PMBOK (2017), un projet est défini comme une : « initiative temporaire entreprise dans le but de créer un produit, un service ou un résultat unique ».

Nous avons vu dans le chapitre 2 qu'un projet de construction résulte d'une activité collective menée par de nombreux intervenants intégrés dans une configuration organisationnelle définie contractuellement pour la durée du projet.

Selon Austin et al (2001, in Boton, 2013), les projets de construction se distinguent, selon trois points principaux :

- Ils sont toujours des travaux uniques et ponctuels avec des objectifs distincts ;

- Les ressources sont utilisées sur chaque projet de construction dans une configuration unique. Chaque projet est donc non seulement distinct des autres opérations en cours, mais aussi différent d'autres projets ;

- L'environnement dans lequel se déroule un projet de construction est continuellement en changement. Par exemple, certaines contingences du projet (les juridictions légales, les conditions du marché, les mécanismes de gestion, etc.) peuvent changer assez souvent.

Ainsi, le projet de construction peut être considéré comme un système car il répond à la définition de De Rosnay donnée dans le paragraphe 3.2.

Cette définition fait intervenir les notions d'éléments, d'organisation, d'interaction, de dynamique, de but, comme suit :

- **Les éléments,** également appelés parties, unités, objets ou entités selon les auteurs, peuvent être eux-mêmes des ensembles d'autres éléments, notamment des hommes et des machines (Dassens et al., 2008). Un projet de construction est composé d'un ensemble d'éléments appelés les facteurs de production du projet : le travail planifié, le budget, les ressources allouées (humaines, matériels, matériaux, etc.), les informations (analyse des environnements, identification des risques et contraintes, etc.), les spécifications, les exigences.

- **Les interactions** qu'entretiennent ces éléments entre eux peuvent être de natures diverses. L'échange d'informations, de documents, la collaboration entre les différents acteurs apportent des modifications ou des transformations au système.

- Ces éléments sont **organisés**, suivant le processus de management de projet qui consiste à déterminer les tâches devant être effectuées, qui doit s'en charger, comment regrouper les missions, qui rend des comptes à qui, et à quel niveau les décisions sont prises à travers l'organisation. C'est l'organisation des éléments qui permet l'atteinte du but ou de la finalité du système.

5.1.1 Caractéristiques du projet de construction en tant que système

Le projet de construction en tant que système peut donc être identifié selon le Moigne (2006) par :

a. Son environnement (tout ce qui « entoure » le projet de construction) : L'environnement dans lequel se déroule un projet de construction est toujours différent et en constant changement. Il est constitué d'une multitude de parties prenantes (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise de réalisation, contrôle technique, etc.) et en interaction avec deux types d'environnements (global, spécifique) (cf. figure 2.2)

b. Sa finalité (satisfaire les besoins du client) : Atteindre les objectifs du projet de construction qui sont déterminés en fonction des besoins, exigences et attentes de l'ensemble de ses parties intéressées (clients, maître d'ouvrage, etc.).

c. Son activité (ce que le système fait) : créer un bien ou un ouvrage unique, en identifiant les livrables et les tâches à réaliser ainsi que les ressources nécessaires.

d. Sa structure : les relations contractuelles et fonctionnelles entre les différents intervenants du projet.

e. Son évolution : le projet évolue au cours de son cycle de vie, de la naissance jusqu'au transfert à l'exploitant (cf. figure 2.1).

5.2 Le projet de construction, un système complexe

Un système complexe est constitué d'un ensemble d'éléments qui fait émerger de nouvelles propriétés ne se trouvant pas dans les éléments eux-mêmes. Le système est alors doté de qualités inconnues au niveau des simples éléments, c'est ce qui se traduit par la phrase : « le tout est plus que la somme des parties » (Von Bertalanffy, 1968, Donnadieu et al, 2003). Le comportement des systèmes a permis de distinguer deux principaux types de complexité Meinadier (1998) (in Sghaier, 2014) :

- La complexité statique est liée à l'architecture du système, à savoir, le nombre de fonctions, de composantes, de relations existantes.
- La complexité dynamique est liée à la dynamique des interactions entre les sous-systèmes et les composants.

Si l'on se replace dans le cadre de ce travail de recherche, le projet de construction est un système dont chacun des composants de son organisation est considéré comme un système complexe. La complexité du projet de construction naît :

- De la diversité, de la multiplicité des intervenants ainsi que des difficultés liées à leurs rôles dans le système. Ces parties prenantes ont d'une part des objectifs et des points de vue souvent différents, parfois divergents. D'autre part, elles travaillent parfois sans contact entre elles, parfois en interaction plus ou moins directe les unes avec les autres et ce de manière plus ou moins simple et évidente ;
- des facteurs d'incertitudes liés aux tâches, à l'environnement et aux ressources utilisées ;
- de par sa dimension transverse, puisqu'il regroupe un ensemble de disciplines différentes, qui dans l'idéal doivent être liées, interconnectées et non pas prises indépendamment au risque de créer des problématiques conceptuelles, techniques pas toujours solvables.

Le projet de construction peut donc être qualifié de système complexe.

5.2.1 Caractéristiques du projet de construction en tant que système complexe

a. Ouvert : le projet de construction pratique de nombreux échanges avec son environnement. Il y puise ses ressources (matières premières, main d'œuvre, etc.) pour sa survie qui sont les flux entrants du système. L'environnement est également une source de menaces et d'incertitudes (règles juridiques, concurrents, etc.). Le projet de construction comme un système ouvert est donc engagé dans un processus d'échange avec son environnement ; ces échanges sont très importants dans la mesure où ils

assurent la viabilité du système, sa capacité de se reproduire, de se transformer et lui permette d'atteindre ses finalités.

b. Relationnel : comme déjà précisé, un projet de construction est l'expression d'une collaboration entre de multiples et différents métiers ; ainsi, il y a une multiplicité et une diversité d'acteurs. La relation entre les acteurs peut être de nature fonctionnelle non contractuelle ou marquée par un contrat de louage appelé marché (cf. paragraphe 3.3 du chap2). Il en résulte des réseaux de relations et de communication qui assurent la circulation des flux d'information, des flux financiers, des flux de personnes, des flux de matière et d'énergie au sein du projet. En effet, depuis l'origine du projet, en passant par sa planification, l'exécution des tâches et le contrôle jusqu'à sa clôture, différents réseaux matériels et immatériels peuvent être identifiés entre les éléments.

c. Englobant : c'est-à-dire que le système analysé peut être lui-même considéré comme un élément d'un système aux frontières plus vastes. L'ensemble des éléments constitutifs du projet de construction sont organisés et s'englobent les uns dans les autres. Chaque fonction peut constituer un sous-système en lien avec les autres constituants un « tout » spécifique au projet de construction.

d. Varié : La variété d'un système est le nombre de configurations ou d'états que ce système peut revêtir. Cette variété provient de deux sources : le système lui-même (intra), et l'interaction du système avec l'environnement externe (inter). La variété du système dépend elle-même à la fois, du nombre d'éléments de ce système (et particulièrement les parties prenantes pour la construction), et du nombre d'interactions possibles entre ces éléments. En effet, le projet de construction a besoin de variété pour interagir avec l'environnement en vue de mises à jour suite aux besoins de modifications conséquences des risques en "interne" (système lui-même) et en "externe" (dans l'environnement).

e. Auto-organisateur : Les systèmes sont auto-régulateurs pour se maintenir en vie en tenant compte des besoins de modifications internes et externes. Cette capacité naît de la rencontre entre la finalité et la variété. Le projet de construction prend en compte les contraintes et les risques issus de l'environnement interne et externe, et pour cela il doit se mettre à jour régulièrement pour y faire face. Il se crée des propriétés nouvelles à la suite de rétroactions positives et/ou négatives.

5.3 Modélisation systémique du projet de construction

Une situation perçue comme un système complexe ne peut être directement analysée. Afin d'aborder cette complexité et de faciliter la compréhension et l'étude du système, nous avons besoin de modèles.

Un bref examen de la littérature concernant les applications de la systémique indique que les démarches de modélisation sont appliquées dans des contextes très divers avec des objectifs très différents. On peut ainsi chercher à travers un modèle à simplifier, analyser, synthétiser, expliquer, prévoir, optimiser, simuler, former, décrire, décider, identifier un secteur d'investigation (Benachenhou, 2011). Le modèle représente donc un support de

base pour le raisonnement et doit pouvoir être utilisé pour répondre à des questions sur le système modélisé (Benzivin et Gerbe, 2001, in Sghaier, 2014).

Pour la suite de notre travail (chapitre 4), le modèle sera défini à partir d'une démarche heuristique dont le but est de représenter au mieux un type de projet de construction (le projet routier) à travers un système. Ainsi la modélisation nous permettra, de comprendre, de s'orienter dans la complexité et d'agir efficacement.

Pour la modélisation d'un phénomène perçu comme complexe Jean-Louis Le Moigne (1990, 1995) a formulé la méthode dite « La Systémographie ». Elle est représentée par ce qu'on appelle un « Système Général » (figure 3.2)

Basé sur les caractéristiques fondamentales d'un système complexe que nous avons décrit précédemment (voir § 5.2.1), le système général se décrit donc par un enchevêtrement d'actions dans un environnement, fonctionnant et se transformant, pour quelques projets (Le Moigne, 1990, 1995).

En modélisation systémique une action se traduit par un processus (figure 3.5).

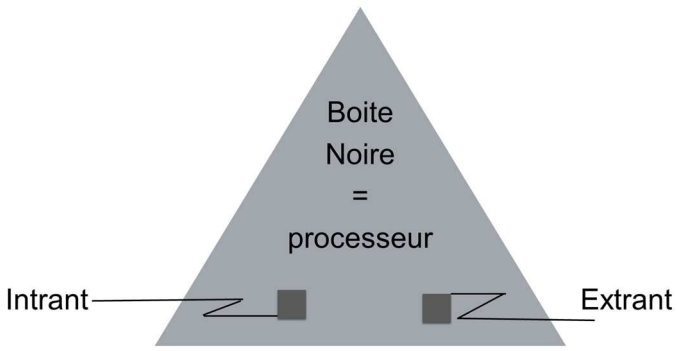


Figure 3.5 Modélisation de l'action

Tout système complexe peut donc être représenté par un enchevêtrement de processus, représenté par des compositions de fonctions temporelles (stockage, mémorisation), spatiales (transport, transmission), et morphologiques (traitement, computation) (Deroussy, 2015). L'activité d'un système complexe se caractérise alors par de nombreux processus interagissant les uns avec les autres. On parle alors d'« Inter-Relation » entre deux processus lorsqu'un extrant du premier est intrant du second. Et on appelle la trame constituée par tous les processus reliés par interrelation, le « Réseau » d'un système. Cette notion de processus est la base de la méthode MADS utilisé dans notre recherche (voir chapitre 4) pour le management des risques dans un projet routier

Le nombre de processeurs considérés étant souvent très élevé, on différencie alors le système en sous-systèmes ou « Niveaux » ; chaque niveau pouvant être modélisé par son réseau et interprété de façon relativement autonome. Le Moigne (1999) propose un prototype de modélisation de l'articulation d'un système complexe en 9 niveaux :

1. Le phénomène est identifiable ;

2. Le phénomène est actif : il « fait » ;

3. Le phénomène est contrôlé ;

4. Le phénomène est informé de son propre comportement ;

5. Le système décide de son comportement ;

6. Le système mémorise ;

7. Le système coordonne ses décisions d'action ;

8. Le système imagine et conçoit de nouvelles décisions possibles ;

9. Le système est finalisé.

Selon Le Moigne (1999), il existe une décomposition générique de tout système complexe, appelée modèle canonique O.I.D. (système Opérant / système d'Information /système de Décision), présentée sur la figure 3.6, et décrite ci-dessous, à savoir :

- **Un sous-système d'opération :** dont le but est de maintenir, relier, et produire.
- **Un sous-système de Traitement de l'Information :** dont le but est de computer, mémoriser, et communiquer.
- **Un sous-système de décision :** dont le but est de comprendre, concevoir, et finaliser.

Deroussy (2015) y a greffé **un Méta-Système d'organisation** dont le but est de se maintenir (synchronique), se relier (diachronique), et se produire (autonomisant).

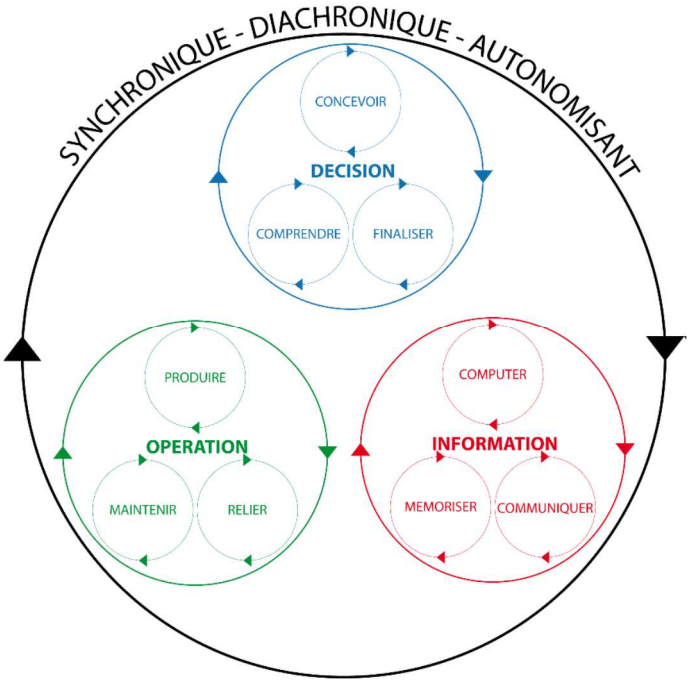


Figure 3.6 Modèle canonique O.I.D (Le Moigne, 1999, Deroussy, 2015)

Ce modèle du Système Général permet de représenter le couplage complexe entre les systèmes de décision et d'opération, via le Système de Traitement d'Information. En effet,

le système de traitement d'information a pour rôle d'enregistrer les représentations des opérations, de les mémoriser, ensuite de les mettre à disposition du système de décision. La question de l'interopérabilité dans un projet de construction qu'on a évoqué dans le deuxième chapitre pour une meilleure gestion des risques impacte nécessairement le domaine des Systèmes d'Information. Dans les différentes étapes du cycle de vie du projet, un volume important d'information, formalisé sous forme graphique et textuel est échangé. Le projet repose donc en grande partie sur le système d'information au travers des processus qu'il supporte, des applications qu'il propose et des données qu'il gère. L'interopérabilité dans le projet de construction passe nécessairement par l'interopérabilité de son système d'information afin d'améliorer l'efficacité globale d'un réseau collaboratif et du management des risques.

6. DE LA NECESSITE DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE DANS LA GESTION DES RISQUES

Tel que ça été mentionné et développé dans le premier chapitre, les projets de construction sont confrontés à des risques multiples, entre autres, les risques géotechniques objet de notre recherche. La maîtrise du risque dans un projet de construction est la préoccupation majeure des parties prenantes. Cette maîtrise est d'autant plus difficile car chacun des composants de son organisation est considéré lui-même comme un système complexe et ils interagissent avec un environnement dynamique.

L'approche systémique peut s'avérer donc nécessaire pour appréhender cette complexité et prendre en compte tous les aspects du risque. Nous avons aussi vu dans le premier chapitre que la gestion des risques géotechniques est complexe par l'origine naturelle des phénomènes et la difficulté de « bien connaître » un milieu naturel non visible, donc mal connu. L'exploitation de tout système présente des dangers qui peuvent induire des conséquences fatales pour l'environnement. Hormis les risques potentiels identifiés dus à la nature et la fonction des éléments du système, s'ajoutent les « risques système » issus des différents niveaux d'interaction et de leur évolution.

La maîtrise de ces risques relève d'une approche systémique du fait (AFIS, 2007, in Sghaier, 2014) :

- « De scénarios difficilement prédictibles combinant des aléas d'origines diverses (internes ou externes, techniques ou humains),
- de dysfonctionnements susceptibles de se produire du fait de la complexité des interactions sur les multiples interfaces tant techniques qu'organisationnelles,
- de la difficulté d'estimer les risques tant en termes de fréquence d'événements redoutés qu'en termes de potentialité de gravité,
- de la difficulté d'évaluer l'efficacité et la vulnérabilité des barrières de protection et de leur combinaison et notamment d'y détecter les maillons faibles. »

De ce fait, l'approche systémique appliquée à l'analyse de risques permet :

- Une vision transversale et transdisciplinaire du projet de construction.
- Une vision globale du projet de construction.
- Une vision de l'ouverture du projet de construction.
- Une vision dynamique du projet de construction.
- Une vision sur l'étude des finalités du projet de construction.

Une telle démarche peut paraître longue et théorique mais son apport dans l'identification du système à étudier et des sous-systèmes ainsi que des risques y afférents est déterminant. Montmain et al., (2007) définissent 4 situations qui font apparaître autant de types de pilotage possibles qui montrent que le management des risques doit être abordé par une approche situationnelle (figure 3.7) :

- Routine : le système fonctionne de façon nominale et dans les conditions attendues. Il s'agit alors de pilotage procédural.
- Maîtrise : le système a dérivé. Il faut intervenir pour maîtriser la situation et de ce fait le mode de pilotage dynamique est amorcé.
- Urgence : le système subit des conséquences dommageables. Le pilotage du système est forcé.
- Exception : les moyens d'action sont surchargés ou inopérants, le système est déstabilisé. Le pilotage global devient alors impossible.

Lorsqu'un système est dans une situation de routine ou de maîtrise, il est exposé aux risques, on parle alors de système vulnérable. Par contre, lorsqu'un système se trouve dans des situations d'urgence ou d'exception, il y a déjà des dommages. Il faut alors agir pour retourner à une situation plus stable.

La maîtrise des risques consiste ainsi à éviter l'aggravation de la situation dans laquelle se trouve le système.

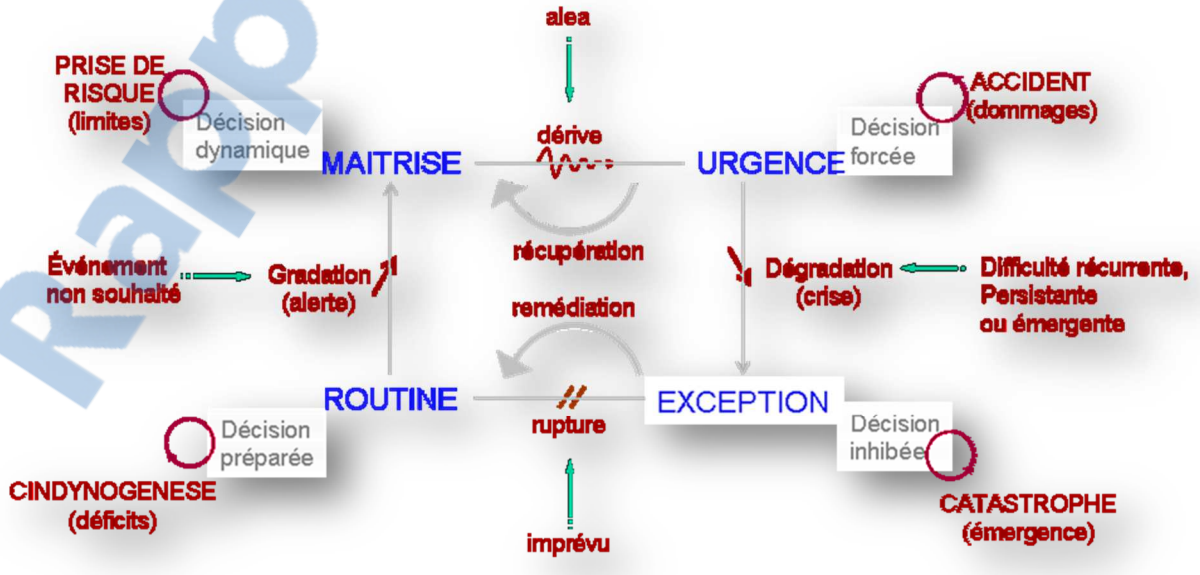


Figure 3.7 Les situations de management des risques (Montmain et al., 2007)

6.1 Niveau de complexité en gestion des risques

La complexification progressive et la cohabitation des diverses problématiques sociétales des risques et la multiplication des thématiques abordées dans le domaine du danger impose la mise en place de visions nouvelles sur les choses et le monde pour aborder ces évènements que l'on souhaite ne pas voir arriver ; ce sont ceux que l'on nomme les évènements non souhaités (ENS) (Lesbats, 2012). Aussi, la complexité peut être localisée à deux niveaux : les évènements que nous souhaitons aborder et les entités -systèmes- d'où ils émergent.

La gestion des risques étudie des évènements, c'est-à-dire en première analyse, l'imprévisible, le peu probable, l'accidentel, le non contrôlable, l'irréversible, le « résidu de rationalité » ; de nombreuses difficultés apparaissent car certains de ces évènements sont prévisibles, chroniques, planifiés, mal contrôlables et acceptés (Lesbats, 2012).

L'évènement représente le produit d'associations, combinaisons, interrelations d'éléments, qui ont eu lieu à des échelles de temps très variées (court, moyen, long terme) au cours de la rencontre ou de la perturbation d'ensembles structurés (Lesbats, 2012). Les systèmes dans lesquels ces processus se déroulent sont complexes. En gestion des risques, on recherche à protéger l'homme, la population, l'écosystème et les installations qui représentent des systèmes complexes. Dans un projet de construction, ces systèmes sont caractérisés par une grande quantité d'interactions. Plus le nombre d'acteurs est important, plus les phénomènes aléatoires, l'incertitude, l'hétérogénéité des connaissances ainsi que les niveaux d'organisation sont élevés. Pour cette raison, ils sont indissociables et l'approche systémique devrait pouvoir nous aider à les analyser sans les mutiler.

Nous considérons alors les évènements non souhaités comme la propriété émergente d'un procédé complexe produit d'ensembles d'organisations technico-sociales. Ces évènements non souhaités sont inscrits dans un environnement actif et ont besoin d'une modélisation pour une meilleure compréhension.

Comme cela été précisé dans le paragraphe 5.3, le concept de base de la modélisation systémique n'est pas l'objet ou la combinaison d'objets stables (structures), mais l'action (l'activité) que l'on nomme processus (figure 3.5).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

6.2 Représentation du processus de danger

Tout modèle d'un objet dans son environnement ou de son comportement peut être conceptualisé puis représenté par un processus. Ce mode de représentation implique l'identification des processus subis et/ou provoqués par l'homme. Chaque processus a une valeur relative à l'intérieur du système lorsqu'il est observé isolément, c'est-à-dire sans tenir compte de l'interaction avec les autres processus : c'est de cette interaction qu'émergent le tout et ses propriétés émergentes.

C'est à partir des concepts systémiques que la conceptualisation et la gestion des risques est possible : ce détour épistémologique par le paradigme systémique va nous aider à

représenter le processus de danger, modèle systémique de référence, préalable construction, à toute action sur les événements non-souhaités (ENS) qui vont apparaitre aléatoirement.

6.2.1 Représentation des systèmes source et cible

L'objectif de cette première phase est de récolter des connaissances à propos des systèmes sources et cibles du danger, ainsi que sur leurs environnements actifs ou passifs respectifs :

Connaissances scientifiques sur sa structure, son fonctionnement, son évolution et son environnement (figure 3.8).

C'est aussi le modélisateur qui choisit le niveau d'étude et d'appréhension des systèmes sources et cibles qu'il souhaite représenter (représentation micro, macro, ou méso).

Cette phase consiste à imaginer le couple de processeur sur lequel on va opérer : un processeur de danger source et un processeur cible. Ce couple orienté (l'un, la cible, va subir l'effet de l'autre, la source) définit un point de vue dans lequel on va se situer pour comprendre et agir sur les situations complexes que l'on cherche à modéliser.

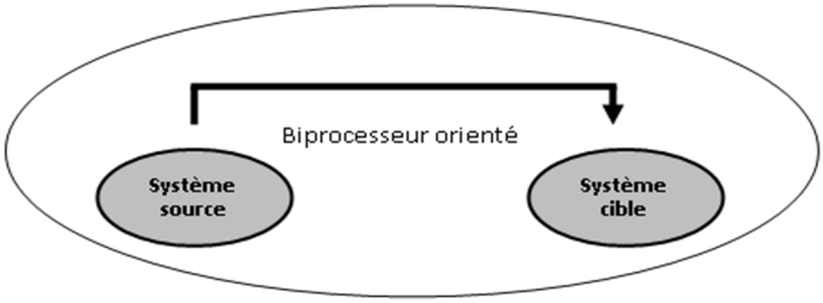


Figure 3.8 Biprocesseur orienté (Lesbats, 2012)

6.2.2 Représentation des processus sources de danger et de ceux susceptibles de subir l'effet du danger

Dans le système source il faut identifier les processus de danger. Le système cible, il faut identifier les processus qui sont susceptibles de subir les effets, les impacts. Ces évènements non souhaites sont nommés effets de danger (figure3.9).

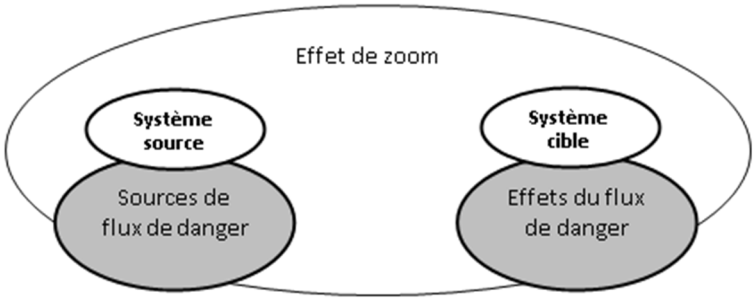


Figure 3.9 Sources de flux et effets ; effet de zoom (Lesbats, 2012)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Ces processus sont issus de la structure, de la fonction, de l'évolution du système source et peuvent provoquer les effets sur la structure, la fonction ou l'évolution du système cible. Ces processus peuvent être considérés, tour à tour, comme des processus source de danger mais aussi comme des cibles qui subissent des effets de danger.

6.2.3 Mettre en relation système source et système cible

Dans cette phase il s'agit de relier les processus source de flux de danger aux processus susceptibles d'être affecter au niveau de la cible du danger. La liaison s'opère en modélisant un flux de danger, liaison orientée source ⟶ cible (figure 3.10).

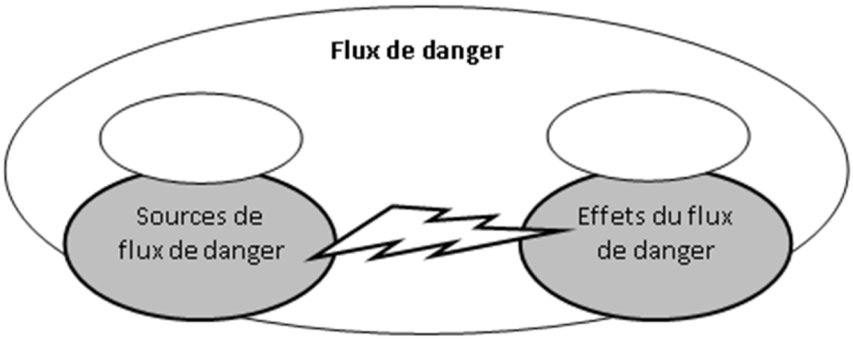


Figure 3.10 Flux de danger (Lesbats, 2012)

Remarque

Il est utile de rappeler qu'il existe trois types de flux de danger s'écoulant autour de nous : les flux de danger de matière et d'énergie (flux physiques) et les flux d'information. Le flux est alors déterminé en fonction de sa nature ; il présente aussi des caractéristiques temporelles et spatiales.

6.2.4 La source et la cible dans leur environnement

La représentation orientée construite (source, flux, cible) est immergée dans un champ de danger (figure 3.11).

Ce champ de danger est tapissé de processus (effet de champ) qui peuvent influencés l'état de système source donc, des processus source du danger, du flux mais aussi du système cible donc des processus qui s'y déroulent et qui peuvent subir l'effet du danger.

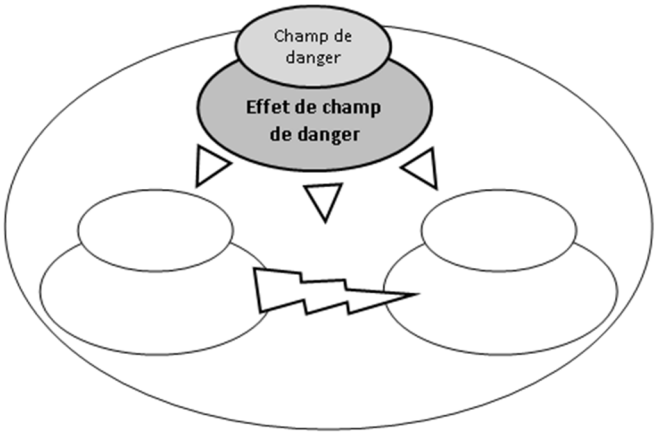


Figure 3.11 Flux de champ (Lesbats, 2012)

Ainsi, les quatre phases de représentation des processus de danger sont plus itératives, bouclées que linéaire, ce qui oblige le modélisateur à redéfinir ses systèmes sources et cibles quand de besoin. Ainsi qui avait été initialement placé dans le champ peut devenir un flux de danger à part entière. Le processus de danger ainsi construit, nommé aussi MADS peut être représenté dans la figure (3.12) ci-après. Ce modèle de référence, avec lequel nous allons travailler par la suite dans l'environnement de la construction, peut représenter les entités microscopiques au macroscopiques, et peut être utilisé comme modèle fractal de la réalité.

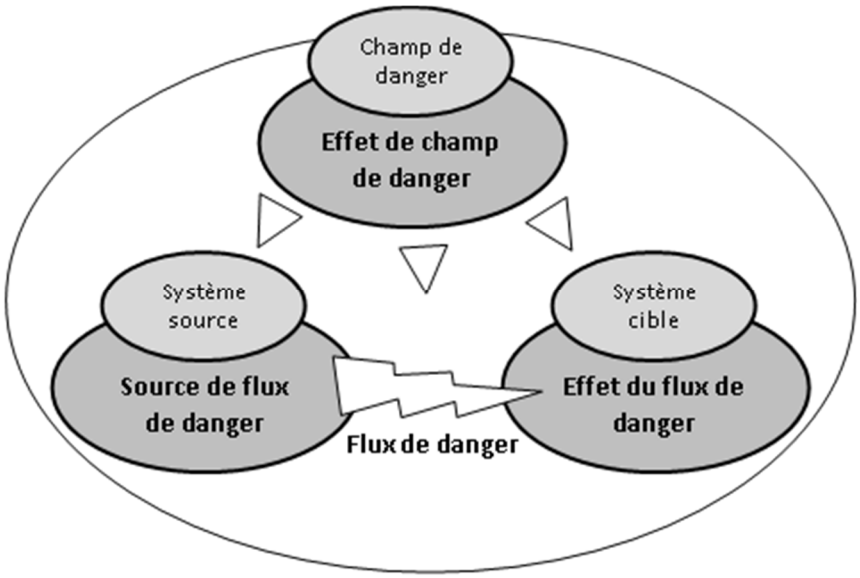


Figure 3.12 Le processus de danger, représentation et construction : modèle de référence (Lesbats, 2012)

7. LA GESTION DES RISQUES PAR LA METHODOLOGIE MADS-MOSAR

Analyser les risques nécessite d'identifier, évaluer, maîtriser, gérer et manager les évènements non souhaités issus de la structure, de l'activité, de l'évolution, de la finalité, de l'environnement. De nombreux outils et méthodes, développés initialement dans le secteur de la finance et le secteur industriel, existent pour l'analyse des risques ; leur transposition au secteur de la construction ne peut se faire sans une identification précise des interactions et des pratiques d'échange entre les différentes parties prenantes du projet (Malcurat 2001). L'approche classique utilisée actuellement dans les projets de construction, même si elle permet de minimiser les aléas et/ou la vulnérabilité, n'apporte pas toujours les résultats souhaités parce qu'elle ne tient pas compte, d'une part, de la complexité de l'environnement technique, administratif et réglementaire d'une opération publique de construction, et d'autre part, de la multiplicité et diversité des intervenants dans un projet de construction qui induit une difficulté de communication formelle entre les différents acteurs.

Notre choix s'est porté sur l'utilisation de la méthode MADS-MOSAR qui reprend d'une manière explicite les 5 caractéristiques fondamentales d'un système définit

précédemment : sa structure, sa fonction, sa finalité, son environnement et son évolution. Celles-ci nous aideront par la suite à définir et modéliser notre système route.

Au cours des années 90, le département hygiène et sécurité de l'IUT de Bordeaux, P. Perilhon et les spécialistes du CEA, ont développé le concept général de ce que nous connaissant sous le nom de méthodologie MADS/MOSAR. MADS signifiant « Méthode d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes », et MOSAR, « Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques ». MADS propose un modèle général du danger et MOSAR construit une méthodologie globale d'analyse de risques. L'ensemble MADS-MOSAR représente une méthodologie systémique et systématique d'évaluation des risques dans les systèmes complexes (Munoz, 2007). En effet, il est conçu d'une part comme une boîte à outils pour l'analyse de systèmes complexes, et d'autre part comme un instrument d'analyse et une référence pour l'application de méthodes d'analyse de risques reconnus internationalement comme AMDEC, ADD, HAZOP, etc. L'utilisation de cet outil est complexe, mais il représente une base conceptuelle importante de la science du danger (Munoz, 2007).

7.1 Le modèle général de danger MADS

Le modèle MADS (Méthodologie de dysfonctionnement des systèmes), appelé aussi « Univers du danger » est un outil, créé initialement à vocation pédagogique, qui permet de construire et de comprendre la problématique de l'analyse des risques. Il est construit sur les bases des principes de la modélisation systémique développés par Le Moigne (1977). Comme défini au paragraphe 6.2, l'univers du danger est formé de deux systèmes appelés système source de danger et système cible, en interaction et immergés dans un environnement (Perilhon, 1999) (figure 3.12).

MADS définit la science du danger comme « le corps de connaissance qui a pour but d'appréhender des événements non souhaité (ENS) ». Il présente un vocabulaire qui met en évidence une séquence d'événements : événement déclencheur, événement initial, flux de danger et événement final.

Ce modèle (figure 3.13) repose sur les notions de :

- Système(s) source(s) : système(s) à l'origine des flux de danger.
- Système(s) cible(s) : système(s) sensibles(s) aux flux de danger et subissant des dommages.
- Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou d'une situation normale à un état ou une situation défaillante. C'est l'événement redouté lié à la source.
- Evénement initiateur : qui va déclencher l'événement initial.
- Evénement principal (ou flux de danger) : ce sont les flux générés par l'occurrence de l'évènement initial et qui peuvent produire des effets sur des cibles.

- Evènement non souhaité : ensemble de dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets non souhaités sur les systèmes cibles ;

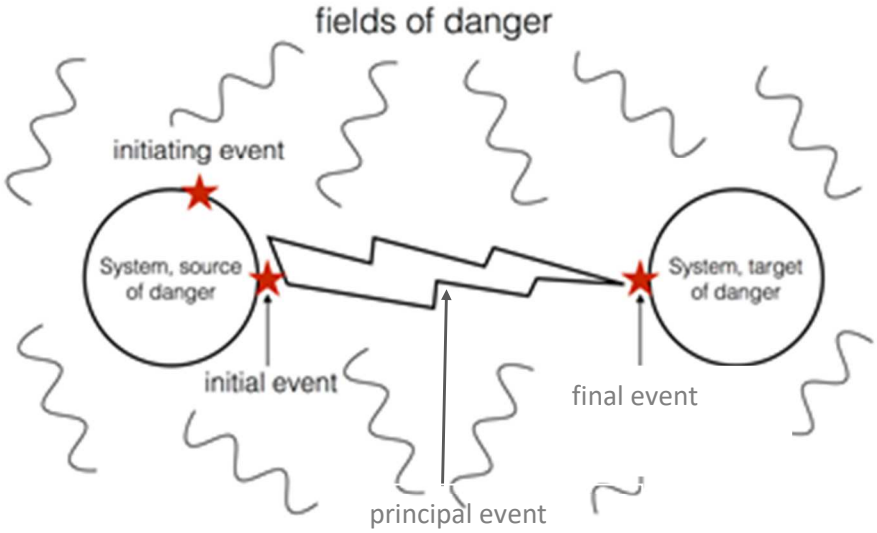


Figure 3.13 Modèle de processus de danger (Benachenhou et al., 2016)

L'évaluation du risque correspond à la description d'une ou plusieurs séquences de danger :

« Une analyse de risques consiste à étudier le processus de danger, c'est-à-dire la mise en relation d'un système source avec un système cible au moyen de phénomènes appelés flux de danger dans un environnement actif champ de danger » (Perilhon, 1999).

Remarque

Il est important de signaler que le processus de danger peut générer des relations source-cible différentes, il peut même générer des processus d'enchaînement et transformer une source de danger en cible. Ceci nous permettra de décrire la séquence de danger et le concept de scénario de danger émergent.

7.2 La méthodologie MOSAR

La méthode MOSAR est fondée sur le modèle MADS. Cette méthodologie est considérée comme organisée car c'est une démarche progressive qui utilise des outils internes comme la grille d'identification de sources de danger, le tableau A d'établissement des processus de danger des sous-systèmes et différents outils externes d'analyse des risques internationalement reconnus. Elle est systématique car elle a sa base dans la systémographie et son objectif principal est l'analyse des risques car elle permet d'identifier, de contrôler, de gérer et de manager le risque dans un système complexe.

Cette méthodologie, qui sera la feuille de route de la partie originale de notre travail de recherche, propose une approche générique fournissant une analyse de risque du

système et en même temps, d'identifier les moyens de prévention, de protection et de mesures d'atténuation nécessaires pour réduire et minimiser les risques (Perilhon, 2000). La méthode permet l'identification des sources de risque distinguant des scénarios des événements peu désirés, fournissant et évaluant l'analyse de risque et puis proposant des mesures de sécurité.

MOSAR propose une approximation qui permet de prévoir les risques d'une manière globale grâce à une vision macroscopique et d'une manière détaillée grâce à une vision microscopique (figure 3.14).

La vision macroscopique correspond approximativement à une analyse principale des risques (Module A) ; son but est d'effectuer une analyse des risques du système en se basant sur le processus présenté sur la figure 3.14.

Après la décomposition du système étudié en sous-systèmes, la première étape consiste à identifier de manière systématique en quoi chaque sous-système peut être source de danger puis on cherche comment ils peuvent interagir entre eux et avec leur environnement pour générer des scénarios d'accidents. Pour cela, on fait référence à une grille de typologie des systèmes sources de danger et on utilise le modèle MADS qui relie sources de danger avec les cibles. L'utilisation de la technique des boîtes noires permet de générer des scénarios de risque d'interaction entre les sous-systèmes qui, rassemblés sur un même évènement, constituent un arbre logique ou arbre d'évènements. Ce module comporte aussi une phase de négociation avec les acteurs concernés, qui va permettre d'établir un consensus sur les risques acceptables sous forme d'une grille Gravité-Vraisemblance. Le module A fini avec la qualification des barrières identifiées.

La vision microscopique (module B) est appelée analyse des risques de fonctionnement. C'est une continuité du module A où l'on approfondit les mécanismes de dysfonctionnement et où l'on positionne les mesures d'élimination, de contrôle et de mitigation qui doivent être prise en compte. Ce niveau d'analyse micro ne sera pas développer dans ce document.

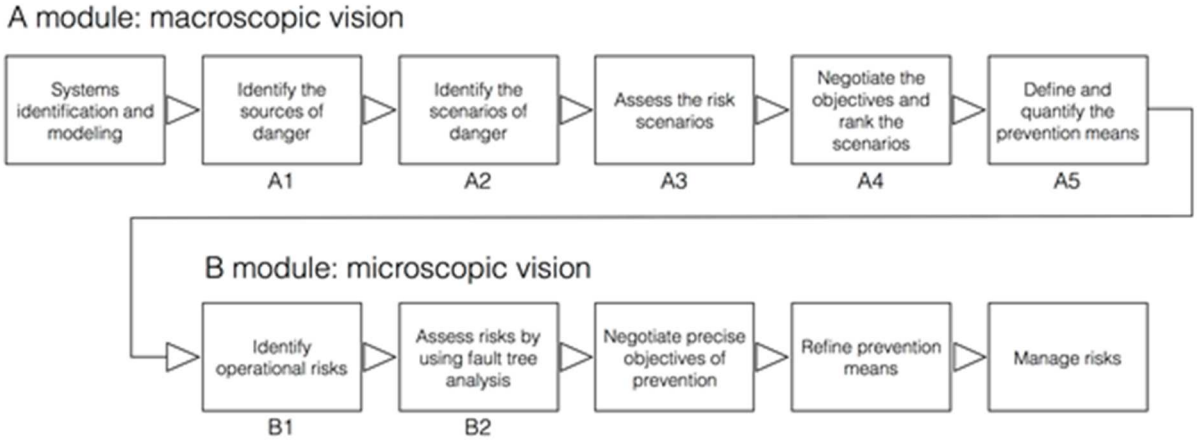


Figure 3.14 La structure de la méthode MOSAR (Adapté de Perilhon, 2000)

8. CONCLUSION

Le projet de construction est un système ouvert sur ces environnements avec lesquels il échange des flux de matière, d'énergie et d'information. L'ensemble d'actions doit répondre à des besoins définis dans des délais fixés, dans la limite d'un budget alloué. On a vu que le projet de construction est complexe par l'interdisciplinarité de ses intervenants qui appelle à des actions collaboratives. Le projet évolue comme un système selon une trajectoire. La maîtrise de la trajectoire du projet nécessite l'association de tous les composants du système, de toutes les compétences des acteurs. Cette trajectoire, marquée d'incertitudes décisionnelles et d'incomplétudes informationnelles fait du projet de construction un système décisionnel basé sur l'anticipation et le travail collectif. Le leader du projet guide alors le système en assurant l'interopérabilité des parties prenantes du projet, chacune constituant un centre de décision influençant la trajectoire du système projet. De ce fait, il est essentiel de prendre le problème en considérant le fait que la complexité et la maîtrise des risques nécessitent d'être prises en compte tout en ayant une approche transversale, transdisciplinaire et systémique. Ainsi, et pour privilégier une vision globale systémique, il nous a semblé que la méthode MADS MOSAR satisfaisait à ces exigences et pouvait être adaptée à la complexité des projets de construction. Dans le chapitre qui suit, et en respectant la méthodologie citée plus haut, nous appliquerons les étapes du module A de la méthode MOSAR dans le projet de la bretelle principale A qui relie la ville de Tlemcen à l'autoroute Est-Ouest, tout en y intégrant l'interopérabilité des parties prenantes. ■

« La gestion des risques est une façon de dissiper le brouillard d'incertitude dans lequel nous vivons. »
Felix Kloman, 2008

4

APPLICATION DE LA METHODE MADS MOSAR DANS UN PROJET ROUTIER

1. INTRODUCTION

En Algérie, les secteurs des transports et des travaux publics connaissent une véritable mutation. En effet, l'état a mis le développement de ces derniers parmi les priorités à mener. Un grand nombre de projets ont été réalisés ou sont en phase de réalisation. Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain ; sa longueur est estimée à 108 302 km de routes (dont 76 028 km goudronnées) avec plus de 3 756 ouvrages d'art.

Malgré la multiplication des projets routiers et autoroutiers, le management des risques y est très timide. En effet, ceux-ci sont souvent sous la menace de risques d'origines diverses, particulièrement géotechniques, d'origine naturelle ou anthropique, et qui peuvent perturber leur bon déroulement. De plus, des effets latents peuvent mettre en jeu la pérennité de ces ouvrages ainsi que la sécurité et le confort des usagers. A titre d'exemple, un nombre important de malfaçons, de défaillances et de catastrophes ont été enregistrées au niveau de l'autoroute Est-Ouest de (qui relie la ville d'Annaba de l'extrême

Est jusqu'à la ville de Tlemcen à l'extrême Ouest, d'une longueur de 1216 km). La totalité de cet ouvrage demeure très vulnérable vis-à-vis des risques « mouvements de sols, séisme, ensablement et inondations » (Chelghoum, 2017). Ces risques ne peuvent être totalement évités, mais il est possible de diminuer leur probabilité d'apparition et/ou leur gravité. Ceci passe par des mesures préventives et/ou protectrices identifiées avant le déclenchement de l'événement à risque, et mises en place avant, pendant et après sa survenance.

Ainsi, l'ingénieur est confronté à la question de savoir comment gérer ces risques le plus rapidement possible et tout au long du projet, jusqu'à la définition et le suivi des mesures à mettre en œuvre pour réduire ces risques ou les rendre acceptables.

Le but de ce chapitre, est de montrer comment la méthode MADS-MOSAR (cf. chapitre 3) peut aider à évaluer les risques géotechniques et à mettre en exergue la nécessité de l'interopérabilité des parties prenantes en vue de minimiser ces risques. Notre étude de cas est la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 (Tlemcen, Algérie).

L'application de la méthode va nous permettre :

- D'identifier, et d'évaluer les risques géotechniques d'un projet routier avec une vision systémique en vue de montrer que l'absence d'interopérabilité est une des sources de danger.
- De faire apparaitre l'acceptabilité des risques par les acteurs concernés.
- De mettre en œuvre des outils classiques de types grilles de référence et tableaux, et organiser l'utilisation des outils connus de la sûreté de fonctionnement tels que les arbres de défaillances.
- De construire les scénarios des processus de danger liés aux différentes sources.
- De montrer la pertinence de cet outil (MADS-MOSAR) dans le domaine de la construction.

2. METHODOLOGIE

2.1 Méthode MOSAR / Démarche de référence

Rappelons que la méthode MOSAR d'analyse globale des risques se compose de deux modules A et B conformément à la figure 3.14 du chapitre 3.

Le module A a pour but d'identifier les dysfonctionnements de nature technique ou opératoire et leurs interactions, dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités. Il va permettre de générer les scénarios d'accidents pouvant mettre en jeu des dysfonctionnements de natures différentes, en ayant une vision macroscopique.

Dans cette thèse, le fil conducteur de notre analyse de risque a été le développement des étapes du module A (figure 4.1), à l'exception de la qualification des moyens de prévention (dans l'étape 5), pour des raisons qui seront explicitées dans les paragraphes qui suivent.

Le module A représente la structure de la méthodologie MADS-MOSAR.

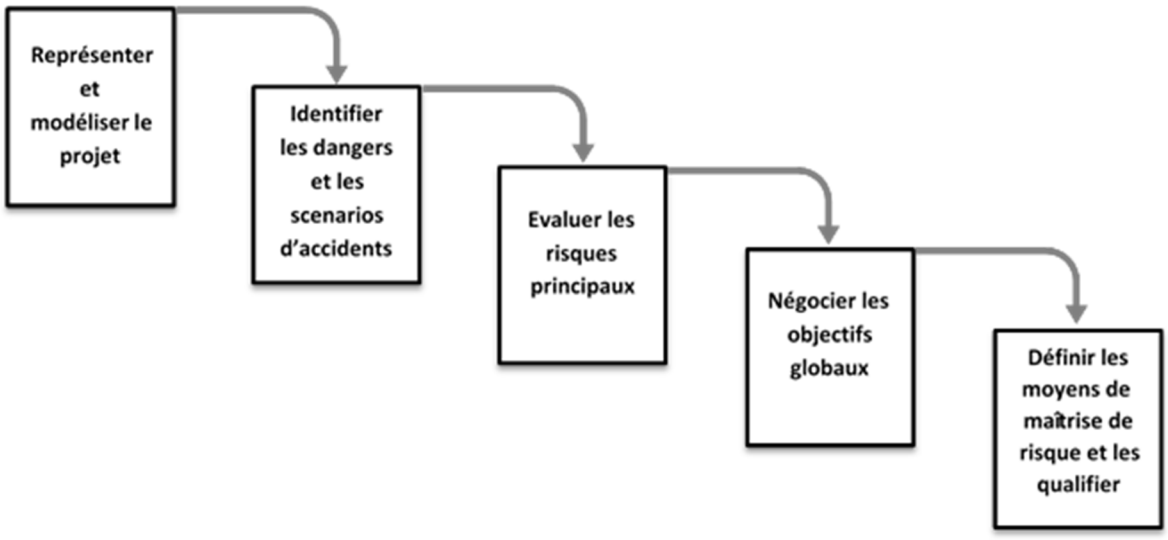


Figure 4.1 Structure simplifiée de MOSAR module A (Adaptée de Perilhon, 2007)

2.2 Description des étapes du module A (Perilhon, 2000, 2007)

MOSAR est une méthode structurée, quantitative, progressive et participative (Gardes, 2001). Elle préconise la constitution d'un groupe de travail qui, idéalement, associe tous les intervenants d'un projet de construction pour mener efficacement l'analyse des risques. Elle fait appel à l'imagination, à l'esprit proactif, et à l'expérience de tous les participants.

2.2.1 Modélisation du système et décomposition en sous-systèmes

MOSAR, issue principalement du domaine industriel, voit l'installation à étudier comme un système complexe richement organisé, générateur d'inconnu car capable d'innover pour s'adapter à ses propres évolutions et à celles de son environnement. De ce fait, nous avons démontré dans le paragraphe 5.2 du chapitre 3 qu'un projet de construction est un système complexe pouvant être simplifié. Cette vision conduit à envisager le projet de construction dans toute sa complexité tout en étant conscient qu'il est obligatoire de le découper pour pouvoir l'analyser et prendre en compte par la suite l'interaction entre les différentes parties découpées. Selon Perilhon (2007), la systémique propose de ne pas se contenter de découper, décortiquer, hiérarchiser une réalité, pour mieux la comprendre, mais de développer des modèles qui vont permettre de retrouver les relations entre les éléments découpés.

L'étape 1 recommande de découper le système en sous-systèmes, de déterminer quel est son environnement. La condition à respecter la plus importante est de retrouver dans la somme des sous-systèmes l'intégralité du système étudié. Si le système est d'une envergure restreinte ou d'une complexité faible, le découpage en sous-systèmes n'est pas obligatoire.

Lorsque cette décomposition s'avère utile, il existe toutefois plusieurs manières de découper une installation en sous-systèmes. On peut effectuer :

- une décomposition hiérarchique ;
- une décomposition topologique ;
- une décomposition fonctionnelle.

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

Le projet de construction étudié fait appel à un ensemble d'activités complexes et nécessite une attention particulière pour la prise en compte de toutes les interactions qu'il entretient avec son environnement. Celui-ci est un déterminant important du projet et une source de danger potentiel pour lui.

2.2.2 Identification des sources et des processus de danger

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

Comme précisé dans le paragraphe 7.2 du chapitre 03, La méthode MOSAR est basée sur le processus de danger MADS (figure 3.13). Le modèle montre l'enchaînement des évènements qui, à partir de l'évènement initiateur, conduit à un changement d'état de la cible. L'analyse des risques consiste donc à :

- Identifier les flux de danger potentiels ; pour cela, l'ensemble des sources de danger présentes au sein du système analysé sont identifiées.
- Identifier les processus de danger ; c'est-à-dire l'enchaînement des évènements issus de systèmes sources de danger et pouvant conduire à des évènements non souhaités (ENS), ou accidents potentiels.
- Construire et représenter l'enchaînement des évènements conduisant à l'ENS. Ceci nécessite l'élaboration de scénarios.

Dans le modèle MADS, le flux de danger causant l'évènement non souhaité est généré à partir d'un système source de danger. Il est donc nécessaire d'identifier la source de danger qui, une fois excitée par un évènement initiateur d'origine interne ou externe, crée ce flux principal de danger.

Pour effectuer ce travail, on lie chaque sous-système à travers la grille de typologie des systèmes sources de danger proposé par Perilhon (2007). Cette grille est adaptée pour les systèmes sources de dangers possibles dans la fabrication, le stockage et le transport de matière, ainsi que dans les systèmes énergétiques et d'information (Perilhon 2003). Cependant, elle ne correspond pas nécessairement au secteur d'activité étudié (Gardes 2001) et doit être ajustée ou complétée si nécessaire, en utilisant la même structure mais pas le même contenu (Perilhon 2007). Sur la base des travaux de Dassens (2007), nous avons adapté un tableau spécifique des dangers applicables au secteur de la construction et plus particulièrement aux projets routiers (tableau 4.1). En faisant cela pour tous les sous-systèmes, nous obtenons une liste importante, mais sûrement non exhaustive, des dangers liés aux projets routiers.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 4.1 Systèmes sources de danger dans la construction

A- Systèmes sources de danger d'origine économique	A- 1 Sources de dangers liés au marché • Fournisseurs • Distributeurs • usager A- 2 Sources de danger liées aux ressources financières A-3 Inflation A-4 Crise économique
B- Systèmes sources de danger d'origine social	B-1 Sources de danger liées aux comportements humains • Individus • Groupe d'individus • Conflits socio-professionnels • Corruption
C - Système sources de danger d'origine juridique	C-1 Sources de danger liées au contexte législatif (code des marchés publics, code de l'urbanisme, code civil, code de l'environnement, code de travail.) C-2 Sources de danger liées au cadre juridique professionnel C-3 Sources de danger liées aux documents descriptifs de l'ouvrage (cahier des charges, appel d'offres) C-4 Sources de danger liées à l'interprétation des spécifications administratives (CCAP) C-5 Source de danger liée au choix du type de contrat C-6 Sources de danger liées à l'interprétation des spécifications techniques (CCTP) C-7 Sources de danger liées au contexte normatif et aux documents techniques réglementaires
D- Systèmes sources de danger d'origine technologique	D-1 Sources de danger liées aux équipements de la route (signalisation, éclairage, etc.) D-2 Sources de danger liées au matériel D-3 Sources de danger liées aux matériaux D-5 Sources de danger liées aux calculs D-6 Sources danger liées à l'interprétation des résultats D-7 Sources de danger liées aux reconnaissances géotechniques D-8 Sources de danger liées aux procèdes de construction
E- Systèmes sources de dangers d'origine environnementale	E-1 Sources de danger liées aux évènements naturels : • Géologiques (séismes, mouvement de terrain, variabilité des sols) • Climatiques (avalanches, tempêtes, cyclones, tornades, ouragans, coups de vent, brouillard, sècheresse, inondations, feux de forêts, foudre, gel, irradiation solaire). E-2 Sources de danger liées aux infrastructures avoisinantes • Barrage ; • Pont ; • Tunnel E-3 Sources de danger liées au micro-organisme (virus, bactéries, épidémies, pandémies) E-4 Sources de danger liées aux conditions de travail E-5 Sources de danger liées aux lieux de travail

F- Systèmes source de dangers organisationnels	F-1 Sources de danger liées au processus de communication F-2 Sources de danger liées aux procédures de suivi et de contrôle F-3 Sources de danger liées à la gestion des documents (traçabilité) F-4 Sources de danger liées à la définition du programme F-5 sources de danger liées au processus de planification F-6 Sources de danger liées aux processus décisionnels (organisation, cheminement, validation des décisions) F-7 Sources de danger liées à la hiérarchie (définition des responsabilités) F-8 Sources de dangers liées aux acteurs du projet • MOA • MOE/Ingénierie géotechnique • ETP • Laboratoire géotechnique • Sous-Traitants • Contrôle technique
G- Systèmes source de dangers politique	G-1 Changement de gouvernement G-2 Changement de parti au pouvoir G-3 Coup d'état

Ensuite, la recherche des processus de danger consiste à déterminer l'enchaînement d'événements issus de systèmes source de danger et pouvant conduire à des événements non souhaités. Ce sont les scénarios d'accidents. Pour cela, la méthode MOSAR préconise l'utilisation d'un outil nommé tableau A (tableau 4.2) reprenant les principaux éléments du modèle MADS et permettant de composer les scénarios courts.

Tableau 4.2 Canevas « Tableau A » reprenant le processus de danger MADS (adapté de Perilhon, 2007)

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source :		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènement finaux / ENS cibles
Système source de danger (cf. Tableau 4.1)	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			

Ce travail s'effectue ligne par ligne en commençant par la recherche des évènements initiaux, suivie par la recherche des évènements initiateurs qui peuvent engendrer les évènements initiaux. Ces évènements peuvent être internes ou externes à la source de danger. La chaine d'évènements initiateurs et évènements initiaux implique les évènements principaux puis les évènements finaux (non souhaités (cibles)) notés dans la dernière colonne du tableau. Ce travail amène à la génération de scénarios courts mais qui peuvent parfois être mis bout à bout, quand un évènement initial ou final est l'évènement initiateur ou initial d'un autre scénario consigné sur une autre ligne. Ce travail amène à la génération de scenarios courts formés :

- De tous les scenarios linéaires entre entrées et sorties établis dans le tableau 4.2.

- Des scénarios obtenus à partir d'évènements issus de combinaisons d'évènements en entrée et en sortie de la boîte noire.
- Des scénarios de rétroactions entre les entrées et les sorties de la boîte noire.

A cette étape, on ne cherche pas si les scenarios sont possibles ; ils sont plausibles (Perilhon, 2007).

Il est à noter qu'il est possible de faire ce travail dans une phase de vie donnée du sous-système ou dans toutes ses phases de vie (Figure 2.2). De plus, dans ce tableau (4.2) on ne tient pas compte des barrières de prévention et de protection, notamment pour un projet de construction en maturation. C'est une sorte de "point zéro" sans barrières (Perilhon, 2007).

Suite au développement du tableau 4.2, il est possible de représenter chaque sous-système sous forme de boîtes noires dont les entrées sont les évènements initiateurs et les sorties les évènements finaux (ENS cibles) générés par les sous-systèmes (figure 4.2).

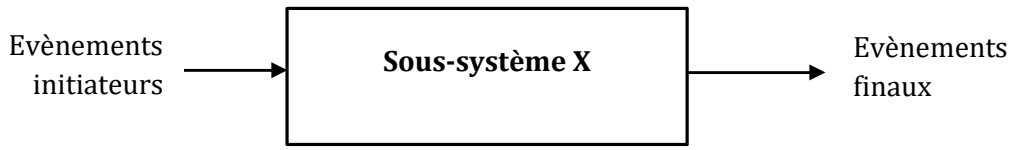


Figure 4.2 Génération de scénarios courts par le schéma des boîtes noires (Perilhon 2007)

Les scenarios courts étant établis pour chaque sous-système, nous pouvons maintenant générer des scenarios longs en faisant interagir tous les systèmes. Pour cela, les boîtes noires des sous-systèmes sont mises sur une même page. Le travail consiste à relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature (repérées en principe par les mêmes mots) avec les entrées d'autres boîtes. On obtient ainsi des scénarios longs d'enchaînements d'événements. Pour faciliter le travail, il est nécessaire d'harmoniser le vocabulaire entrées, sorties des boîtes noires (Perilhon, 2007).

Après cette construction, on a ensuite la possibilité de rassembler, sur un même accident redouté, tous les enchaînements y aboutissant. Le nombre de scénarios construits de cette façon est vite important ; on peut donc choisir, pour éviter cette explosion combinatoire, de ne garder que les événements majeurs qui apparaissent en sortie de boîtes noires. A ce niveau de l'analyse, on peut rassembler les scénarios aboutissants aux mêmes événements finaux pour construire les différents outils d'arbres logiques.

La technique des boîtes noires est un outil qui nous aide à mettre en relation des processus et à en faire apparaître d'autres. Nous sommes toujours dans une vision systémique. De ce fait, on obtient des scénarios plausibles. Pour décider s'ils sont possibles, il est nécessaire de vérifier si les enchaînements sont possibles. Pour cela, il faut évaluer quantitativement ou qualitativement les distances qui peuvent être franchies par les événements, les impacts entre les sous-systèmes et leurs effets. Ceci fait appel à

l'évaluation des scénarios que nous verrons ci-après. Il faut aussi évaluer si la probabilité des enchaînements d'événements est possible.

Dans notre cas, l'attention de l'étude porte sur les évènements responsables de quatre évènements majeurs et qui sont : Non-respect du contenu du projet, dépassement de délais, dépassement de budget et clôture d'un projet non achevé.

Ce choix a été fait pour répondre à une problématique nationale. Ces évènements représentent des situations récurrentes des projets de construction dans l'environnement Algérien.

De plus l'étude porte sur une cause importante de dysfonctionnement de projet de construction qui est l'absence de la notion d'interopérabilité des parties concernées.

2.2.3 Evaluer les risques principaux

Comme nous l'avons vu en partie ci-dessus, cette étape permet d'évaluer quantitativement, si c'est possible (par le calcul probabiliste, éventuellement à l'aide de logiciels), ou qualitativement, par travail de groupe ou le jugement d'experts, si le calcul n'est pas possible faute de données concernant les caractéristiques des différents événements identifiés et leurs interactions avec les sous-systèmes (ce qui correspond à notre cas d'étude). En termes de gestion des risques, on traduit cette analyse qualitative par le niveau de probabilité qu'un événement non souhaité se produise, et par l'importance des impacts sur le projet. Pour cela, nous avons construit les arbres de défaillances conduisant aux évènements finaux majeurs cités plus haut (non-respect du contenu du projet, dépassement de délais, dépassement de budget et clôture d'un projet non achevé).

Chaque événement élémentaire a été affecté d'une probabilité d'occurrence qui nous paraissait s'approcher le mieux de la réalité (brainstorming, concertation, lecture des articles).

2.2.4 Négocier des objectifs globaux

Le but de cette étape est à la fois de hiérarchiser les scénarios identifiés et de déterminer leur acceptabilité pour se fixer des objectifs jusqu'alors non abordés par MOSAR (Gardes, 2001). On doit donc définir l'acceptabilité des scénarios par une concertation et une négociation entre tous les acteurs. L'outil choisi est une analyse qualitative avec une grille « Gravité × Probabilité (G ×P) ». La première chose à faire est de négocier les niveaux des deux axes de la grille, cette négociation peut se faire de différentes manières (calcul, jugement d'expert, brainstorming, etc.). Après concertation avec différents acteurs locaux de la construction, nous avons choisis une grille de 5 niveaux où la classification des différentes zones à risque se base sur des couleurs (figure 4.3). La deuxième chose à faire est de situer dans la grille la frontière entre ce qui est considéré comme acceptable et ce qui est considéré comme inacceptable. Ceci constitue un deuxième niveau de négociation.

On construit ainsi une matrice pour chaque sous-système source de danger et on y introduit l'ensemble des scénarios évalués dans l'étape précédente.

Notre choix s'est porté sur la construction d'une matrice pour les scenarios générant les évènements finaux cités ci-dessus (Non-respect du contenu du projet, dépassement de délais, dépassement de budget et clôture d'un projet non achevé). Il ne reste plus après qu'à placer les scenarios dans la grille (G ×P). Suivant leur situation par rapport à la limite, ces scenarios sont alors considérés comme acceptables ou inacceptables (figure 4.3)

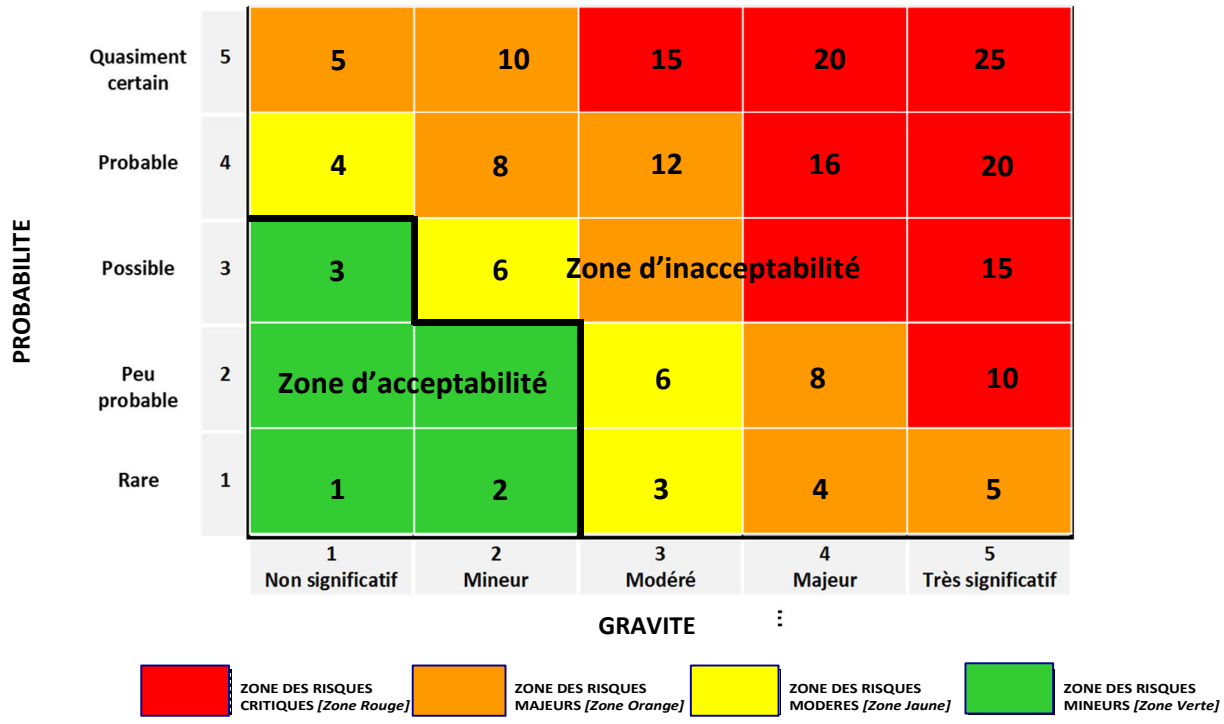


Figure 4.3 Grille d'échelle Gravité/Probabilité de l'analyse qualitative

Des objectifs sont alors définis : les risques inacceptables doivent devenir acceptables grâce à la mise en place de barrières de prévention ou de protection faisant baisser leur gravité et/ou leur probabilité pour les ramener à l'intérieur de la zone d'acceptabilité.

Remarque

On s'intéressera essentiellement aux risques des zones « chaudes » (ou zone d'inacceptabilité) de la matrice, les couleurs « jaune », « orange » et « rouge ».

2.2.5 Classement des niveaux de sévérité des risques (criticité)

A l'étape de l'analyse qualitative, le classement des risques est établi en fonction de leur sévérité ou criticité (voir tableau 4.3), ce qui permet à l'équipe projet de planifier en conséquence les niveaux d'efforts de gestion.

Tableau 4.3 Niveau de sévérité (criticité) des risques

ZONAGE	SEVERITE	ACTION
ZONE ROUGE : Risques critiques	Très élevée	Requiert des mesures immédiates
ZONE ORANGE : Risques majeurs	Elevée	Requiert une action préventive immédiate
ZONE JAUNE : Risques modérés	Modérée	Requiert une gestion proactive
ZONE VERTE : Risques mineurs	Faible	Pas d'action immédiate mais surveillance périodique

2.2.6 Définir les moyens de maîtrise de risque et les qualifier

Cette étape consiste à agir, a priori (conception) ou a posteriori (retour d'expérience), sur l'ENS dans le but de diminuer son occurrence (la probabilité d'occurrence) et/ou sa gravité et son acceptabilité. La maîtrise est donc définie comme un processus d'action et de régulation, de n'importe quel ENS émergeant du processus de danger (Lesbat, 2012). Ce dernier étant l'origine d'enchainements de quatre catégories d'ENS (ceux qui se déroulent dans la source, ceux qui constitue le flux, ceux qui se déroulent dans la cible et les ENS champ), le processus de maîtrise consiste à mettre en place des barrières de prévention et de protection pour que l'enchainement soit impossible.

La prévention est le processus de maîtrise qui consiste à diminuer au niveau le plus bas possible l'occurrence d'un ENS. Il s'agit alors d'identifier les barrières à placer au niveau du système source, de l'événement principal et des effets induits. La protection consiste à agir au niveau du flux de danger, avant son effet sur le système, ou sur le système cible lui-même, en plaçant des barrières, afin de diminuer la gravité des effets sur le processus qui s'y déroule (figure 4.4).

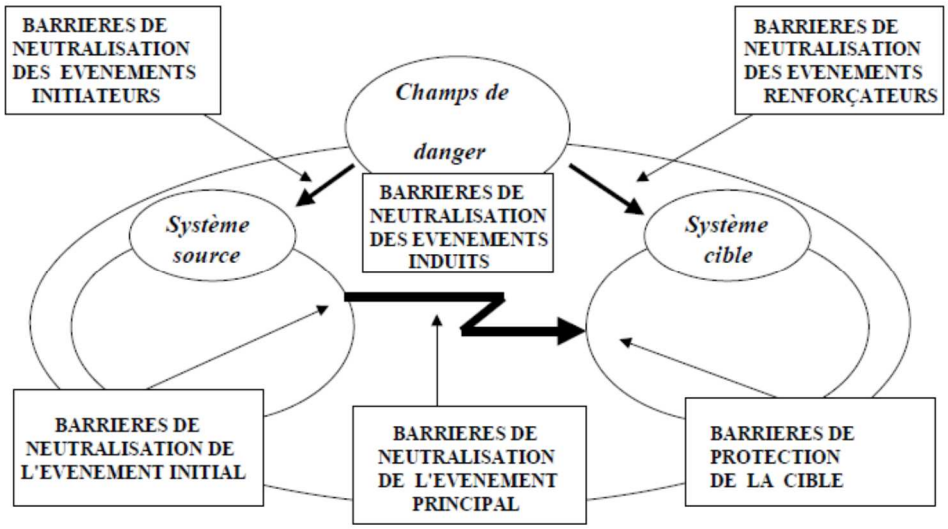


Figure 4.4 Le modèle MADS et les différents positionnements possibles de barrières (Perilhon, 2003)

Perilhon (2003) distingue deux types de barrières :

- Les barrières technologiques (BT) : Elément ou ensemble technologique faisant partie intégrante de l'installation qui s'oppose automatiquement à l'apparition d'un événement préjudiciable à la sécurité et qui ne nécessite pas d'intervention humaine.

- Les barrières opératoires ou d'utilisation (BU) : Elément nécessitant une action humaine reposant sur une consigne précise, activée ou non par un élément ou un ensemble technologique (exemples : procédure, mode opératoire, application de règles, protection individuelle, etc.). Les BU sont souvent considérées comme étant moins fiables que les BT. Elles sont en fait très sensibles à la formation des intervenants.

L'identification et la qualification des barrières sont facilitées par l'utilisation de deux type de tableaux : tableau B et tableau C. Le tableau B peut être modifié en fonction du contexte.

Le tableau C, quant à lui, une fois les barrières définies, permet de les qualifier c'est-à-dire d'aider à la fois à s'assurer que celles-ci ne créent pas de nouveaux risques mais aussi à aider à leur pérennisation dans le temps (contrôle et vérifications à infliger aux barrières, maintenance, conception, etc.). Ceci nous permettra de vérifier comment les barrières font évoluer les scenarios dans leur position dans les grilles G x P. On peut admettre, compte tenu des barrières envisagées, que gravités et probabilités sont diminuées si l'événement non souhaité est moins probable ou a des conséquences mineures. Cette décision sera prise par le groupe de travail après discussion d'évaluation.

Ceci dit, le tableau C ne sera pas fait dans notre cas d'étude et ceci en raison de problèmes de non disponibilité de procédures et de mise en place dans le chantier. Car il faut d'abord installer les différentes barrières, et observer par la suite si elles ne génèrent pas de risque et quel est leur impact.

Cette étape clôt le module A de la méthode MOSAR.

3. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE MOSAR

Pour rappel, MOSAR permet d'identifier, évaluer puis hiérarchiser les risques en proposant un choix organisé d'outils pour atteindre ces objectifs. Cependant, MOSAR n'explicite pas vraiment le contenu concret de chaque étape (Gardes, 2001), ce qui peut rendre son application difficile par des non spécialistes du risque.

Pour notre recherche appliquée au projet routier sélectionné, l'application de la méthode se focalisera essentiellement sur la phase réalisation.

3.1. Présentation du projet d'étude

Le système étudié est la bretelle principale « A », d'une longueur 4km, qui relie la ville de Tlemcen à l'autoroute Est-Ouest du PK 0.00 au PK 68.350 dans le cadre du projet de contournement de la ville de Tlemcen (figure 4.5). La bretelle est composée d'une chaussée de 2x3,5m et d'accotements de 2x1,3m. Le tableau 4.3 recense les informations sur la bretelle principale « A ».

Notre choix s'est porté sur ce cas d'étude en raison de la disponibilité des données (voir tableau 4.4), de la nature du sol (zone argileuse) ainsi que des pathologies dues aux sols.



Figure 4.5 Situation de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02

Tableau 4.4 Information sur la bretelle principale « A »

Profils en travers	- Chaussée : 2 x 3.5m ; - Accotement : 2 x 1.3m.
Nature du sol	- Argile peu plastique ; - Marne ; - Sable Argileux.
Couches de la chaussée	- Couche de roulement : 3,5cm ; - Couche de liaison : 5cm ; - Couche de base : 11cm ; - Couche de fondation : 20cm ; - Epaisseur Totale : 29,5cm.
Travaux de terrassement	- Hauteur max du remblai : 15.42m - Hauteur max du déblai : 23.49m
Situation géologique	- Existence d'un ravin en U ; - Le ravin est une rivière saisonnière ; - Eau souterraine : à 3.5m de profondeur
Topographie	- Zone constitué de collines ; relief peu accidenté ; - Altitude terrestre : 510m ; - Végétation développé.
Maitre d'ouvrage	- Agence nationale des autoroutes (ANA) (actuellement Algérienne des Autoroutes)
Assistance à Maître d'ouvrage	- DESSAU-SOPRIN (Canada)
Maître de l'œuvre/Bureau d'études	- FHCC (Chine)
Entreprises	- Groupement CITIC (China International Trust & Investment Corporation)/CRCC (China Railway Construction Corporation)
Bureau de suivi	- Groupement EGIS France/LTPO Algérie
Organisme de contrôle	- Groupement EGIS France/LTPO Algérie

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3.2. Etape par étape : résultats

3.2.1 Etape 1 : Modélisation du système et décomposition en sous-systèmes

Le système principal constituant l'objet d'étude est un projet routier sur lequel l'analyse de risque est effectuée, tout en prenant en compte les différentes composantes, leurs interactions, et les interactions avec l'environnement. En se basant sur l'étude bibliographique, les parties du projet impliquées, directement et indirectement, dans la génération d'évènements non souhaités induits par l'homme et/ou la nature ont été prises en considération. Ces sous-systèmes ont été regroupés en fonction de la nature des flux de danger générés, adossé à une analyse fonctionnelle (figure 4.6) :

- **SS1** : La chaussée, identifié comme étant critique. Ce sous système est responsable de risques géotechniques.
- **SS2** : Equipements de la route (éclairage et signalisation), qui peuvent être responsables d'accidents.
- **SS3** : Engins (de transport et de manutention), qui peuvent être responsables d'accidents, d'explosion, de mort.
- **SS4** : Ressource humaine, identifiée comme étant critique. Ce sous-système est responsable de dysfonctionnements dus à l'absence de, motivation, communication, compétence et qualification.
- **SS5** : Environnement global.
- **SS6** : Environnement spécifique.
- **SS7** : Acteurs du projet, identifié comme critique. Ce sous système est responsable de de dysfonctionnements dus à l'absence de, coordination, organisation et communication.

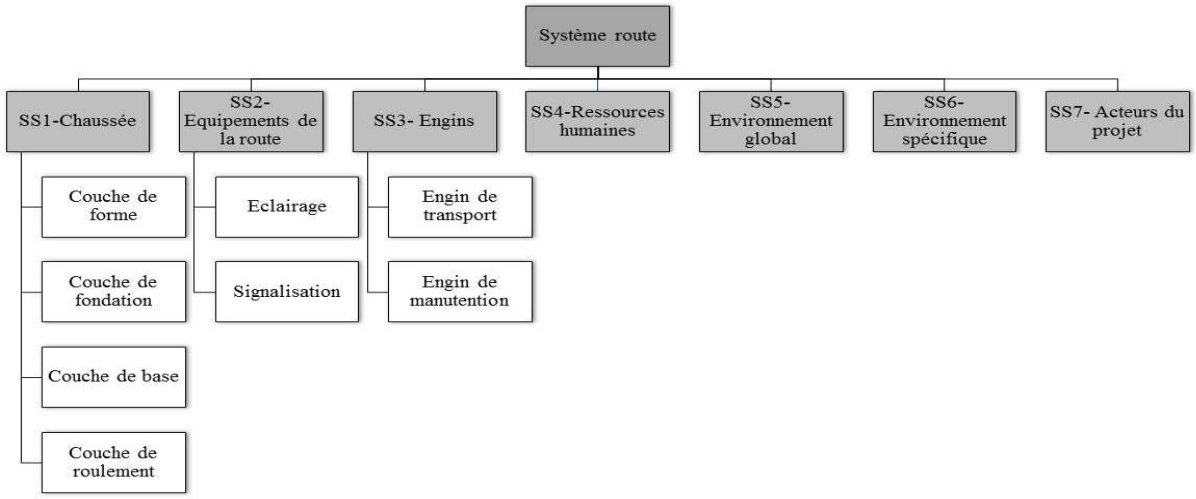


Figure 4.6 Décomposition du système route en sous-système source de danger

3.2.2 Etape 2 : Identification des sources et des processus de danger

Tel que mentionnée dans le paragraphe 2.2.2, la méthode MADS-MOSAR est basée sur l'ensemble du modèle MADS. Elle s'intéresse donc aux processus de danger issus de systèmes sources de danger qu'il faut tout d'abord identifier, ce qui induit les opérations suivantes (cf. paragraphe 2.2.2) :

- L'identification des systèmes sources de danger possible dans le projet routier. La typologie des systèmes sources de danger dans la construction donnée dans le tableau 4.1 nous servira de grille de référence pour cette identification. Il est à noter que cette typologie a été construite avant de commencer l'analyse MADS et a été enrichie au fur et à mesure de cette analyse pour s'assurer qu'elle s'adapte bien à notre problématique.
- L'identification des ENS sources possibles à partir des systèmes sources de danger.
- L'identification des évènements initiateurs pouvant gérer ces ENS sources.
- L'identification des ENS cibles possibles.

Tout cela est fait pour chaque sous-système identifié (figure 4.6) en utilisant le format du tableau 4.2. Les résultats de cette analyse systémique sont présentés dans les tableaux ci-dessous (4.5 à 4.11).

Ainsi, il a été possible d'identifier les différents évènements critiques dont les plus récurrents sont :

- Dépassement de délais ;
- Dépassement de coûts ;
- Non-respect du contenu du projet ;
- Clôture de projet non achevé.

En effet, ces évènements représentent la réalité des projets routiers dans l'environnement algérien. Un article paru sur TSA Algérie le 22 juillet 2018 intitulé « Gestion des grands projets : les trois tares de l'Algérie » par Hamid Guemache conforte les résultats trouvés : « …dans l'autoroute des gorges de la Chiffa, les pénétrantes autoroutières de Bejaia et Jijel, les stades de football de Baraki et Douera, l'autoroute Est-Ouest, les chemins de fer, les LPP, etc. Ces grands projets d'infrastructures, entièrement financés sur le budget de l'État, ont trois points en commun : délais de réalisation non respectés, surcoûts et malfaçons ». De ce fait, notre intérêt s'est porté sur la construction par la suite des arbres de défaillances conduisant à ces évènements critiques.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 4.5 Etablissement des processus de danger du sous-système Chaussées

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS1 : Chaussée		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux /Conséquences
Système source de danger (Tab 4.1)	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
E.1	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de roulement	Réalisation	- Réseau de drainage colmaté - Rupture de canalisation - Hétérogénéité du sol d'assise non reconnue et/ou non prise en compte - Séisme - Pluviométrie	- Diminution de la résistance de cisaillement du sol - Inondation de la chaussée - Liquéfaction des sols - Effondrement des cavités - Modification des propriétés des sols argileux - Diminution de la portance du sol - Portance insuffisante du sol	- Glissement de terrain - Affaissement en rive - Affaissement en surface - Effondrement - Coulée boueuse - Erosion - Tassement - Eboulement rocheux - Fissuration de la chaussée	- Retard dans l'activité - Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Dépassement de délais - Dégradation de la chaussée
D.7	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de roulement	Réalisation	- Hétérogénéité du sol non prise en compte - Couches géologiques sensibles non détectées - Mauvais suivi des conditions hydriques - Manque de compétences - Erreur humaine - Opérateurs non qualifiés - Investigations géotechniques insuffisantes - Reconnaissance de sols non effective - Mauvaise reconnaissance des propriétés physiques des sols - Incompétence du laboratoire géotechnique - Laboratoire géotechnique non accrédité ISO 17025	- Effondrement des cavités - Impossibilité d'exécution des terrassements - Investigations géotechniques complémentaires - Erreurs dans la mesure au laboratoire et in-situ	- Tassement - Affaissement en surface - Mauvais compactage - Retard dans la réalisation de l'activité	- Economie du contrat bouleversée, - Dépassement du budget - Dépassement de délais - Arrêt de chantier
D.8	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de roulement	Réalisation	- Erreur humaine - Manque de compétences - Personnel non qualifié - Mauvaise maintenance du matériel - Compactage insuffisant - Non-respect des exigences spécifiées - Non disponibilité des ressources humaines	- Dysfonctionnement des machines - Non disponibilité d'engins - Non-conformité des travaux	- Déformation de la chaussée - Fissuration de la chaussée - Retard dans de l'activité	- Dépassement du budget - Dépassement de délais - Arrêt de chantier - Non-respect du contenu du projet
D3	Couche de forme Couche de fondation Couche de base Couche de roulement	Réalisation	- Manque de compétence - Non-respect des normes - Erreurs humaines - Absence de contrôle - Non disponibilité des zones d'emprunt au voisinage	- Matériaux non conformes aux spécifications - Matériaux trop chers	- Fissuration de la chaussée - Insuffisance des ressources budgétaires	- Dépassement du budget - Dépassement de délais - Arrêt de chantier - Non-respect du contenu du projet

Tableau 4.6 Etablissement des processus de danger du sous-système Equipements

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS2 : Equipements		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux /Conséquences
Système source de danger (Tableau 4.1)	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
D1 F2	- Equipement d'éclairage - Main d'œuvre	Réalisation	- Dysfonctionnement du matériel - Matériel non conforme - Matériel non fiable - Matériel défectueux - Absence ou manque de contrôle - Absence ou manque de maintenance - Personnel non qualifié - Manque de compétence - Erreur humaine	- Manque de luminosité - Absence de luminosité	- Accidents - Utilisation de matériel non fiable	- Conflits socio-professionnels - Non-respect du contenu du projet - Dépassement de budget - Dépassement de délais - Arrêt de chantier
D1 F2	- Equipement de signalisation - Main d'œuvre	Réalisation	- Matériel non conforme - Panneau de signalisation endommagé - Absence ou manque de contrôle et de maintenance - Personnel non qualifié - Manque de compétence - Erreur humaine	- Dégradation des équipements - Mauvaise installation des équipements	- Accidents - Utilisation de matériel non conforme à la règlementation (signalisation et affichage non conforme à la réglementation)	- Conflits socio-professionnels - Non-respect du contenu du projet - Dépassement de budget - Dépassement de délais - Arrêt de chantier

Tableau 4.7.a Etablissement des processus de danger du sous-système Engins

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS3 : Engins		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux/conséquences
Système source de danger (cf. Tableau 1)	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
A1 D2 F2	- Engins - Conducteur d'engin	Réalisation	- Matériel défectueux - Crevaison de pneu et non disponible - Malveillance - Imprudence - Mauvaise utilisation - Erreur humaine - Mauvais choix du fournisseur - Prise de décision inappropriée - Personnel non qualifié - Absence ou manque de : - Maintenance préventive - Maintenance curative - Essence de mauvaise qualité - Non prise en compte des spécifications - Fournisseur non qualifié	- Engin ne démarre pas	- Engin hors service - Accident - Blessures - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Dépassement de délais - Conflits socio-professionnels - Dépassement de budget - Grève
B1	- Engins - Conducteur d'engin - Activité ou Projet	Réalisation	- Fatigue - Conducteur incompétent - Stress - Sabotage - Défaillance technique - Malveillance - Imprudence - Signalisation insuffisante - Fortes précipitations - Choc avec élément externe (bloc, arbre, engin) - Manque de formations (risques, HSE) - Erreur humaine	- Renversement de l'engin - Collisions engins-engins, engins-obstacles	- Accident - Blessures - Destruction de l'engin - Explosion - Mort - Conflits socio-professionnels	- Arrêt de chantier - Retard dans l'activité - Dépassement de délais - Grève - Dépassement de budget

Tableau 4.7.b Etablissement des processus de danger du sous-système Engins

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS3 : Engins		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux/conséquences
Système source de danger (Tableau 4.1)	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
E 3	- Conducteur d'engin - Projet	Réalisation	- Maladie - Fatigue - Stress - Epidémie - Contamination du conducteur	- Renversement de l'engin - Collisions engins-engins, engins-obstacles	- Accident - Destruction de l'engin - Mort - Retard de l'activité - Blessures	- Arrêt de chantier - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Dépassement de budget
F5 F6	- Engins - Conducteur d'engin	Réalisation	- Mauvaise planification des ressources - Mauvaise organisation des ressources - Maladie	- Encombrement au sol - Absence de conducteur	- Retard d'activité - Conflits socio-professionnels	- Dépassement de délais - Dépassement de budget - Arrêt de chantier - Grève
E1	- Engins - Main d'œuvre	Réalisation	- Malveillance - Imprudence - Fatigue - Stress - Forte précipitations - Manque de formations (risques, HSE)	- Renversement de l'engin - Collisions engins-engins, engins-obstacles	- Mort - Blessures - Destruction de l'engin - Accident	- Arrêt de chantier - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Grève

Tableau 4.8.a Etablissement des processus de danger du sous-système Ressources Humaines

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS4 : Ressource humaine		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux /Conséquences
Système source de danger cf. Tableau 4.1	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
B1 F1 F2	- Main d'œuvre - Activité	Réalisation	- Manque de compétences - Personnel non qualifié - Maladresse - Fatigue - Manque de concentration - Stress - Manque de compréhension - Manque de motivation - Mauvaise décision - Absence de consignes - Mauvais recrutement - Mauvaise coordination - Manque d'informations - Manque de communication - Manque de suivi et de contrôle - Qualité des rapports de suivi - Manque d'organisation - Manque de formations (risques, HSE, communication)	- Manque d'efficacité - Organisation déficiente	- Retard d'activité - Non-conformité des taches - Accidents - Malfaçons	- Arrêt de chantier - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Non-respect du contenu du projet - Grève
E4	- Main d'œuvre - Activité	Réalisation	- Manque de motivation - Manque de sécurité - Absence d'un système de sécurité dans le chantier - Mauvaise affectation des taches - Manque de moyens et de confort - Absence d'équipements de protection et de sécurité - Absence de formations (Risques, HSE, communication)	- Diminution de la productivité - Manque d'efficacité - Organisation déficiente	- Retard d'activité - Non-conformité des taches - Accidents - Malfaçons	- Conflits socio-professionnels /Grev - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Non-respect du contenu du projet - Arrêt de chantier

Tableau 4.8.b Etablissement des processus de danger du sous-système Ressources Humaines

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS4 : Ressource humaine		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux /Conséquences
Système source de danger cf. Tab. 4.1	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
E3 E5	- Main d'œuvre - Activité	Réalisation	- Insalubrité des lieux (hygiène) - Absence d'un système d'hygiène et de sécurité - Malade mal soigné	- Contamination	- Epidémie - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Grève
E1	- Main d'œuvre	Réalisation	- Insolation - Exposition prolongée au rayonnement solaire - Horaires de travail non adaptés - Absence d'équipements de protection individuelle - Absence d'un système de sécurité dans le chantier	- Manque d'efficacité	- Accidents	- Arrêt de chantier - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Grève
D8 F2 F1	- Main d'œuvre - Activité	Réalisation	- Manque de compétence - Manque de motivation - Personnel non qualifié - Manque de consignes - Manque d'information - Manque de suivi et de contrôle - Mauvais recrutement (choix des ressources) - Non-respect des prescriptions - Manque de communication	- Mal façons - Mauvaise exécution des procédés de construction	- Retard d'activité - Non-conformité des taches - Accidents - Malfaçons -	- Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Dépassement de budget - Non-respect du contenu du projet - Arrêt de chantier - Grève

Tableau 4.9.a Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement Global

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS5 : Environnement Global		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux / Conséquences
Système source de danger Tableau 4.1	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
A1 F6	- Matériel, matériaux - Projet	Réalisation	- Erreur humaine - Abus de monopole - Difficultés financières - Pression du maitre d'ouvrage - Non prise en compte des exigences et spécifications - Mauvais choix des co-contractants - Mauvaise décision	- Non-respect des contrats - Retard de livraison	- Livraison de matériel non conforme - Economie du contrat bouleversée - Retard sur la réalisation des activités - Livraison de matériaux non conforme	- Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais
A2	- Projet	Réalisation	- Mauvaise planification des ressources - Erreur humaine - Manque de compétence - Absence de suivi et de critère d'évaluation - Inflation - Crise économique	- Non-respect des contrats - Factures et situations non honorées	- Retard sur la réalisation des activités - Economie du contrat bouleversée	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Non-respect du contenu
A3	- Projet	Réalisation	- Non prise en compte de l'inflation - Mauvaise estimation des ressources - Manque de compétence - Erreur humaine	- Non-respect des contrats - Factures et situations non honorées	- Retard sur la réalisation des activités - Economie du contrat bouleversée	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Non-respect du contenu
B1	- Projet	Réalisation	- Manque de communication - Manque de coordination - Mauvaise interprétation de l'information - Manque de compétence - Manque de qualification - Manque de motivation - Manque de procédures de suivi et de contrôle - Mauvais choix des ressources humaines (recrutement) - Manque de leadership - Méthodes de communication non adaptés ou non efficaces - Manque de transparence dans la diffusion de l'information - Défaillance dans le processus de décision	- Travaux non conforme aux cahier des charges et règles de l'art - Pas de cohésion dans les équipes	- Retard sur la réalisation des activités	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Grève - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet

Tableau 4.9.b Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement Global

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS5 : Environnement Global		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux / Conséquences
Système source de danger Tableau 4.1	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
C1	- Ressource humaine - Projet	Réalisation	- Sentiment d'injustice - Absence de sécurité - Absence de motivation - Non-respect des droits des ressources humaines - Non-respect des exigences de protection de l'environnement	- Taches non effectuées - Conflits sociaux professionnels	- Retard dans l'activité - Grève	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet
D1	- Projet - Main d'œuvre	Réalisation	- Erreur humaine - Manque de compétence - Non-respect des spécifications - Manque de qualification - Manque de motivation - Manque de suivi et de contrôle - Manque de communication - Mauvaise interprétation des exigences	- Livraison d'équipements non conformes	- Accident - Blessure - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Conflits professionnels (fournisseurs) - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet
D2	- Projet - Main d'œuvre	Réalisation	- Utilisation de matériel non fiable non conforme - Manque de qualification pour la maintenance - Manque de maintenance – curative préventive - Personnel non qualifié - Personnel non compètent - Pas de disponibilité de pièces de rechange	- Engins en panne	- Accident - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Conflits professionnels (fournisseurs) - Dépassement de délais - Non-respect du contenu
D3	- Projet	Réalisation	- Erreur humaine - Utilisation de matériaux non conforme aux normes - Propriété des matériaux plus faible que celle escomptées lors de la conception - Personnel non qualifié, non compètent - Absence de procédures de gestion et des stocks - Absence de procédures de contrôle de matériaux - Nécessité de prendre les matériaux disponibles (impératifs de délais)	- Détérioration des matériaux (corrosion, humidité) - Livraison de matériau non conforme - Matériaux nouveaux mal maitrisés	- Retard dans l'activité - Non-conformité des travaux - Malfaçons	- Dépassement de budget - Conflits professionnels (fournisseurs) - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet

D6	- Projet	Réalisation	- Erreur humaine - Manque de compétence - Personnel non qualifié - Manque de suivi et de contrôle - Non-respect des prescriptions - Non-respect des normes et des règles	- Présence de fissures dans la chaussée	- Non-conformité des travaux - Retard dans l'activité - Malfaçons	- Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Arrêt de chantier - Non-respect du contenu
D8	- Projet - Main d'œuvre	Réalisation	- Erreur humaine - Manque de compétence - Personnel non qualifié - Manque de suivi et de contrôle - Pression du temps et du coût	- Malfaçons - Instabilité du sol	- Accident - Retard dans l'activité	- Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet - Arrêt de chantier
D3	- Main d'œuvre	Réalisation	- Erreur humaine - Manque de compétence - Personnel non qualifié - Non-respect des règles (température d'application, produit utilisé) - Manque de suivi et de contrôle - Non-respect des règles de mise en œuvre - Absence d'équipements protection et sécurité	- Fumées bleutées excessive - Toxicité de fumée - Température élevée de Bitume - Projection de liquide chaud	- Maladies - Brûlures - Accident - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet
E1	- Projet	Réalisation	- Erreur humaine - Réseau de drainage colmaté - Manque de compétence - Forte pluviométrie - Manque de processus de suivi et de contrôle	- Sol instable - Inondation	- Mouvements de terrain - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet
E3 E5	- Main d'œuvre	Réalisation	- Insalubrité des lieux - Manque d'équipements sanitaires - Manque d'hygiène	- Maladies - Contamination	- Epidémie - Retard dans l'activité	- Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Conflits socio-professionnels - Dépassement de délais - Non-respect du contenu
G3	- Projet	Réalisation	- Instabilité politique - Changement de gouvernement - Gel des projets en cours - Crise économique	- Arrêt de financement	- Arrêt de chantier	- Conflits socio-professionnels - Clôture projet (non achevé)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 4.10 Etablissement des processus de danger du sous-système Environnement Spécifique

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS6 : Environnement Spécifique		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènements finaux / Conséquences
Système source de danger cf. Tab 1	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
A1	- Projet - Matériel/Matériau	Réalisation	- Erreur humaine - Difficulté financière - Abus de monopole - Mauvaise décision - Pression du maitre de l'ouvrage - Non prise en compte des exigences et spécifications - Mauvais choix des co-contractants	- Non-respect des contrats	- Livraison de matériau non conforme - Livraison de matériel, non conforme - Non-conformité des travaux réalisés	- Dépassement de budget - Conflits professionnels (fournisseurs) - Dépassement de délais - Non-respect du contenu du projet - Arrêt de chantier

Tableau 4.11 Etablissement des processus de danger du sous-système Acteurs du projet

Etablissement des processus de danger Sous-Système Source SS7 : Acteurs du projet		Phases de vie	Evènements initiateurs	Evènements initiaux	Evènements principaux	Evènement finaux / Conséquences
Système source de danger (cf. Tableau 1	Cibles des systèmes sources de danger		Internes / Externes			
C.6 – C 7- C.3	- chaussée	Réalisation	- Manque de compétences - Défaut d'expérience - Mauvaise interprétation des spécifications - Choix inapproprié des modalités de mise en œuvre - Non-respect des exigences spécifiées - Mauvais drainage - Mauvaise définition des documents descriptifs de l'ouvrage (Cahier des charges)	- Remblai insuffisamment compacté - Epaisseur insuffisante - Portance de l'arase terrassement insuffisante - Nivellement de couche de forme non conforme - Perte de portance du sol - Augmentation de la teneur en eau du sol	- Affaissement en rive - Glissement de terrain - Fissuration de la chaussée	- Retard dans l'activité - Dépassement de délais - Economie du contrat bouleversée - Arrêt de chantier - Dépassement de budget - Non-respect du contenu
F.8	- chaussée	Réalisation	- Modélisation simplificatrice et réductrice du contexte géotechnique du site - Reconnaissance partielle - Hétérogénéité du sol non prise en compte - Erreur humaine - Manque de compétence - Personnel non qualifié - Investigations géotechniques insuffisantes - Programme d'investigation mal défini par le maitre d'ouvrage - Missions géotechniques mal définies	- Investigation géotechnique complémentaire	- Déformation de la chaussée	- Arrêt de chantier - Dépassement du budget - Economie du contrat bouleversée - Non-respect du contenu - Retard dans l'activité - Dépassement de délais

F.2	- chaussée	Réalisation	- Erreur humaine - Manque de compétences - Manque d'entretien - Personnel non qualifié - Absence de contrôle - Absence de procédures de suivi et de contrôle - Contrôle de portance non effectué - Contrôle d'arase terrassement non effectué - Matériau non conforme utilisé dans un corps de remblai - Point d'arrêt non défini dans les documents - Matériel de contrôle non étalonné	- Portance du sol faible - Portance de l'arase de terrassement insuffisante - Drain colmaté - Point d'arrêt non respecté - Remblai achevé insuffisamment compacté - Nivellement de couche de forme non traité, non conforme	- Déformation de la chaussée - Fissuration de la chaussée - Glissement de terrain	- Arrêt de chantier - Dépassement de délais - Non-respect du contenu - Dépassement de budget - Retard dans l'activité
F.6	- Projet	Réalisation	- Mauvaise organisation - Mauvaise décision - Absence de système de communication	- Flottement de la prise de décision - Naissance de la rumeur	- Conflits professionnels	- Retard dans l'activité - Non-respect du contenu du projet - Dépassement de délais - Dépassement de budget

L'étape d'identification des sources de danger constitue le fondement de l'analyse des risques (Elhajj, 2013). Elle a permis d'avoir une vision relativement exhaustive des évènements non souhaités d'un projet routier et de construire des scénarios courts.

Ainsi, suite à l'analyse MADS, il a été possible d'identifier :

- en quoi chaque sous-système peut être source de danger ;
- les processus de danger que peuvent générer les systèmes sources par rapport aux systèmes cibles qu'ils peuvent atteindre. Il s'agit des scénarios courts d'accidents ;
- l'identification des évènements critiques pris en compte dans cette étude**.**

Suite au développement des tableaux 4.5 à 4.11, il est possible de représenter chaque sous-système sous forme de boîtes noires dont les entrées sont les évènements initiateurs et les sorties les évènements finaux (ENS cibles) générés par les sous-systèmes.

Dans la représentation des boîtes noires, nous avons fait le choix de schématiser tout le processus d'enchaînement des évènements non souhaités, c'est à dire : les évènements initiateurs qui génèrent des évènements principaux puis les évènements finaux, et ceci pour plus de lisibilité.

Les figures qui suivent (figure 4.7 à 4.13) schématisent les processus des boîtes noires ainsi que la genèse des scénarios courts.

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

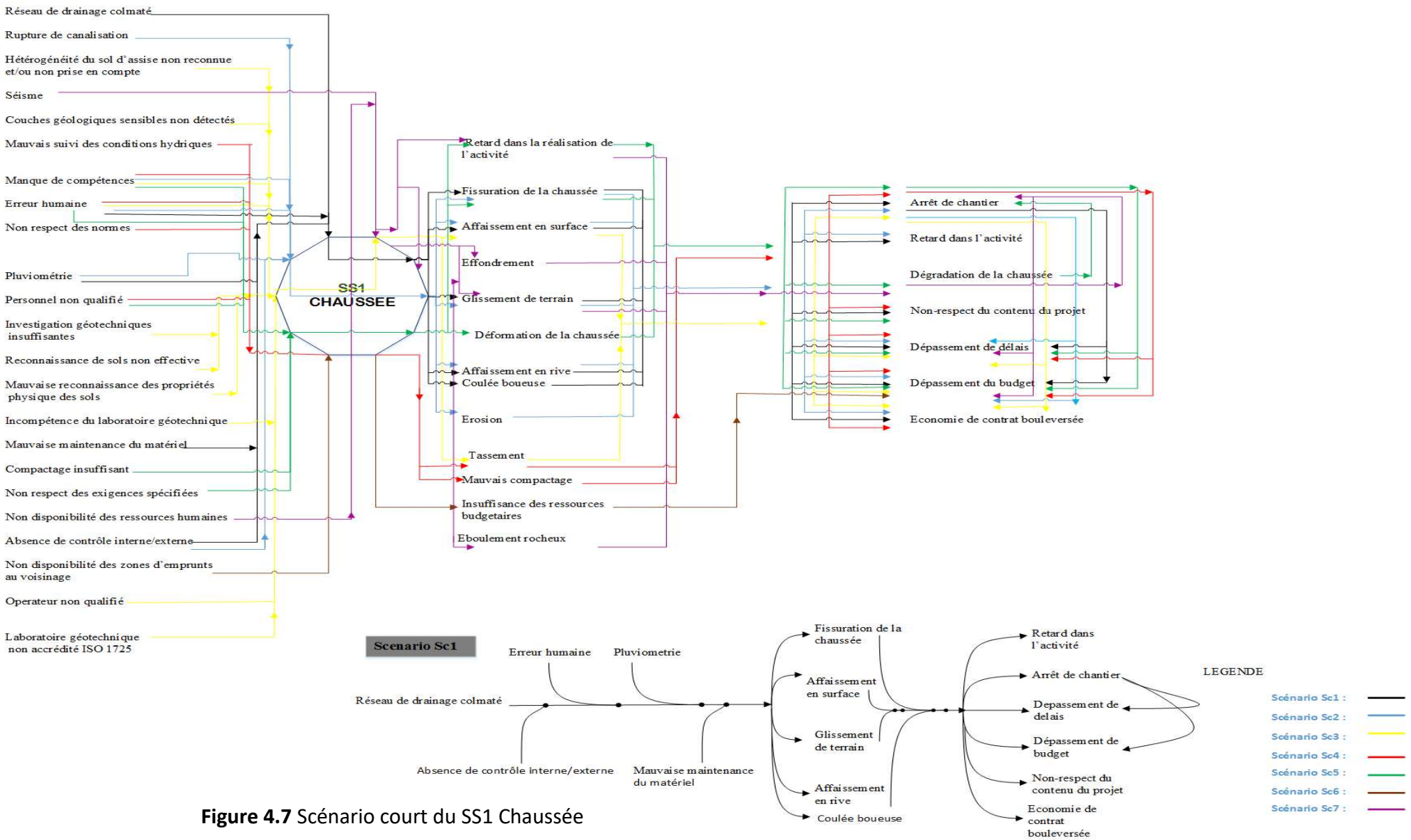
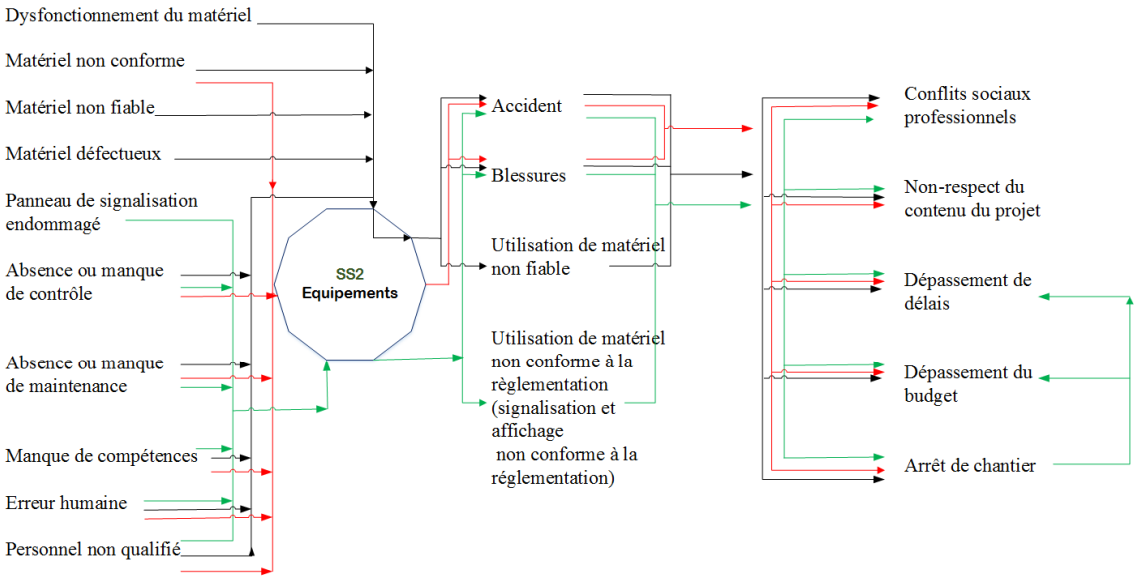


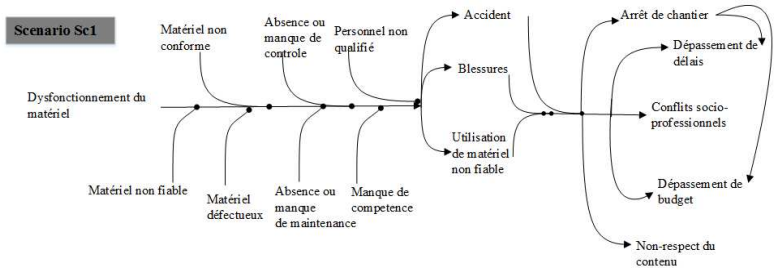
Figure 4.7 Scénario court du SS1 Chaussée

EVENEMENTS INITIATEURS

EVENEMENTS PRINCIPAUX

EVENEMENTS FINAUX/ CONSEQUENCES





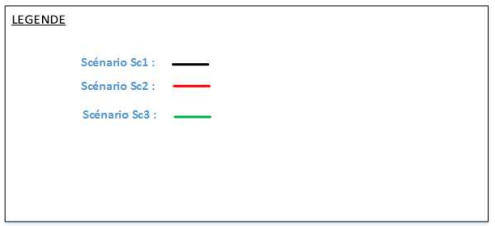


Figure 4.8 Scénario court du SS2 Equipements

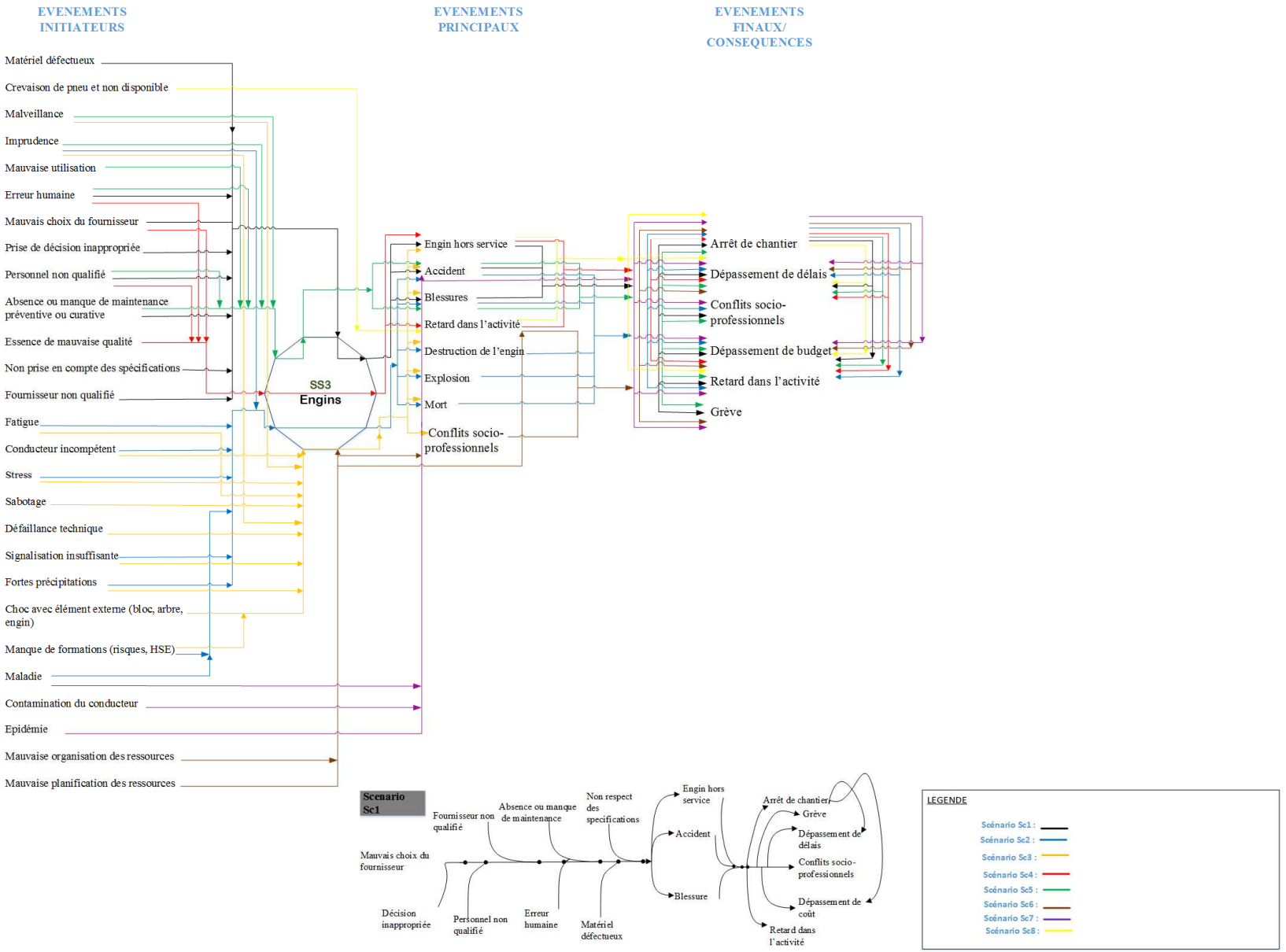


Figure 4.9 Scénario court du SS3 Engins

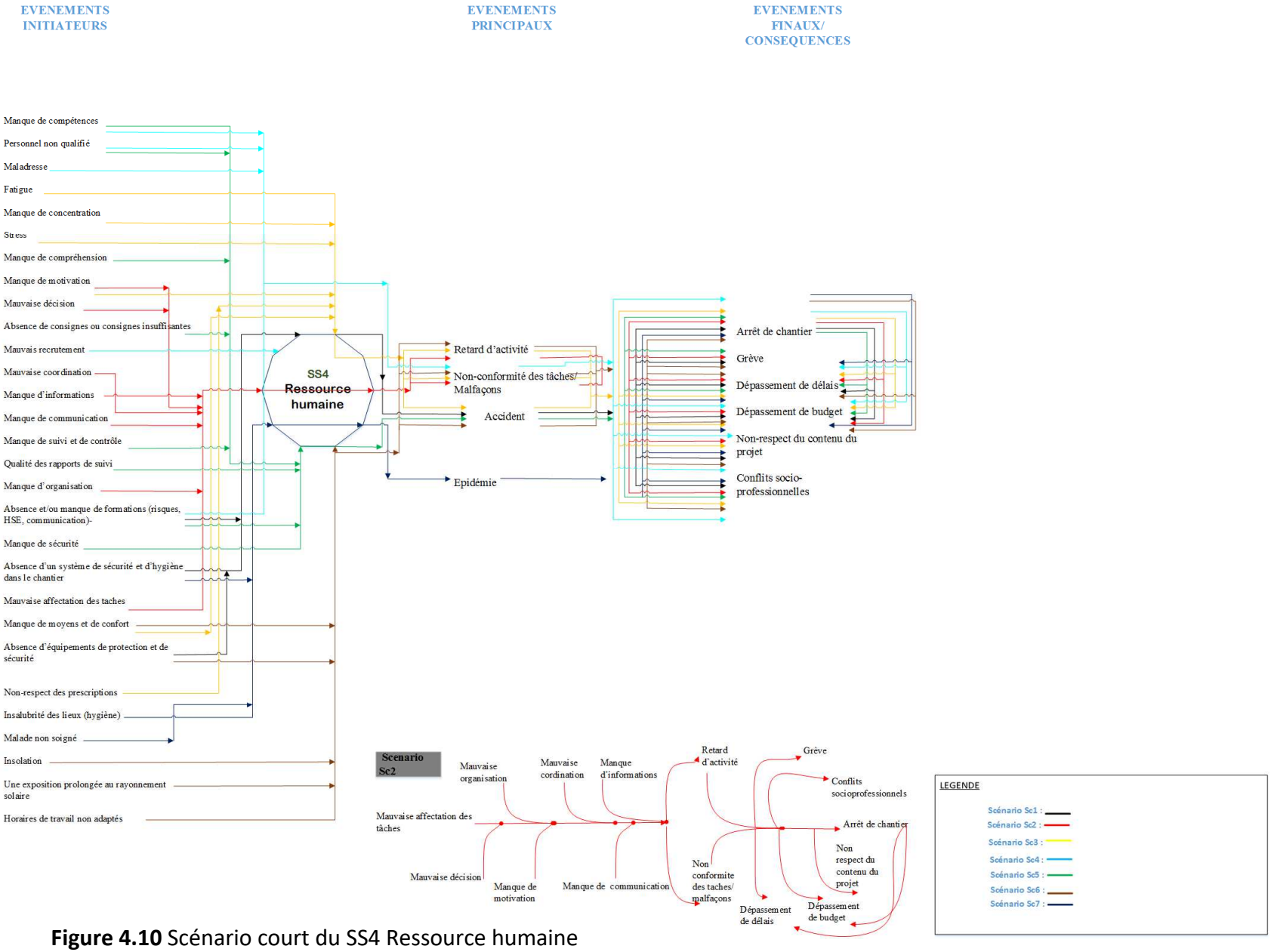


Figure 4.10 Scénario court du SS4 Ressource humaine

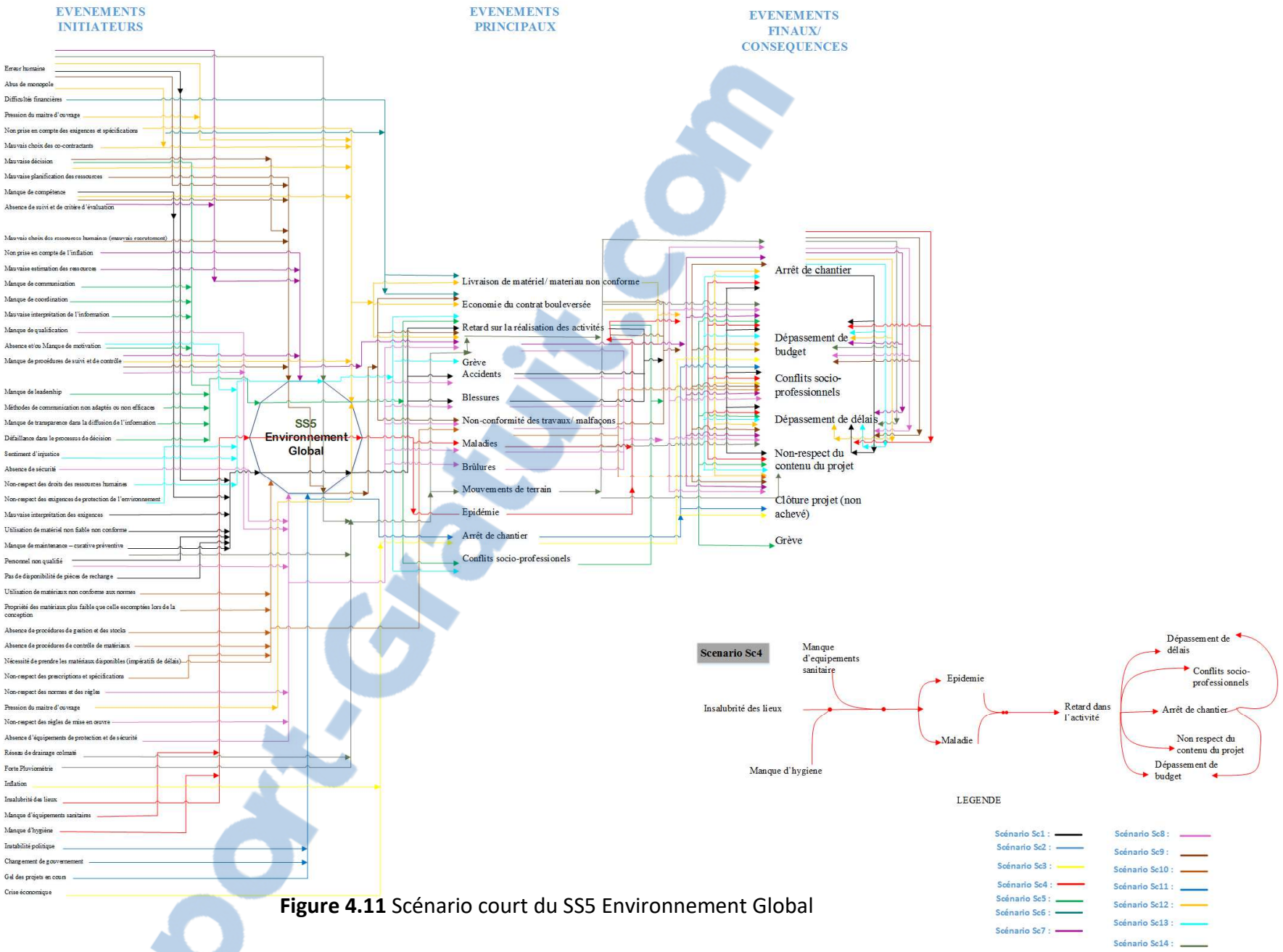


Figure 4.11 Scénario court du SS5 Environnement Global

Support-Gratuit.com

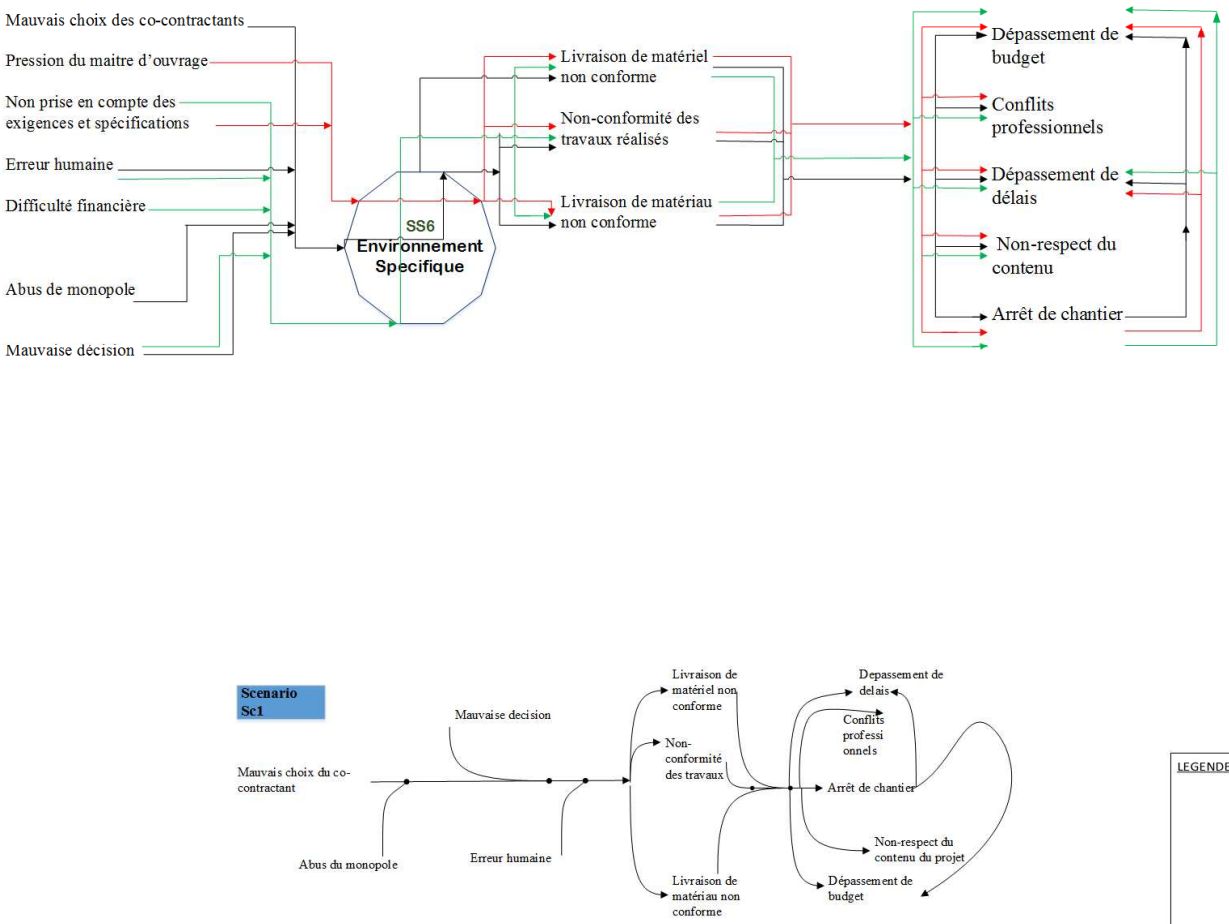


Figure 4.12 Scénario court du SS6 Environnement Spécifique

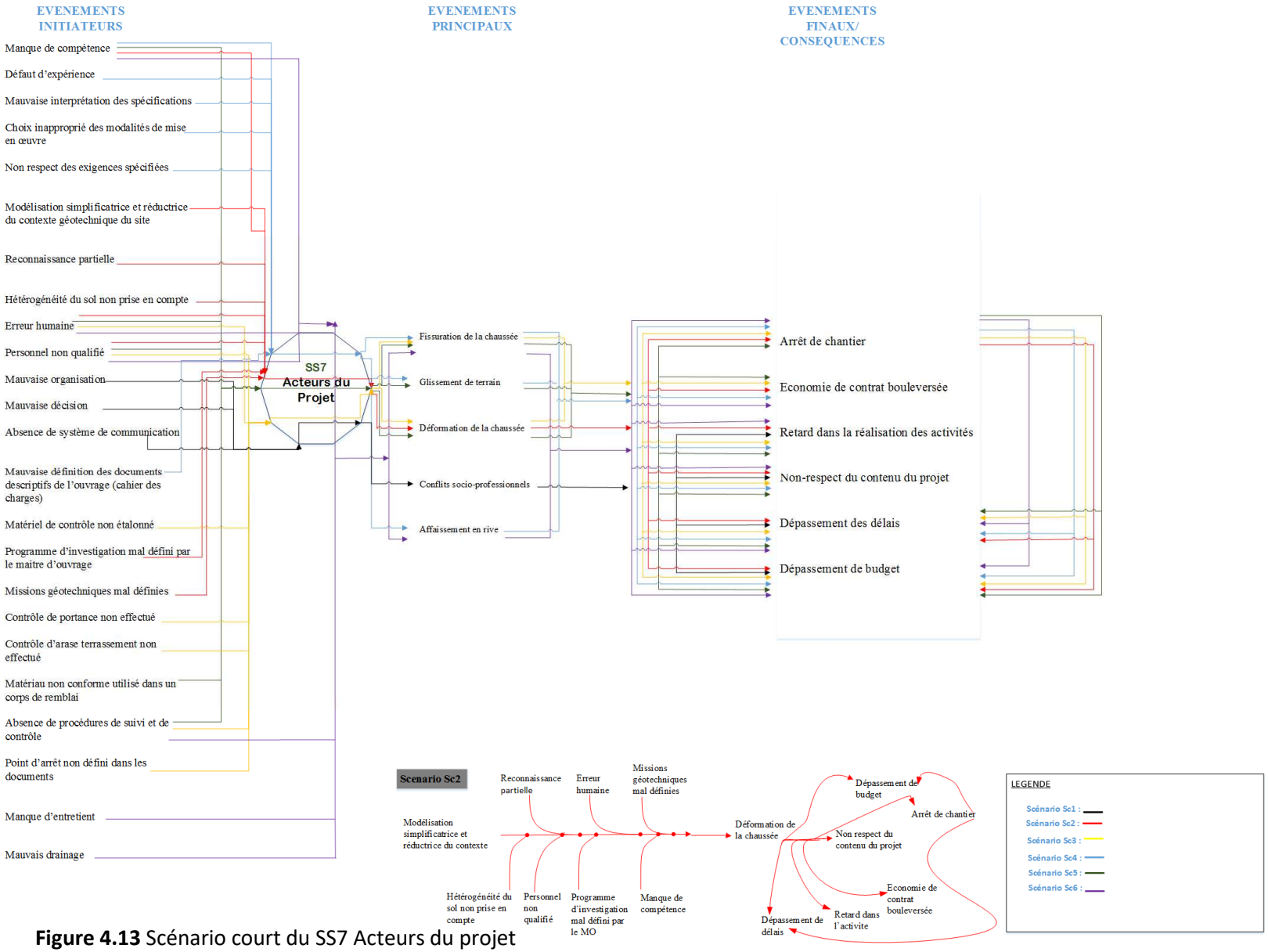


Figure 4.13 Scénario court du SS7 Acteurs du projet

Les scenarios courts étant établis pour chaque sous-système, nous pouvons maintenant générer des scenarios longs en faisant interagir tous les systèmes On obtient ainsi des scénarios longs d'enchaînements d'évènements ou scénarios principaux d'ENS (figures 4.14a, 4.14b, 4.14c, 4.14.d et 4.14e).

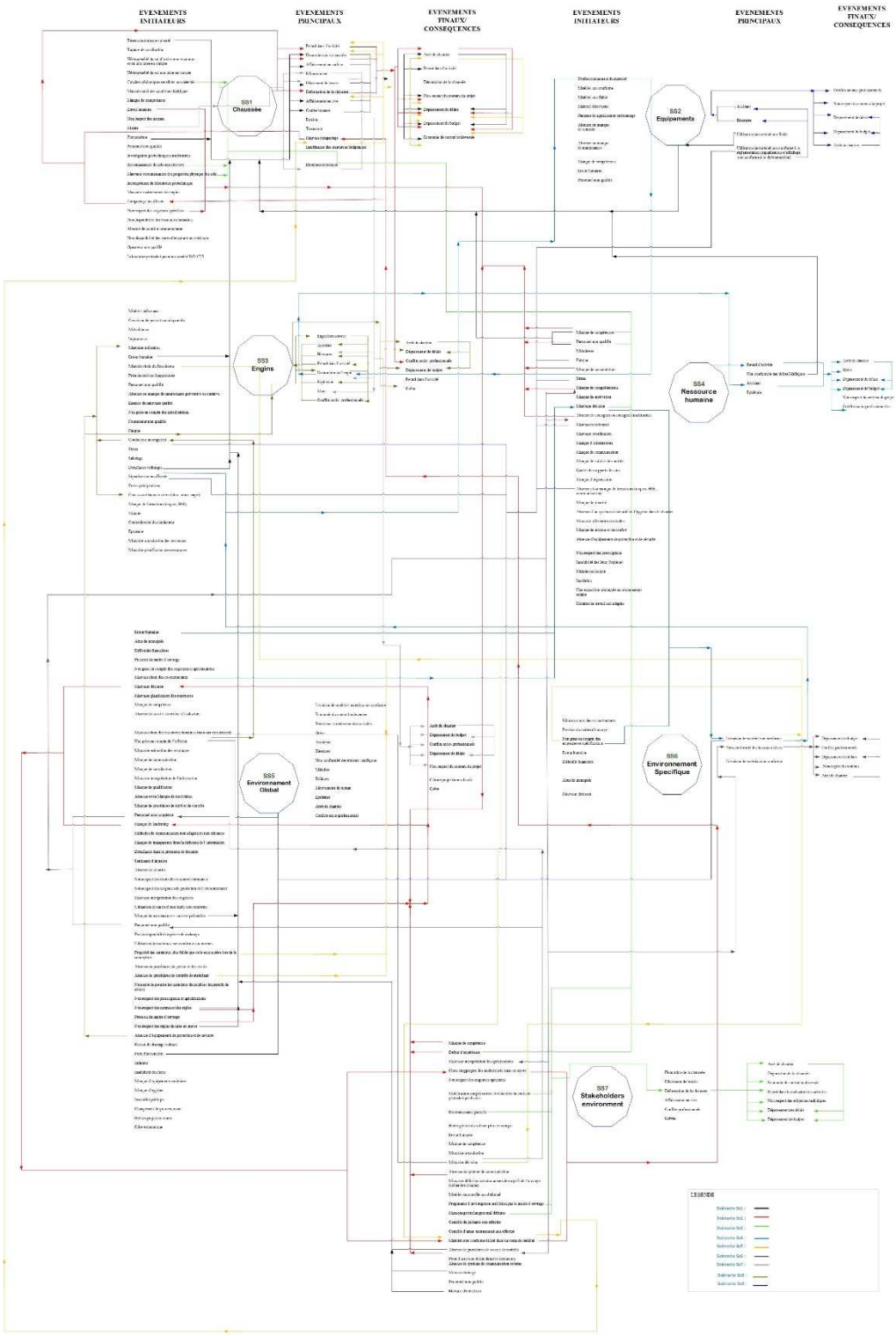


Figure 4.14.a Scénarios longs d'enchainement d'événements

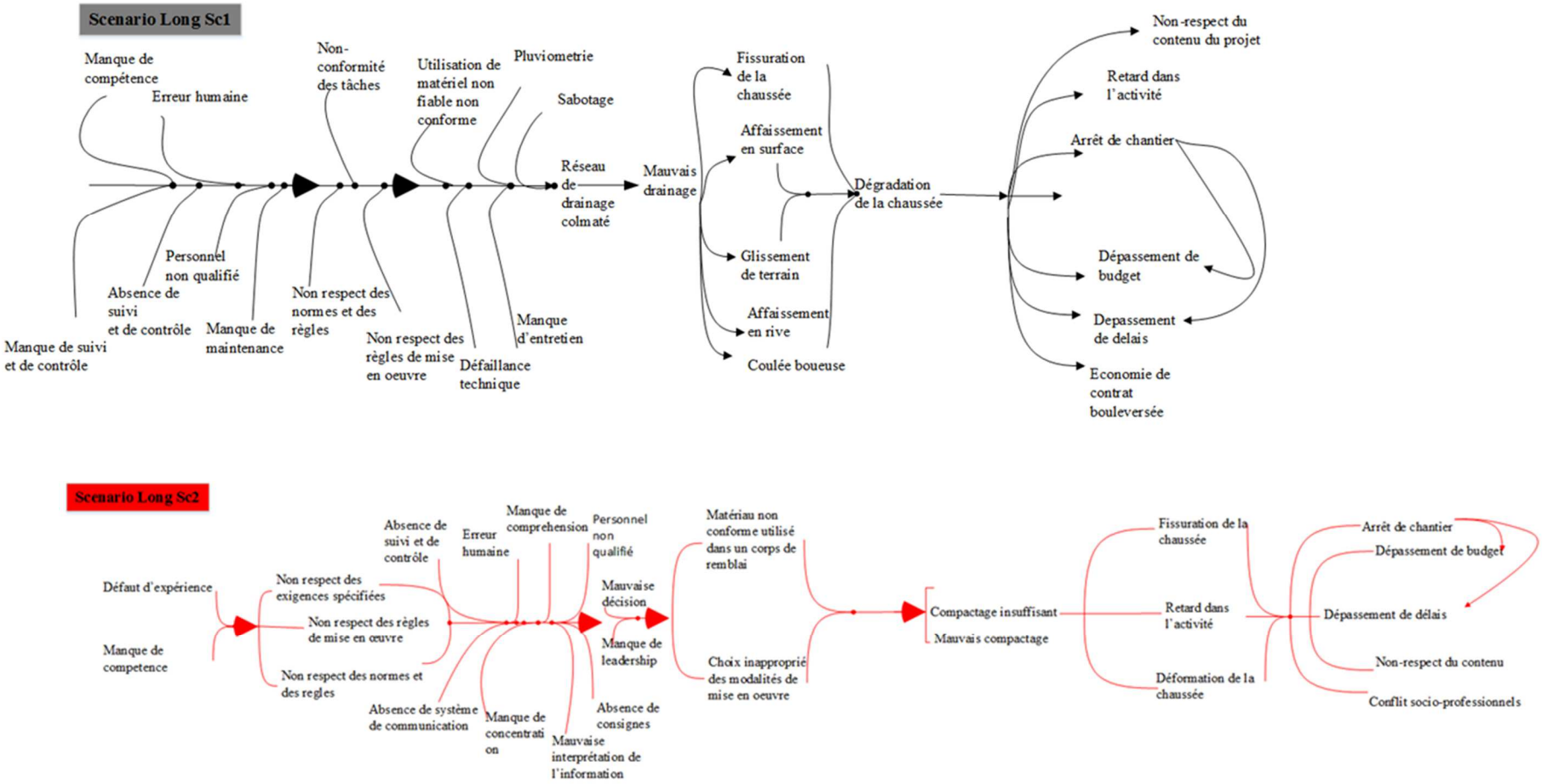


Figure 4.14.b Scénarios longs d'enchainement d'événements

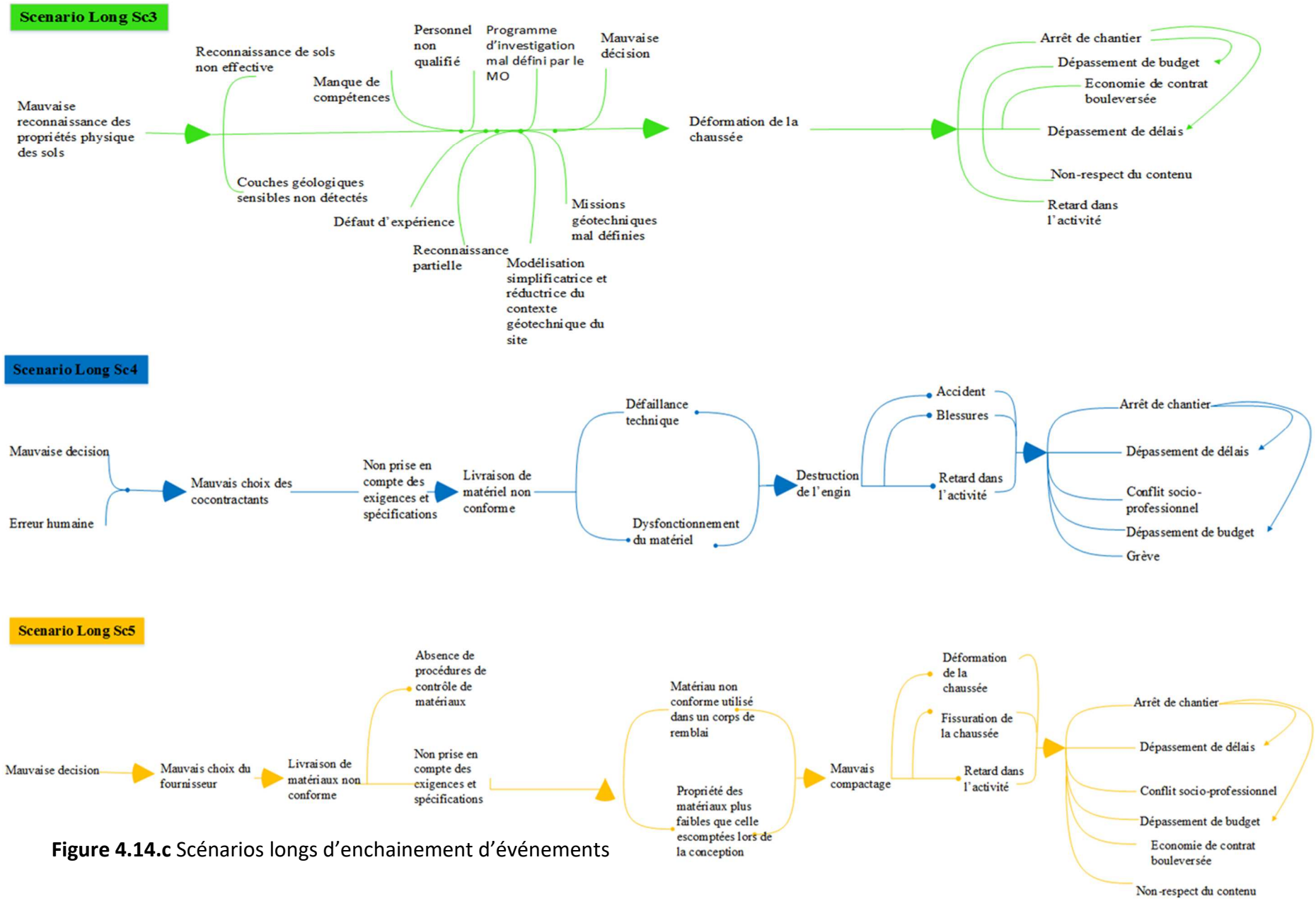


Figure 4.14.c Scénarios longs d'enchainement d'événements

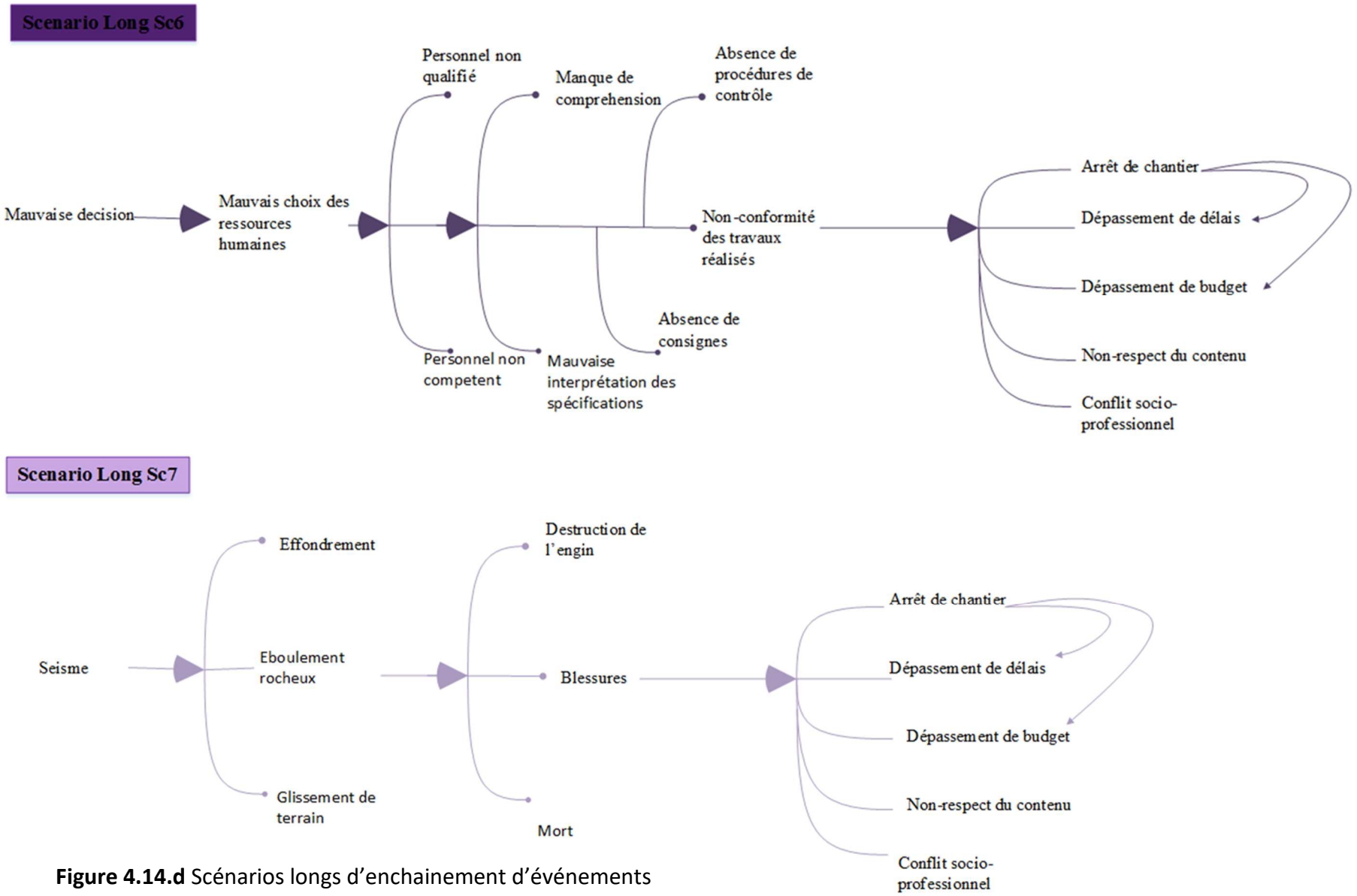


Figure 4.14.d Scénarios longs d'enchainement d'événements

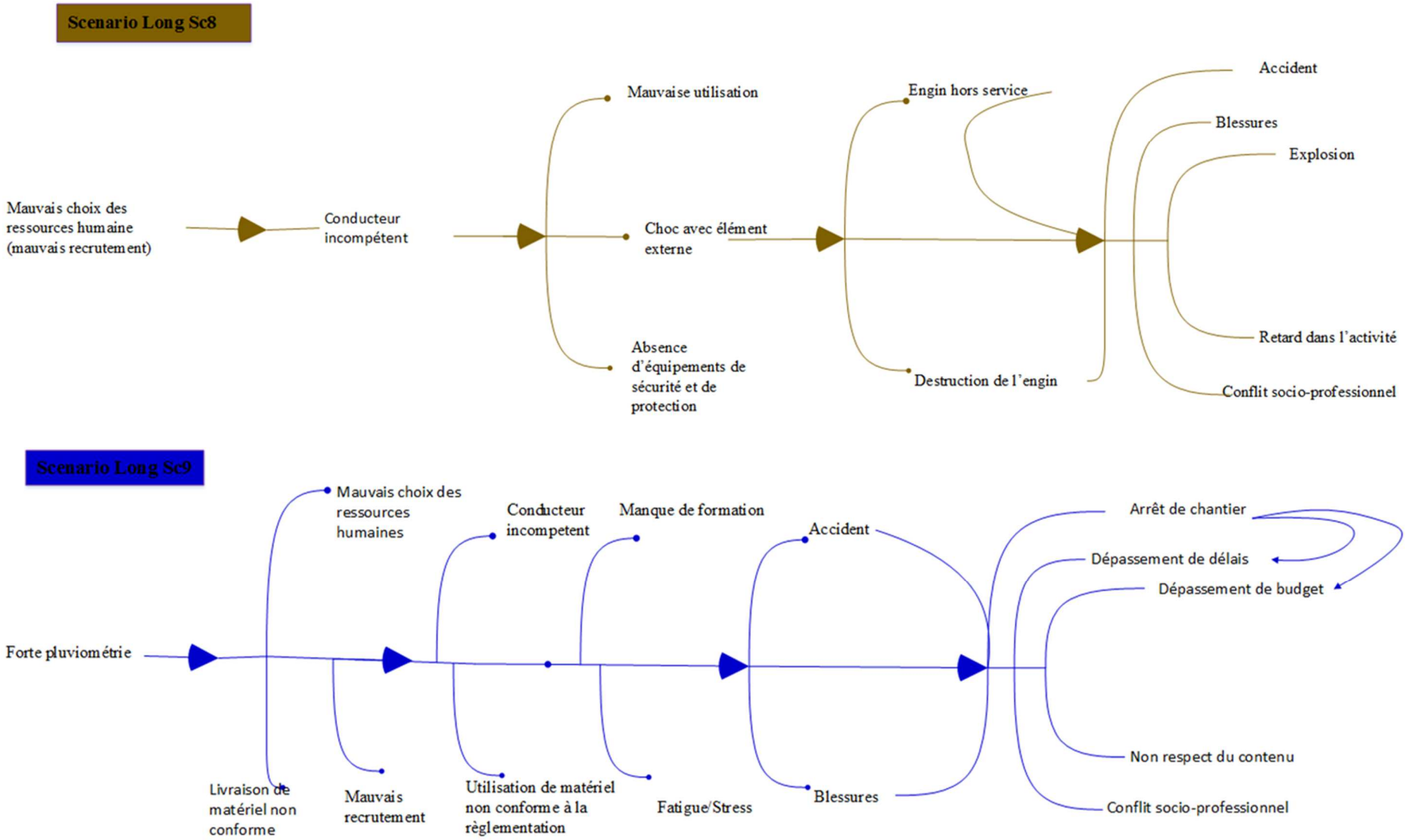


Figure 4.14.e Scénarios longs d'enchainement d'événements

3.2.3 Etape 3 : Evaluer les risques principaux

Comme il a été précisé antérieurement, l'analyse MADS a permis d'identifier 4 évènements critiques :

- Dépassement de délais ;
- Dépassement de coûts ;
- Non-respect du contenu du projet ;
- Clôture de projet non achevé.

Grace à l'analyse de risque précédente et notamment la représentation des boîtes noires, il va être possible de construire les quatre scénarios concourant à la réalisation de ces quatre événements critiques.

Ces scénarios sont représentés sous forme d'arbre de défaillances (figure 4.15 à 4.18).

Ces arbres de défaillance représentent d'une façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui, dans certaines conditions, produisent un des quatre événements critiques identifiés ci-dessus. La ligne la plus haute ne comporte que l'événement dont on cherche à décrire comment il peut se produire (Dépassement de délais, Dépassement de coûts, Non-respect du contenu du projet, Clôture de projet non achevé). Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont représentées par des liens logiques « ou » ou « et ».

On utilise ensuite cette représentation pour calculer la probabilité de l'événement redouté à partir des probabilités des événements élémentaires qui se combinent pour le provoquer. Ainsi, l'évaluation des risques a été faite quantitativement. Chaque événement élémentaire a été affecté d'une probabilité d'occurrence qui nous paraissait la plus plausible compte tenu du retour d'expérience des experts composant le panel.

Malheureusement, les informations portant sur la probabilité de survenances d'évènements non souhaités et de dommages dans les projets routiers ne sont pas encore fiables et nécessitent des recherches supplémentaires qui sont actuellement en cours de développement de par le monde.

En effet, ces méthodes s'appuient sur des probabilités obtenues à la suite d'observations qui doivent être très nombreuses. Dans le cas d'évènements non récurrents aux conséquences graves (cas des risques géotechniques naturels et anthropiques), de telles statistiques précises ne sont pas disponibles en Algérie. Ce manque d'informations nous a amené à privilégier une évaluation par l'expertise de la probabilité d'occurrence d'évènements non souhaités pendant la réalisation du projet.

Bien que nous faisons ce calcul, il s'agit pour nous de produire d'abord une liste de sources de dangers, de causes, de conséquences, de dommages, d'événements critiques, puis des analyses et des résultats qualitatifs sous forme de propositions (des recommandations, des mesures de maitrise de sécurité, etc.).

Remarque

Toutes les évaluations quantitatives des probabilités d'occurrence des événements non souhaités ont été faites d'une manière participative par un panel d'experts, et adoptées par consensus. Le choix et la composition de ce panel (08 experts) ont obéit à trois conditions principales : indépendance par rapport au projet, connaissance du problème visé et satisfaction des critères cités par Hallowell M. R. Gambatese J. A. (2010).

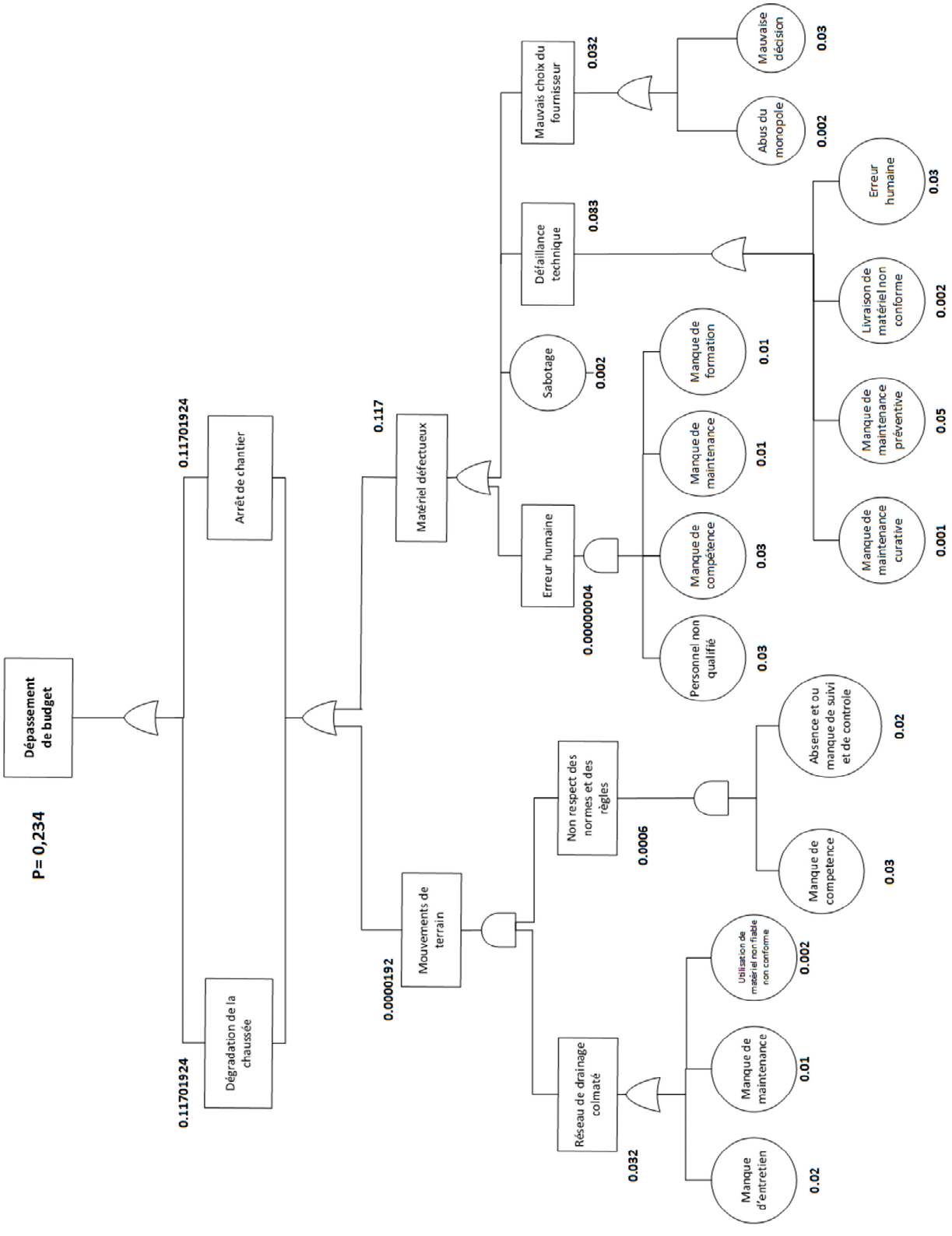


Figure 4.15 Arbre de défaillance – Dépassement de budget

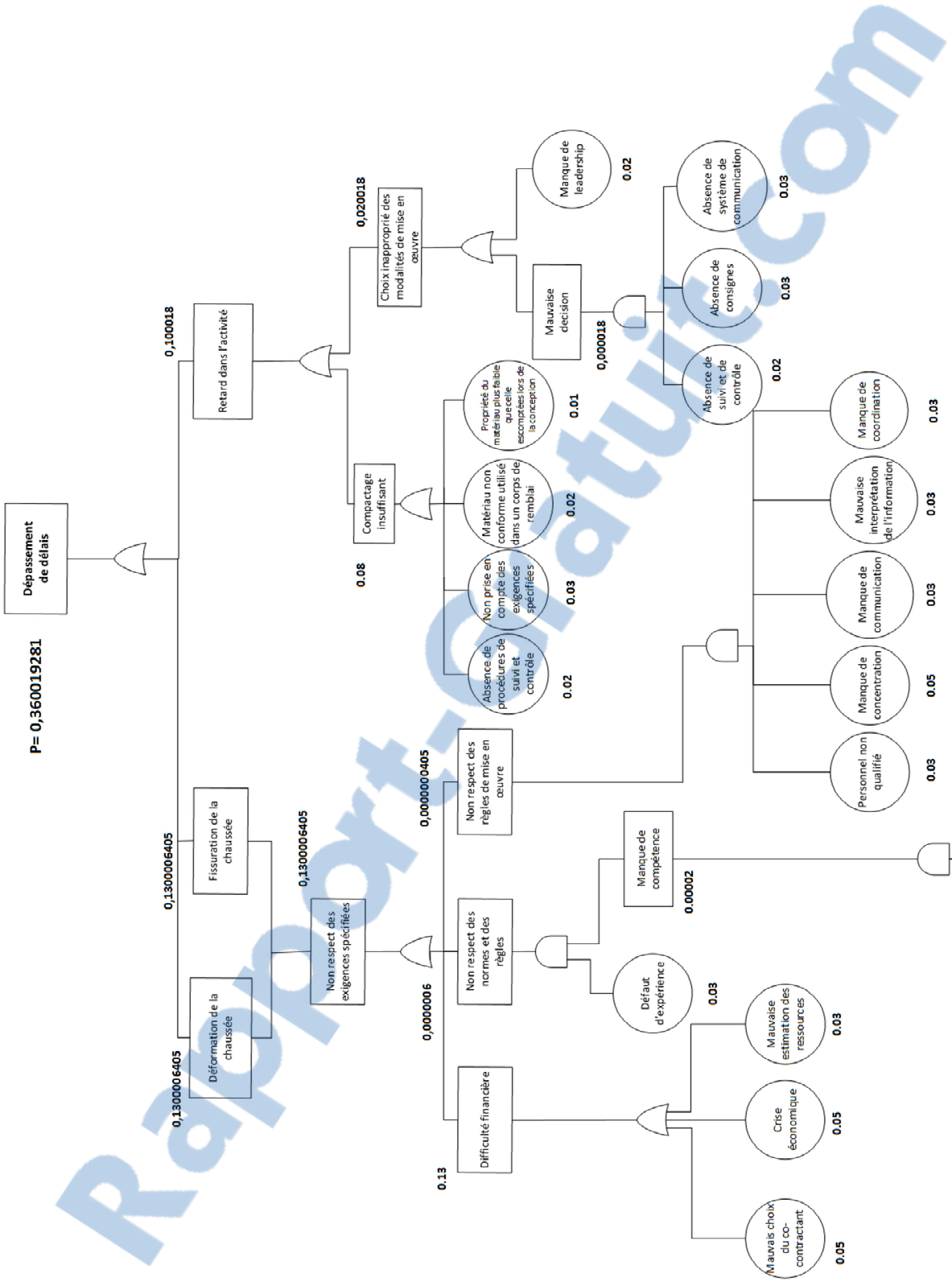


Figure 4.16 Arbre de défaillance – Dépassement de délais

Rapport-Gratuit.com

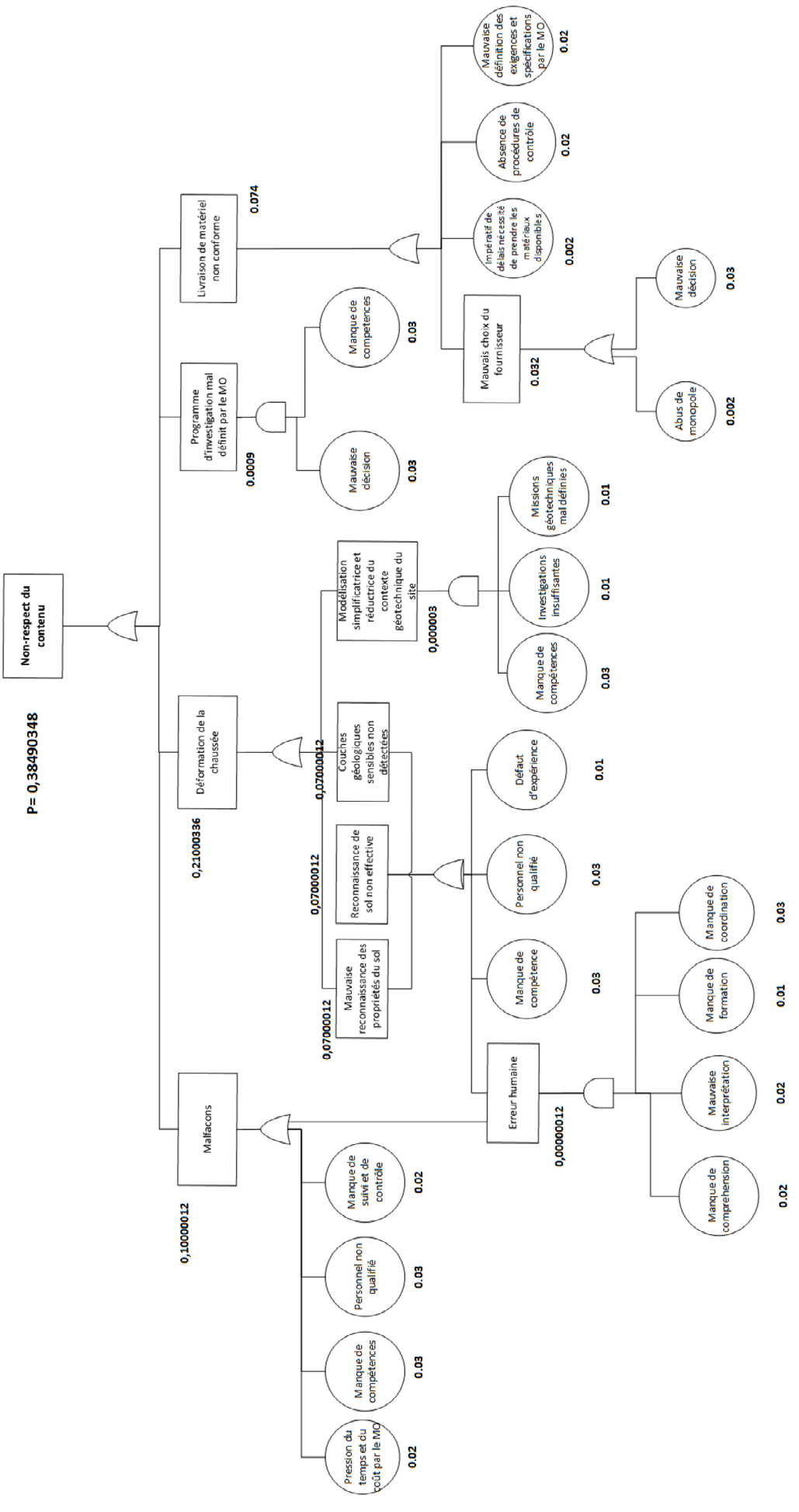


Figure 4.17 Arbre de défaillance – Non-respect du contenu

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

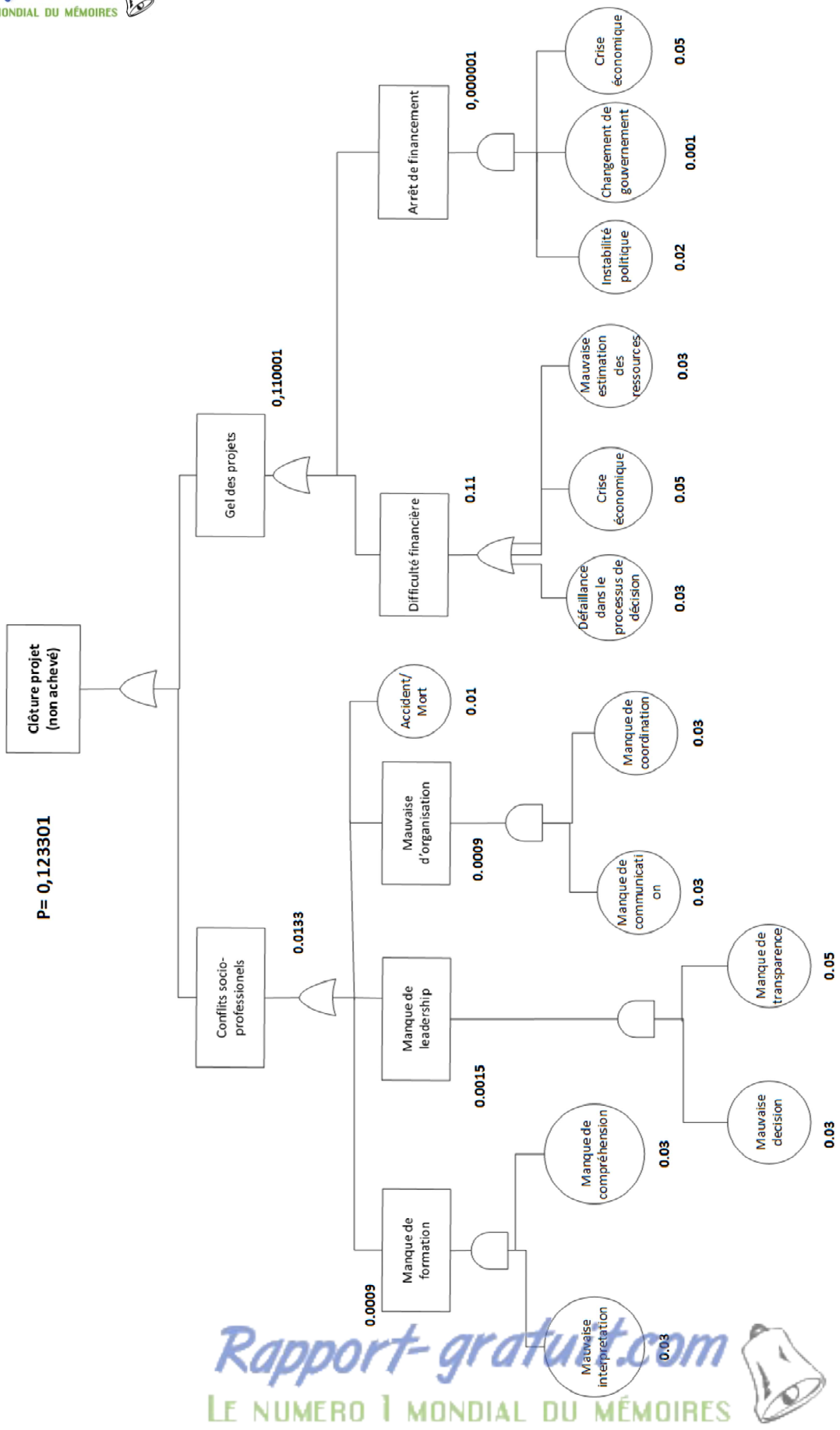


Figure 4.18 Arbre de défaillance – Clôture du projet (non achevé)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

La construction des arbres de défaillance des 4 évènements critiques identifiés plus haut, et l'estimation des probabilités d'occurrence des évènements élémentaires, nous ont permis de calculer la probabilité d'occurrence des évènements critiques. Le tableau 4.12 ci-après recense les résultats.

On remarque que les résultats obtenus reflètent la réalité des projets routiers en Algérie. La probabilité de survenance de l'évènement critique « non-respect du contenu » est la plus importante (38,49%) suivi de l'évènement « dépassement de délais » avec 36% et « dépassement de budget » avec 23,4%. Ces résultats convergent avec tous les articles parus dans la presse nationale qui dénoncent les dysfonctionnements et l'état déplorable de ces projets (Guemmache, 2018 ; Chelghoum, 2017).

3.2.4 Etape 4 : Négocier des objectifs globaux

Comme cela a été précisé dans la présentation de la méthodologie (cf. paragraphe 2.2.4), nous avons choisi une grille de 5 niveaux où la classification des différentes zones à risque se base sur des couleurs (figure 4.3), et où on a situé la limite d'acceptabilité. Ceci a été fait après concertation avec différents acteurs locaux de la construction.

De ce fait, après le calcul des probabilités d'occurrences des évènements critiques identifiés ci-dessus, nous avons tenté d'évaluer la gravité par une approche qualitative (voir tableau 4.12) déduite de séances de brainstorming avec le panel d'experts (voir remarque p. 129).

Cette évaluation s'est déroulée après avoir fixé une échelle de gravité pour la cible projet, sachant qu'il n'a pas été possible de trouver une échelle quantitative de gravité satisfaisante à cause du manque d'informations disponibles concernant les projets antérieurs (nécessité de mise en place d'une approche REX pour la construction d'une banque de données). Il est aussi possible de raisonner sur un mode déterministe en envisageant les pires conséquences de chaque événement redouté, mais dans ce cas, on est quasiment sûr de voir la majorité des risques se placer dans la catégorie des inacceptables et la hiérarchisation est alors inefficace.

Tableau 4.12 Matrice d'évaluation des évènements critiques

Evènement critique non souhaité	Evaluation « quantitative » de l'aléa	Evaluation qualitative de l'aléa	Gravité	Criticité (sévérité du risque)
Dépassement de délais	36%	Possible	Majeure	**Très élevée (risque critique)**
Dépassement de budget	23,4%	Possible	Très significative	**Très élevée (risque critique)**
Non-respect du contenu du projet	38,49%	Possible	Très significative	**Très élevée (risque critique)**
Clôture du projet (non achevé)	12,33 %	Peu probable	Majeure	**Elevée (risque majeur)**

A partir du tableau 4.12, nous allons situer les scénarios conduisant aux 4 évènements critiques identifiés plus haut sous forme d'arbre de défaillances dans la grille GxP afin de voir s'ils sont dans le domaine de l'acceptabilité ou de l'inacceptabilité. Ceux-ci sont :

- **SCDD** le scénario conduisant à l'évènement critique Dépassement de délais ;
- **SCDB**, le scénario conduisant à l'évènement critique Dépassement de budget ;
- **SCNC**, le scénario conduisant à l'évènement critique Non-respect du contenu ;
- **SCCP**, le scénario conduisant à l'évènement Clôture du projet (non achevé).

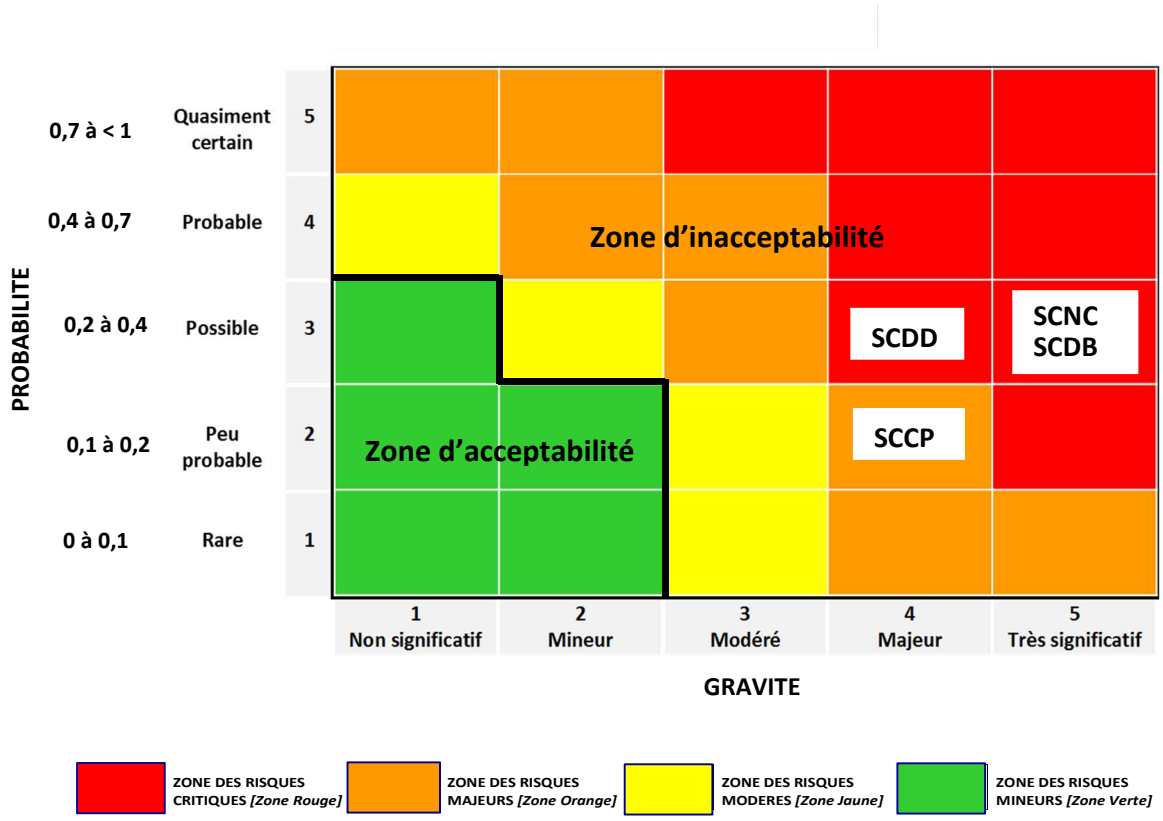


Figure 4.19 Grille Gravité/Probabilité

Tous les scénarios placés dans la grille Gravité/Probabilité (figure 4.19) sont dans la zone d'inacceptabilité. Ceci nous amène à l'étape suivante pour la recherche des barrières.

3.2.5 Etape 5 : Définir les moyens de maîtrise de risque et les qualifier

Après l'évaluation de la probabilité et de la gravite des évènements critiques mis en évidence dans les étapes précédentes, et après la construction de la grille Gravité/Probabilité qui a permis d'aboutir à une hiérarchisation de ces évènements et une visualisation graphique de leur degré d'inacceptabilité (figure 4.19), nous allons maintenant aborder la description des différents types de barrières envisagées pour tenter d'empêcher la survenance de ces évènements critiques.

Le terme « Barrière de sécurité » définit la fonction ou l'objet capable d'éliminer ou de réduire l'évolution d'un évènement, et sa propagation dans une chaîne d'évènements non souhaités. Munoz (2007) l'a défini comme étant les moyens physiques et/ou non physiques pour éviter, prévenir, contrôler, protéger et mitiger des évènements non souhaités ou des accidents. Nous adoptons cette définition pour expliciter le terme « Barrière » dans la construction.

Les deux types de barrières proposées par la méthodologie MOSAR sont des barrières de prévention et/ou de protection, au travers de matériels (Barrières Technique : BT) ou de procédures (Barrières Utilisateurs : BU) (cf. paragraphe 2.2.5). Elles sont destinées à interrompre ou modifier les scénarios d'accident. Cette proposition n'est pas pertinente dans notre contexte d'étude. En effet dans le domaine de la construction, l'interaction entre l'humain et la technologie est continue, nous avons ainsi jugé utile de ne pas séparer entre les barrières techniques et les barrières d'utilisation.

Le tableau 4.13 ci-dessous représente les barrières à mettre en place pour neutraliser les évènements de base des 4 scénarios à risques identifiés plus haut : SCDD, SCDB, SCNC, SCCP.

Tableau 4.13 Établissement des barrières sur les évènements de base

Type de barrières	Scénarios			
	SCDD	**SCDB**	**SCNC**	**SCCP**
Formation	- communication - leadership/team building - planification et ordonnancement - Technique - Management	- communication - leadership/team building	- communication - leadership/team building - Technique - Management	- communication - leadership/team building - Technique - Management - Mangement des coûts
Procédures	- plan de communication - un système REX - Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Actions préventives - Actions correctives - de coordination - Enregistrements	- plan de communication - un système REX - Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Achats et gestion des stocks (pièces de rechanges, consommable) - Actions préventives/correctives - Enregistrements	- plan de communication - un système REX - Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Enregistrements - Actions préventives - Actions correctives	- plan de communication - de coordination - un système REX - Management des ressources - un système de suivi et de contrôle - Enregistrements - Actions préventives - Actions correctives - Système de sécurité
Législation, Normes, règlementation	- Certification ISO 9001 : 2015 - Respect des exigences de mise en œuvre (compactage) - Définir les caractéristiques des matériaux - Accréditation laboratoire ISO 17025 - Norme NFP-94500 : 2013	- Respect du code des marchés publics - Certification ISO 9001 : 2015	- Respect du code des marchés publics - Certification ISO 9001 : 2015 - Définir les caractéristiques des matériaux - Accréditation ISO 17025 - Norme NFP-94500 : 2013	- Certification ISO 18000/18001 - Certification ISO 9001 : 2015
Contrôle et vérification technique	- Contrôle périodique de la conformité et la fiabilité du matériel	- Contrôle périodique de la conformité et la fiabilité du matériel	- Contrôle périodique de la conformité et la fiabilité du matériel	
Contrôle qualité	- De réception des matériaux - De conformité des travaux - De conformité des essais et de leurs validations	- De réception des matériaux	- De conformité des travaux - De conformité des essais et de leurs validations	- Des estimations

Il est à noter que nous n'avons pas « trouvé » de barrières pour certains évènements de base à savoir la crise économique, le changement de gouvernement et l'instabilité économique dans l'arbre de défaillance clôture du projet (non achevé) (SCCP). Bien que ceci ait été juge par le panel d'experts comme rare, le scenario reste non acceptable.

On remarque que les barrières identifiées dans le tableau 4.13 relèvent essentiellement des problèmes de communication, d'échanges d'informations, de management des ressources, et du système de management dans le projet. Ces barrières sont en adéquations avec les barrières d'interopérabilité définis dans le chapitre 2, paragraphe 5.3. Ces derniers sont subdivisés en trois niveaux (EIF2, 2011) :

- Niveau Technologique/Technique tout ce qui est relatif aux partages et échanges d'informations et de documents en utilisant les outils et les applications informatiques.
- Niveau Conceptuel/Sémantique relatif à la compatibilité entre les informations communiquées ou partagées entre les acteurs.
- Niveau Organisationnel lié aux structures organisationnelles et aux techniques de management utilisées dans différentes entreprises.

Après ce constat, et pour neutraliser les évènements de base des 4 scénarios à risques identifiés plus haut (SCDD, SCDB, SCNC, SCCP), il faut mettre en place des barrières d'interopérabilité soutenues par un système de management intégré ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001, et ISO 17025 (pour les laboratoires) pour les différents acteurs.

L'identification des barrières devrait être complétée par la qualification de ces dernières en construisant le tableau C définit par Perilhon (2003), mais comme nous l'avons spécifié plus haut, le tableau C ne sera pas fait dans notre cas d'étude et ceci en raison de problèmes de non disponibilité de procédures et de mise en place dans le chantier ; car la mission consiste à installer les différentes barrières et vérifier leur efficacité (voir si elles sont suffisantes). Par la suite, il est nécessaire de mettre en place un processus d'amélioration continue de ces barrières.

Cependant cette analyse est peu pérenne. En effet, les outils proposés par MOSAR sont assez performants pour la détermination des barrières, le but de l'analyse des risques est donc atteint ; mais cette analyse n'est valable que si le projet n'évolue pas. Le projet évoluant irrémédiablement dans l'espace et le temps, se pose alors le problème de l'évolution de l'analyse des risques pour que l'identification, l'évaluation, la hiérarchisation des risques et les mesures mises en place demeurent valables. MOSAR ne propose pas d'outils pour cette réactualisation.

4. GESTION ORGANISATIONNELLE DES RISQUES

Sans organisation, sans procédures, sans réglementation, sans interopérabilité, la gestion des risques n'est rien qu'une suite de spécifications techniques sans efficacité. Les pratiques doivent être coordonnées, pensées pour gérer, entre acteurs multiples, le processus de danger. L'objectif est de faire de chaque intervenant un acteur impliqué, non seulement dans le respect des consignes et des procédures, mais dans les recherches

d'améliorations dans la maîtrise des risques. Il s'agit de rechercher les conditions susceptibles de favoriser l'implication des différentes lignes hiérarchiques et l'engagement individuel. La méthodologie MOSAR recommande une équipe de travail qui doit regrouper des intervenants et des exploitants. Les membres de ce groupe sont censés être déterminés au départ et poursuivre le cheminement de l'analyse jusqu'à la fin. MOSAR n'est pas très précise à ce sujet et ne parle pas de nombre minimal ni de compétences minimales, ni du processus de collaboration. Pour cela, en reprenant la méthodologie MOSAR (module A) développée dans le paragraphe 2, nous allons tenter de spécifier la démarche à suivre par les acteurs du projet pour une gestion des risques par la qualité. Pour faciliter le travail, on associera les technologies de l'information pour une collaboration optimale. Le choix s'est porté sur l'outil Google Drive (cf. chapitre 2, paragraphe 5.5.3). Cet outil, en utilisant les applications intégrées, va permettre d'accompagner le travail de groupe et de répondre aux problèmes induits par la division de travail, à savoir la communication, la coopération et la coordination pour une meilleure gestion des risques.

Tel que représenté dans la figure 4.1, les étapes du module A nécessitent au moins trois catégories d'acteurs de management du processus de danger : les gestionnaires du système « source de danger », les gestionnaires du système « cible de danger », les gestionnaires du « champ de danger » et parfois les gestionnaires de l'ensemble, ainsi que les gestionnaires des « moyens de maîtrise des risques ». De ce fait, le management du processus de danger nécessite une organisation et une coordination entre les différents participants dans la gestion du risque. Comme cela a été précisé dans le chapitre 2, la présence de multiples intervenants dans le projet de construction entraîne de nombreux conflits entre des acteurs de même niveau ou agissant à des niveaux différents. Ces conflits peuvent être à la source d'une mauvaise interprétation d'informations ou d'une défaillance dans le système de communication ou le processus de décision. Ceci détermine l'importance de l'information et de la communication entre les acteurs/parties prenantes pour organiser une gestion efficace et ceci, quels que soit le processus de dangers à gérer. Ainsi, l'utilisation d'outils collaboratifs est indispensable car ils permettent aux parties prenantes d'un projet d'être plus efficaces dans leurs tâches tout en mettant en place une communication plus transparente et une mise à jour régulière des informations. Il existe aujourd'hui une abondance d'outils en ce domaine et il en paraît de nouveaux tous les jours ; ils sont en perpétuelle évolution. Le choix de l'outil à utiliser dépend des moyens de l'organisation.

Ainsi, nous proposons la procédure suivante pour l'application de la méthode MOSAR :

i. Présentation de la méthode aux acteurs du projet.

ii. Formation et sensibilisation des acteurs du projet aux modèles de compréhension et de représentation des risques.

iii. Constitution d'un groupe de travail en tenant compte des compétences et des qualifications de chaque intervenant. Les compétences du groupe ont besoin d'être pointues afin de décrire l'ensemble des éléments constitutifs des sous-systèmes

identifiés. Le groupe doit inclure des spécialistes des sous-systèmes. Ces spécialistes ne sont pas forcément regroupés dans un même lieu et un même instant ; ils ne participent donc que ponctuellement au groupe et leur intervention peut être facilitée par l'utilisation de la plateforme collaborative Google Drive.

iv. Ouvrir un dossier Google Drive et envoyer un lien de partage par email aux acteurs concernés.

v. Présentation des objectifs de l'étape en cours.

vi. Répertorier les documents pouvant fournir des données pertinentes sur les différentes cibles et les partager via Google Drive avec les acteurs concernés.

vii. Choix d'un critère de décomposition en effectuant un « brainstorming » (ou tout autre méthode de résolution de problème).

viii. Découpage en sous-systèmes à l'aide du plan et du groupe.

ix. Identification des scénarios de danger. Pour cela faire appel à l'expertise, à l'intuition et à l'imagination de chaque intervenant pour relier des entrées et sorties qui n'apparaissent pas à priori comme directement connectables. D'où l'intérêt de réaliser tout cela dans un esprit d'échanges transparents entre tous les acteurs du processus de danger via Google Drive.

x. Assurer les enregistrements et créer une base de données informatisée en vue de l'amélioration continue

Même si, pour des raisons économiques et de facilitation, notre choix s'est porté sur Google Drive, il est utile de rappeler qu'il y a pléthore d'outils collaboratifs, dont le plus répandu (dans la construction) et le plus performant est le protocole BIM.

Dans la perspective de continuer ce travail de recherche et pour faire le choix d'outils pertinents, il est pratique d'utiliser la typologie des outils de travail collaboratif proposée ci-dessous (cf. figure 4.20) par Levan (2004). Celle-ci fait ressortir trois grandes catégories d'outils : orientés Mémoire, Routage, Échange, complétés par des outils très spécifiques (qu'on appelle des utilitaires) de Recherche… Et qui permettent la mise en relation avec des objets et/ou des personnes.

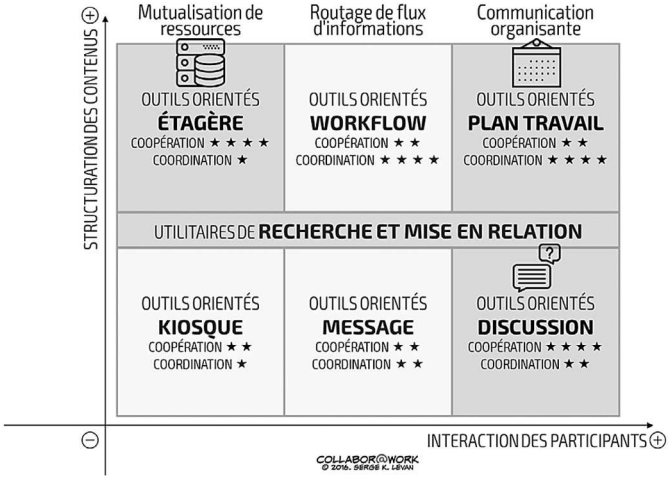


Figure 4.20 Typologie des outils de travail collaboratif (Levan, 2004).

5. CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, on constate qu'il est tout à fait possible d'utiliser la méthode MADS-MOSAR pour les projets de construction. Bien qu'elle soit fastidieuse, la démarche est facilitée par une approche systémique qui permet de mettre en valeur les systèmes, les sous-systèmes ainsi que les interactions y afférentes. La décomposition rigoureuse en sous-systèmes permet une analyse de risque assez exhaustive. Pour l'adapter, il importe de commencer par la réalisation d'une grille de typologie des systèmes sources de danger spécifique à la construction ; c'est à quoi on s'est attelé en identifiant une liste non exhaustive des différentes sources de danger en relation avec notre projet routier.

Dans le cas d'étude présenté, la méthode MADS-MOSAR nous a permis d'identifier de nombreux risques de nature géotechnique. D'autre part, on notera aussi que l'utilisation de la méthode par son formalisme enfante l'identification de risques qui ne sont pas liés à la géotechnique et infèrent à chaque fois à trois évènements critiques. Ces évènements représentent les trois dimensions du projet à respecter pour atteindre la qualité (Délais, Coûts, Contenu).

En outre, elle a soulevé l'importance des problèmes d'organisation, de décision, d'information et de communication identifiés comme sources ou composants de nombreux scénarios à risque, conduisant à des pathologies de la chaussée et de son environnement. Ceci dit, bien qu'efficace pour l'analyse des risques des projets de construction de routes, la méthode MADS-MOSAR reste difficile à appliquer par des non spécialistes du domaine du risque. Il faut aussi souligner la difficulté relative à la mise en œuvre d'un modèle gravité/probabilité dans un contexte où les données, notamment en ce qui concerne les probabilités, sont très difficiles à obtenir. L'approche quantitative se révèle souvent impossible, par manque d'informations et absence de système REX dans les projets, et l'évaluation qualitative, peu traitée au plan méthodologique, mériterait une attention particulière. Cependant, étant donné que l'utilisation de la méthode est basée sur la consultation, le travail coordonné et le partage des connaissances de groupes d'experts multidisciplinaires impliqués dans le projet étudié, ainsi que la vision systémique offerte par la méthode, représentent des facteurs clés pour traiter les risques géotechniques d'origine naturelle ou les risques géotechnique d'origine anthropiques liés aux problèmes d'interopérabilités. La méthode MADS-MOSAR est un outil support de communication et de participation des acteurs à la découverte des risques et à leur maîtrise. Elle est parfaitement adaptable au domaine routier. ■

Rapport-gratuit.com

CONCLUSION GENERALE

Le risque dans la construction n'est pas une notion nouvelle, loin de là ; il a accompagné l'homme dans ses projets depuis la nuit des temps. Aujourd'hui, et pour assurer un avenir aux générations futures avec une prospérité économique, un respect des environnements sociétaux et naturel, et une amélioration de la cohésion sociale, le management des risques prend toute son importance ; par le fait que c'est un remarquable outil d'efficience qui facilite la prise de décision et l'atteinte des objectifs, et par la même assure la pérennité de l'entreprise et de l'ouvrage.

Malheureusement, au niveau national, la volonté des décideurs de lancer les grands projets d'infrastructures n'a pas été accompagnée d'une obligation d'intégrer le management des risques dans la conduite de ces projets, dans lesquels les cas de survenance d'événements non souhaités sont nombreux et foisonnent. A titre d'exemple, dans le quotidien « Le Soir d'Algérie » n°7203 du 15/06/2014, Chelghoum a lancé un signal d'alarme au sujet des risques géotechniques impactant le projet de viaduc Trans-Rhumel de Constantine.

Refusant de tirer les enseignements des échecs passés, l'Etat opte toujours pour la même démarche en décidant de lancer des grands projets (port de Cherchell, grande mosquée d'Alger, etc.) sans management des risques. Ce qui implique très souvent un dépassement des délais du projet, des surcoûts excessifs et des malfaçons préjudiciables à la sécurité des usagers et à la pérennité de l'ouvrage. Aussi, à partir de cette problématique d'actualité, on s'est attelé dans cette thèse à montrer pourquoi et comment déployer le management des risques dans le cas d'un projet routier (la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 de l'autoroute Est-Ouest, Tlemcen, Algérie). Avant de donner des éléments de réponses à nos questionnements introductifs, et grâce aux constatations faites dans notre modeste recherche, qui confirment les résultats d'autres chercheurs, la conclusion la plus importante est que le management des risques met l'homme au centre du système. L'homme en tant que cause ou cible, l'homme et ses comportements, l'homme et ses interactions, comme sujet et objet de traitement des risques.

Ceci dit, en vue d'apporter une valeur ajoutée scientifique et méthodologique au management des risques dans la construction et de proposer une méthode, nous avons choisi MADS-MOSAR pour effectuer notre recherche. Ce choix est justifié par le fait que c'est une méthode quantitative, progressive et participative. Elle préconise la constitution d'un groupe de travail qui, idéalement, associe tous les acteurs du projet pour mener l'ensemble de l'analyse des risques ; elle fait appel à l'imagination et à l'expérience de tous les participants.

Aussi, cette thèse nous a permis des constatations intéressantes à même d'améliorer l'efficacité et l'efficience des projets de construction qui doivent être pilotés suivant les standard du PMI (2017) dont un des domaines de connaissance, parmi les plus importants, est le management des risques. Ces observations, faites à partir de l'étude du

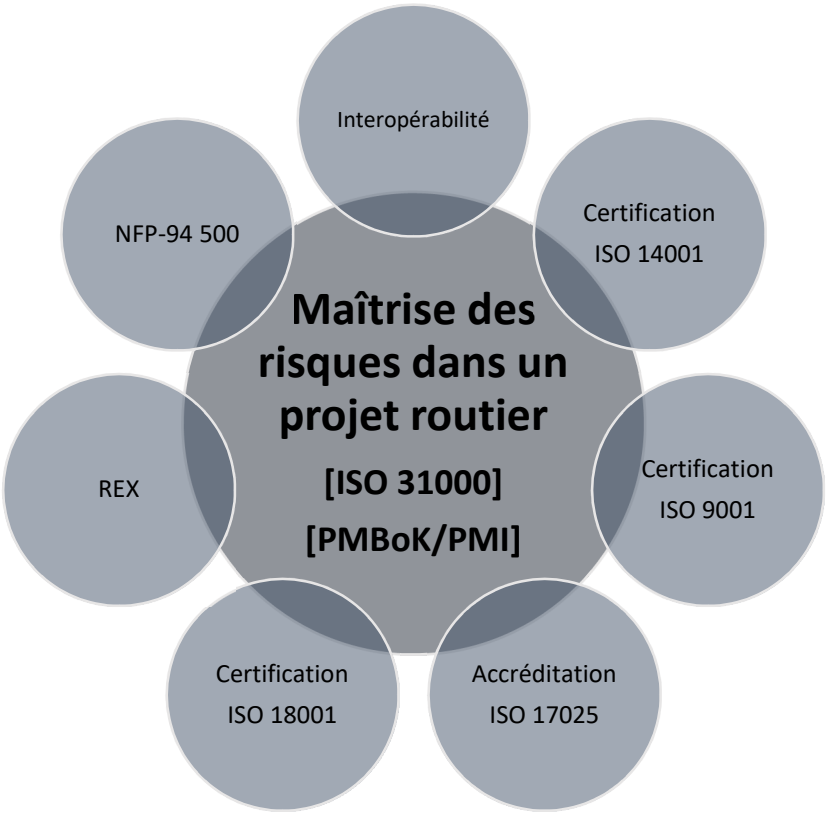
cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 (autoroute Est-Ouest), peuvent être synthétisées comme suit :

- La complexité des projets apparaît de plus en plus liée au nombre croissant d'intervenants, à leurs objectifs qui peuvent être différents, parfois contradictoires. Nous avons mis en avant les relations qui existent entre tous les acteurs du projet de construction, qui nécessitent une articulation forte, un travail collaboratif à la base de l'interopérabilité pour la recherche d'efficacité, et particulièrement dans la maîtrise des risques géotechniques, à toutes les étapes du cycle de vie du projet.
- Il est absolument indispensable d'encourager la mise en œuvre de la norme NFP 94 500, norme qui définit la nature et le contenu des missions géotechniques, et apporte sa contribution à la lutte contre les incertitudes et les erreurs en incitant les différents acteurs d'un projet de construction à constituer rationnellement la connaissance et la maîtrise du milieu géologique par un enchaînement d'investigations et de contrôles tout le long du cycle de vie de l'ouvrage. Celle-ci a été identifiée et proposée comme barrière opérationnelle.
- Il est impératif d'améliorer et de développer le mode de communication et de collaboration entre les acteurs du projet pour minimiser la survenance d'événements non-souhaités. La mise en œuvre des outils pour l'interopérabilité au sein de l'entreprise et particulièrement dans les processus collaboratifs est une nécessité. Pour cela, nous recommandons l'outil en ligne Google Drive (pour sa disponibilité, sa gratuité, et sa facilité d'utilisation) pour une meilleure efficacité du processus collaboratif dans le management des risques dans un projet de construction.
- Il est essentiel d'aborder le management d'un projet en considérant le fait que la complexité et la maîtrise des risques nécessite d'être prise en compte tout en ayant une approche transversale transdisciplinaire et systémique. Ceci justifie le choix de la méthode MADS MOSAR qui satisfait à ces exigences.
- Bien qu'elle soit fastidieuse, la méthode MADS MOSAR est utilisable dans la construction. L'approche personnalisée qu'on a mis en œuvre pour notre cas a permis d'identifier un certain nombres de barrières qui sont à même de diminuer les évènements critiques identifiés (dépassement de délais, surcoût excessif, non-respect du contenu du projet, clôture de projet non achevé). Même si la liste de ses barrières ne peut être exhaustive, une démarche efficace consiste à les regrouper sous une trame normative. La mise en œuvre des exigences des référentiels suivants, adossés à une approche REX, nous semble, dans l'état des connaissances actuelles, le « mur » le plus efficace pour diminuer la criticité des évènements non souhaités (voir figure ci-dessous) :
    - Système intégré ISO 9001/ISO 18001/ISO 14001
    - NF P 94 500
    - ISO 17025 (laboratoires)
    - PMBoK/PMI

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Outils Collaboratifs/Interopérabilité (BIM, Google Drive, etc.)

Il semble ainsi judicieux de faire le lien entre ces différentes normes et la norme ISO 31000 afin de guider les organismes à intégrer ce management de façon intelligente dans le cadre de leur fonctionnement en vue d'améliorer leur efficacité et leur efficience. En effet, une approche globale du management du risque permet d'évaluer l'impact de tous les types de risques sur tous les processus, y compris les personnes, les biens et l'environnement.



Ceci dit, il nous paraît particulièrement utile de répéter que, maîtriser les risques, c'est aussi, et avant tout, accepter la complexité de notre environnement et de nos comportements. Parce que si la rationalité nous paraît nécessaire pour établir une vision commune des risques, nous sommes convaincus que le management de ces risques passe par la prise en compte de la diversité des comportements humains.

Vu sous un autre angle, cette recherche et l'approche choisie, développée et appliquée, présentent quelques limites sur plusieurs points.

Les premières limites sont d'ordre théorique et pratique, et sont relatives à l'exploration des divers champs de recherche et leur application. Malgré une étude approfondie des méthodes d'analyse des risques, le manque d'expertise initiale dans la mise en œuvre de ces méthodes dans les projets de construction pourra se refléter dans la critique insuffisante de l'état de l'art proposé.

D'autre part, l'absence de données et l'inexistence d'un retour d'expérience formalisé pour les projets de construction ne permet, malheureusement pas, une confrontation entre les résultats de cette recherche et la conduite des projets en Algérie.

Il est aussi important de rappeler que l'approche proposée n'a pas la prétention d'être une recette miracle, mais elle fournit la méthode et les éléments nécessaires en vue d'améliorer le management des risques dans les projets de construction en Algérie, et par la même, leur efficacité et leur efficience.

Aussi, les champs de recherche ouverts et les limites identifiées ci-dessus nous encouragent à proposer des perspectives multiples, dont la plus urgente est d'étendre l'application de la méthode MADS-MOSAR, soutenue par une démarche d'interopérabilité, à de plus nombreux cas d'études pour en évaluer la pertinence, à la fois théorique et pratique.

Bien sûr, d'autres pistes (sans qu'elles soient exhaustives) pourraient être envisagées comme champs de recherche, à savoir :

- La conduite du changement pour la mise en place effective et pérenne d'un système de management des risques.
- La constitution d'une banque de données (coûts, délais, contenu, estimés et réels) en vue de modéliser le risque dans les projets de construction dans l'environnement algérien.
- La mise en place du BIM dans les projets de construction en vue d'assurer l'interopérabilité entre les parties prenantes (utilisation partagée d'outils et mise en place de pratiques collectives et améliorées).
- Une démarche intégrée pour l'ingénierie de systèmes complexes face aux risques (soutenue par les normes ISO 9001, 14001, et 18001).

Et à la fin de cette modeste recherche, nous rejoignons Périlhon (2007) qui disait que ***« l'analyse des risques peut se faire d'une manière pragmatique, assurée d'un simple « bon sens », sans démarche préétablie, ou en mettant en œuvre directement des outils existants »***, et on ajoutera, ***elle doit nécessairement se faire.*** ■

BIBLIOGRAPHIE

- **ABY SALAMI O., EL HAOULI D., KONTE F., MANSOUR O., MOTTE I., OUALI B. E., (2016),** *« Management du Risque Performant : Faciliter l'usage de l'ISO 31000 »*, QPO12 – Communication professionnelle de projet, Université de Technologie Compiègne, France.
- **AFNOR,** *« FD ISO 31004 Lignes directrices pour l'implémentation de l'ISO 31000 »*, éditions Afnor, www.afnor.org, 14-oct-2015, France.
- **AFNOR,** *« NF EN 31010 Gestion des risques Techniques d'évaluation des risques »,* éditions Afnor, www.afnor.org, juill-2010, France.
- **AIPCR (2010),** *« Vers le développement d'une approche de gestion des risques »***,** Comité Technique AIPCR 3.2 Gestion des risques liés aux routes, France.
- **AKINTOYE A. S., MACLEOD M. J., (1997),** *« Risk analysis and management in construction »*, International Journal of Project Management, Vol. 15, No. 1, pp. 31-38, éd. Elsevier, Pays-Bas.
- **AL-BAHAR J.F., CRANDALL K.C., (1990),** *« Systematic Risk Management Approach for Construction Projects »,* Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 116, n° 03, pp 533–546, ASCE, USA.
- **ALLAL M. A., (2001),** *« De l'affaire Bourmadia à la prise en charge de la géotechnique dans les projets de bâtiment »***,** Le quotidien d'Oran n°1875, Algérie.
- **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.
- **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., Allemagne.
- **ALLAL M. A., BENACHENHOU K. A., MELOUKA S., HADDAM A., (2014**), *« De la nécessité d'implémenter la norme iso 17025 dans les laboratoires d'essais des universités algériennes pour y assurer la qualité : cas du laboratoire de mécanique des sols de l'université de Tlemcen »*, Séminaire National sur l'Implémentation de l'Assurance Qualité dans l'Enseignement Supérieur : de la théorie à la concrétisation pratique, 29 et 30 avril, Annaba, Algérie.
- **ALOUI S., (2007),** *« Contribution à la modélisation et l'analyse du risque dans une organisation de santé au moyen d'une approche système »,* École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007, France.
- **ANDREEWSKY E., (1991),** *« Systémique et cognition »,* éd. Dunod, France.
- **AUDRY F., (2010),** *« La démarche d'Analyse Fonctionnelle »*, Guide pour le Professeur, France.
- **BAECHER G. B., CHRISTIAN J. T.,** (2013), *« Reliability and statistics in geotechnical engineering »*, Ed. Wiley & Sons, 605 p., USA.

❑ **BARROCA B., (2017),** *« Ville, risque, systémique »,* Revue : La vie de la recherche scientifique, n° 410, automne 2017, Penser la complexité, pp.28-30.

❑ **BAUMANN O., (2014),** *« Dans 61% des sinistres géotechniques, les missions d'ingénierie géotechnique ont été arrêtées trop tôt »,* LE MONITEUR, 05/03/2014, (https://www.lemoniteur.fr/article/dans-61-des-sinistres-geotechniques-les-missions-d-ingenierie-geotechnique-ont-ete-arretees-trop-tot.1308684).

❑ **BAZIZ M. K., (2011),** *« Effet de la variabilité des paramètres de calcul sur la stabilité des murs de soutènement »,* Mémoire de Magister en Génie Civil, Université de Tizi Ouzou, Algérie.

❑ **BAZZANA M., (2011),** *« Développement et mise en application d'un cadre de modélisation pour l'analyse des risques appliqués aux systèmes constructifs »,* Thèse de Doctorat en génie civil et sciences de l'habitat, Université de Grenoble, France.

❑ **BELLAICHE M., (2014),** *« 100 Questions pour comprendre et agir, la qualité »,* éditions AFNOR, France.

❑ **BENABEN F., GOURC D., VILLARREAL C., RAVALISON B., PINGAUD V., (2004),** *« Une méthode d'identification des risques Application à un projet coopératif »,* Congrès francophone du management de projet 2004 « Projets, Entreprise, Intégration », Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, France.

❑ **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.

❑ **BENACHENHOU K. A., ALLAL M. A., LAKERMI A., (2014),** *« Management des Risques Géotechniques dans un Projet Routier par la Méthode MADS-MOSAR; cas de la Bretelle Principale « A » de l'Echangeur de la RN02 (Tlemcen, Algérie) »,* Journées Scientifiques de l'Ingénierie du Risque JSIR -1- 2014, les 8 et 9 Novembre, Oran, Algérie.

❑ **BENACHENHOU K. A., ALLAL M. A., LAKERMI A., VERDEL T., (2016),** *« Vers un management des Risques dans un Projet Routier par la Méthode MADS-MOSAR »,* 9ème Journées Nationale Fiabilité des Matériaux et des Structures. JFMS2016 – 31 Mars- 01 Avril, Nancy, France.

❑ **BENACHENHOU K. A., VERDEL T., ALLAL M. A., LAKERMI A., (2016),** *« Management of geotechnical risks of road projects using Mads-Mosar method »,* International Journal of Engineering & Technology, 5(2) (2016) 38-46, Doi : 10.14419/ijet.v5i2.5727.

❑ **BENYETTOU S., (2018),** *« Le système de management intégré de la qualité, environnement, santé et sécurité dans les PME PMI Algériennes »,* Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, Algérie.

❑ **BEAUVAIS C. A., (1995),** *« Programmes d'architecture »,* Techniques de l'Ingénieur, [c4005], France.

❑ **BESSON A., (2007),** *« Analyse de la variabilité spatio-temporelle de la teneur en eau des sols à l'échelle parcellaire par la méthode de résistivité électrique »,* Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 216 p., France.

❑ **BHANUPONG J., BONAVENTURA H. W., HADIKUSUMO, (2011),** *« Identification of important organisational factors influencing Safety work behaviours in construction projects »,* Journal of Civil Engineering and Management, Volume 17(4) : 520–528, http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.604538, Vilnius, Lithuanie.

- **BISCH P., CALGARO J. A., (2004),** *« Eurocodes : codes européens de conception des constructions »*, Techniques de l'Ingénieur, [c60], France.
- **BLANCHARD B. S., FABRYCKY W. J., (1998),** *« Systems engineering and analysis »,* 3rd edition, Prentice Hall, USA.
- **BLOCH B. M., (2006),** *« Marchés de travaux privés »,* Techniques de l'Ingénieur, [c74 v2], France.
- **BLOCH B. M., (2006),** *« Contrôle technique »,* Techniques de l'Ingénieur, [c68 v2], France.
- **BLOCH B. M., (2008),** *« Marchés publics de travaux procédures de passation contenu »,* Techniques de l'Ingénieur, [c71], France.
- **BOISSIER D., BACCONNET C., ALHAJJAR J., (2005),** *« Autour du hasard et dans le sol »,* Revue Française de Géotechnique, 112, pp. 11-20, France.
- **BOTON C., (2013),** *« Conception de vues métiers dans les collecticiels orientes service, Vers des multi-vues adaptées pour la simulation collaborative 4D/MD de la construction »,* Thèse de Doctorat en Science de l'Architecture, Université de Lorraine, France.
- **BOUABDALLAH S., (1996),** *« Théorie générale des systèmes : évolution des idées et de la modélisation »,* mémoire de DEA en Philosophie et Histoire des Sciences, Université de Paris 1, Panthéon-Sorbonne, France.
- **BRANDENBURG H., WOJTYNA J. P., (2006)** *« L'approche processus : mode d'emploi »,* 2ème édition, éd. d'Organisation, Paris, France.
- **BREYSSE D., (2009a),** *« Maîtrise des risques en génie civil. Volume 1 : Multiples dimensions des risques en génie civil »*, éd. Hermès Science Publications, France.
- **BREYSSE D., (2009b),** *« Maîtrise des risques en génie civil. Volume 2 : Maitrise et gestion des risques dans l'aménagement et la construction* », éd. Hermès Science Publications, France.
- **BREYSSE D., (2009c),** *« Maîtrise des risques en génie civil. Volume 3 : Sécurité des constructions et règlementation »,* éd. Hermès Science Publications, France.
- **BREYSSE D., NIANDOU H., CHAPLAIN M., JABBOUR P., (2009),** *« Identification des risques pour les projets de construction : revue des pratiques internationales et propositions »*, 19ème Congrès Français de Mécanique, Marseille 24-28 août, France.
- **BREYSSE D., (2011),** *« Comment assure-t-on la sécurité des constructions ? »,* AFIS – Association française pour l'information scientifique, SPS n°296, hors –série 11 septembre, juin 2011, France.
- **BREYSSE D., (2012),** *« Forensic engineering and collapse databases »,* Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Forensic Engineering 165(2) : 63–75, Royaume Uni.
- **CADINAG V. F., (2003),** *« Mouvements de fondation en maison individuelle »,* revue Syscodes Informations, n°76, France.
- **CAMARINHA-MATOS, LUIS M., AFSARMANESH A., (2008a),** *« Collaborative Networks : Reference Modeling »,* édité par L. Camarinha-Matos et H. Afsarmanesh. Springer-Verlag New York Inc, USA.
- **CAMARINHA-MATOS L., AFSARMANESH A., (2008b),** *« Concept of collaboration »*, Encyclopedia of networked and virtual organizations (Information Science Reference), 2008: 311-315, Royaume Uni/USA.

- **CARNEY D., FISHER D., PLACE P., (2005),** *« Topics in Interoperability : System-of-Systems Evolution »* Technical Note, University of Pittsburgh, Software Engineering Institute, USA.
- **CATHIE D., (2014),** *« Managing Geotechnical Risk »*, Cathie Associates, éd. Wordpress, USA.
- **CAUVIN M., (2007),** *« Prise en compte des incertitudes et calcul de probabilité dans les études de risques liés au sol et au sous-sol »*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy, Université de Nancy, France.
- **CHAPMAN R. J., (2001),** *« The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management* » Int. J. of Project Management 19(3) : pp. 147–160, Elsevier, Pays-Bas.
- **CHAPURLAT V., ALOUI S., (2007)**, *« Une démarche intégrée pour l'ingénierie de système complexe face aux risques »*, 7ème Congrès International de Génie Industriel, Juin 2007, Trois Rivières, Canada.
- **CHELGHOUM A., (2014),** *« Viaduc TransRummel de Constantine : des carences majeures »*, Le Soir d'Algérie n°7203 du 15/06/2014, Algérie.
- **CHELGHOUM A., (2014),** *« Ces catastrophes en cascades qui touchent l'autoroute »,* Le Soir d'Algérie n°7125 du 13/03/2014, Algérie.
- **CHELGHOUM A., (2014),** *« Réalisation de 3 millions de logements. Avril 1999-avril 2014 ou l'impossible équation »,* Le Soir d'Algérie, 9 avril 2014 n°7148, Algérie.
- **CHELGHOUM A., (2014),** *« Les véritables raisons de l'effondrement du tunnel de Djebel El-Ouahch »,* Le Soir d'Algérie, 2 février 2014, n°7091, Algérie.
- **CHELGHOUM A., (2014),** *« Autoroute Est-Ouest, logements, Grande Mosquée d'Alger, Silos de Corso, stades de Tizi-Ouzou et Baraki : Vrais problèmes, fausses solutions (1ère partie) »,* Le Soir d'Algérie du 14 décembre 2014 (Lesoirdalgerie.com), Algérie.
- **CHELGHOUM A., (2017),** *« Méga-dangers sur des Méga –projets »,* Le Soir d'Algérie du 26/11/2017 (in Lesoirdalgerie.com), Algérie.
- **CHEN D., & DACLIN, N., (2006),** *« Framework for enterprise interoperability »*, in IFAC 2nd International Workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking (EI2N'2006), Bordeaux, France.
- **CHEN D., VALLESPIR B., DACLIN N., (2008),** *« An approach for entreprise interoperability measurement »*, Conférence : Proceedings of the International Workshop on Model Driven Information Systems Engineering : Enterprise, User and System Models (MoDISE-EUS'08), Juin 16-17, Montpellier, France.
- **CHETTAOUI H., (2008),** *« Interopérabilité entre modèles hétérogènes en conception coopérative par des approches d'Ingénierie Dirigée par les Modèles* », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble – INPG, France.
- **COOPER D., BOSNICH P., GREY S., AND AL., (2014),** *« Project risk management guidelines Managing Risk with iso31000 and IEC 62198 »*, John Wiley & Sons ; 2nd Éd. USA.
- **COM, (2006),** *« Communication de la commission au conseil et au parlement europeen, L'interopérabilité des services paneuropéens d'administration en ligne. »* 45 final, Bruxelles, Belgique.

- **COM, (2017),** *« Communication de la commission au conseil et au parlement europeen, L'interopérabilité des services paneuropéens d'administration en ligne. »,* 228 final, Bruxelles, Belgique.
- **CORNU C., (2012),** *« Contribution à la prise en compte de l'interopérabilité pour le déploiement de processus complexes dans une grande entreprise : proposition d'un guide méthodologique outille pour les processus d'Ingénierie Système »*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France.
- **COWAN C., GRAY C.F., LARSON E. W., (1992),** *« Project partnering »,* Project Management Journal, vol. 12, n° 4, USA.
- **DACLIN N., CHAPURLAT V., BENABEN F., (2008),** *« An anticipative effects-driven approach to analyze interoperability in collaborative processes: application to a crisis management process »,* Internal research report n°RR/08/02, Ecole Nationale Supérieure Mines Alès –LGI2P, Laboratoire de Génie informatique et d'ingénierie de production, Nimes, France.
- **DAL PONT J P., (2016),** *« Sécurité et gestion des risques »,* Technique de l'ingénieur, [se12v3], France.
- **DASSENS A., (2007),** *« Méthode pour une approche globale de l'analyse de risques en entreprise »*, Rapport de thèse Université de Haute Alsace, 280 p., fév. 2007, USA.
- **DASSENS A., LAUNAY R., (2008),** *« Etude systémique de l'analyse de risques – Présentation d'une approche globale »***,** Technique de l'ingénieur, [ag1585], 22 p, France.
- **DAVID B, (2001),** *« IHM pour les collecticiels, Réseaux et systèmes répartis »,* éd. Hermès, pp.169–206, France.
- **DEEB S., (2008),** *« Contribution méthodologique à la maitrise conjointe de la qualité d'un produit et de ses processus »,* thèse de Doctorat en Automatique, Traitement du signal et Génie informatique**,** Ecole Doctorale IAEM de Lorraine, Nancy, France.
- **DELESSE C., VERNAT G., (2003),** *« IES et management des risques quelle interopérabilité ? »* Synthèse de l'ouvrage IES : des logiques appropriées à la gestion intégrée des risques, Connaissance et action n°16, EBSCO publishing.
- **DENG T., ZHOU X., (2010),** *« Risk correlation analysis for China's construction projects bases on stakeholder theory »*, International Journal of Management Science and Engineering Management, 5 (4) : 285-292,2010.
- **DEROUSSY P. B., (2015),** *« Approche systémique de la créativité : Outils et méthodes pour aborder la complexité en conception amont »,* Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers –ENSAM, France.
- **DESCHANELS J. L., (2003),** *« Maitrise du risque : s'appuyer sur l'expérience »*, Editions AFNOR, MAR-A-I-11, juin 2013, France.
- **DESROCHES A., LEROY A., VALLEE F., (2003),** *« La gestion des risques –principes et pratiques »,* Hermès/Lavoisier, 286p., France.
- **DESROCHES A., AGUINI N., DADOUN M., DELMOTTE S, (2016),** *« Analyse globale des risques »,* 2ème édition, éditions Lavoisier, Paris, France.
- **DESROCHES A., (2012),** *« Gestion des risques d'un projet »,* Techniques de l'Ingénieur [se2040], France.
- **DEWAN P., (2001),** *« An integrated approach to designing and evaluating collaborative applications and infrastructures. In Computer Supported Cooperative Work (CSCW) »*, Kluwer Academic Publishers, pp. 75–111, Pays-Bas.

- **DJAOUT I., (2009),** *« Méthodes d'analyse de risques dans les entreprises générant des produits à risques »* Mémoire de master, Ecole Centrale de Paris, France.
- **DONNADIEU G. & KARSKY M., (2002),** *« La systémique, penser et agir dans la complexité »,* Editions de Liaisons, France.
- **DONNADIEU G., DURAND D., NEED D., NUEZ E., et SAINT PAUL L., (2003),** *« L'approche systémique : de quoi s'agit-il ? »* Synthèse des travaux du groupe AFSCET, Sept. 2003, France.
- **DRESCH M., (1995),** *« Gérer la qualité de la construction »,* éd. Eyrolles, Paris, France.
- **DUBOST J., (2009),** *« Variabilité et incertitudes en géotechnique : de leur estimation à leur prise en compte »,* Thèse de Doctorat en Mécanique et Ingénierie, Université Bordeaux 1- Bordeaux, 356 p., France.
- **DURAND D., NUNEZ E.,** *« Pour une pédagogie opérationnelle de l'approche systémique »*, in http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/DurandNunez.pdf
- **DURAND D., NEEL D., NUNEZ E., DONNADIEU G., SAINT PAUL L., (2003)** *« L'approche systémique de quoi s'agit-il ? »*, Synthèse des travaux du groupe AFSCET Diffusion de la pensée systémique, in : http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf, France.
- **DURAND D., (2006),** *« La systémique »,* éd. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris, France.
- **EDMUNDAS K., Z., ZENONAS T., JOLANTA T., (2010),** *« Risk assessment of construction projects »,* Journal of Civil Engineering and Management, 2010, 16(1) : 33–46, http://dx.doi.org/10.3846/jcem.2010.03, Vilnius, Lithuanie.
- **EL HAJJ C., PIATYSZEK E., LAFOREST V., (2012)** *« Development of generic scenarios of industrial accidents triggered by floods : a first step toward decreasing the vulnerability of industrial facilities. »* Proceedings de Risk analysis VIII, C.A. Brebbia Wessex Institut of Technology UK, pp. 103–114, 19-21, Septembre 2012, Croatia.
- **EL HAJJ C., (2013),** *« Méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech) d'un site industriel »*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France.
- **EIF, (2010),** *« European Interoperability Framework (EIF) for European public services »,* Belgique.
- **EIF, (2004),** *« European Interoperability Framework for pan-European eGovernment Services,Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations,Businesses and Citizens (IDABC) »,* Belgique .
- **EIF2, (2011),** European Interoperability Framework (EIF) *« Towards Interoperability for European Public Services »*, Belgique.
- **ELLIS C., & WAINER J., (1994)** *« A conceptual model of groupware. Proceedings of the 1994 ACM »*, Conference on Computer supported cooperative work – CSCW, 94, pp.79–88, Chapel Hill, North Carolina, USA.
- **EU, (2003),** *« The Role of eGovernment for Europe's Future - Report. »* COM, 567, Belgique.
- **EUROCODE 7, (1996),** *« Calcul géotechnique »,* XP ENV 1997-1 .Indice de classement P-94-250-1, France.

❑ **EUROPEAN COMMISSION BRUSSELS, COM (2017),** *« 134 final communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions »,* European interoperability framework – implementation strategy.

❑ **EWALD F, (1999),** *« Le risque dans la société contemporaine »,* in Risque & Société, pp. 42-61, Editions Nucléon, France.

❑ **FAISANTIEU D., (2013),** *« Prévention des désordres liés au sol dans la construction* », Unitheque, Editeur : Eyrolles, Collection : Blanche BTP, France.

❑ **FALLET-FIDRY G., (2012),** *« Contribution à la modélisation et au traitement de l'incertain dans les analyses de risques multidisciplinaires de systèmes industriels »*, Thèse de Doctorat en Automatique, Traitement du Signal et des images, Génie Informatique, Université de Lorraine, France.

❑ **FAVRE J. L., (2000),** *« Les différents types d'erreurs et leur prise en compte dans les calculs géotechniques »*, Revue Française de Géotechnique, n°4, pp.11-20, France.

❑ **FAVRE R., (2001),** *« Human factor aspects in engineering »,* IABSE Conf. Safety, Risk and Reliability, p.855-860, 21-23 mars 2001, Malte.

❑ **FAVRE J. L., (2004),** *« Modélisation de l'incertain, fiabilité, analyse des risques »,* éditions Ellipses, France.

❑ **FAVRE J. L., (2005),** *« Sécurité des ouvrages et risques, modélisation de l'incertain, fiabilité, analyse des risques »*, éditions Ellipses, 318p, France.

❑ **FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION, (2006),** *« Construction project management handbook »,* éditions FTA, USA.

❑ **FLÉCHON P., (2017),** *« Les méthodes et outils de l'approche risques et opportunités de l'ISO 9001 »,* Techniques de l'Ingénieur, [1595], France.

❑ **FLYVBJERG B., HOLM M. S., BUHL S., (2002),** *« Underestimating costs in public works projects, Error or lie ? »,* Journal of the American Planning Association 68(3) : 279–295, USA.

❑ **FOUGERES A. J., (2006),** « *Les micro-outils pour assister la conception collaborative* », Journée CoAct, Nantes, 26 juin 2006 12 pages, France.

❑ **FREMONT L., (2011),** « *Quelle stratégie pour la mise en place d'une plateforme collaborative de partage de l'information au sein d'une organisation ? Le cas d'un site SharePoint pour la Division santé d'Orange- Orange Healthcare »*, Mémoire pour obtenir le Titre professionnel "Chef de projet en ingénierie documentaire" INTD, Conservatoire National des Arts et Métiers, France.

❑ **FROQUET L., (2005),** *« Contribution à l'analyse des risques : Proposition d'une méthode par scenarios et capitalisation de la connaissance »,* Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, France.

❑ **FRUEHWALD E., SERRANO E., TORATTI T., (2007),** *« Design of safe Timber Structures – How can we learn from structural Failures in concrete, steel and Timber ? »* Lund Institute of Technology, Lund, Suède.

❑ **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.

- **GALASSO F., DUCQ Y., LAURAS M., GOURC D., CAMARA M., (2014),** *« A method to select a successful interoperability solution through a simulation approach »*, Journal of Intelligent Manufacturing, Springer Science + Business Media New York, DOI 10.1007/s10845-014-0889-4, USA.

- **GARDES L., (2001),** *« Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME : Application au secteur de traitement de surface* »**,** Thèse de doctorat, Institut des sciences appliquées de Lyon et Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, France.

- **GOURC D., (2006),** *« Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services* », Rapport d'Habilitation, Institut national Polytechnique de Toulouse, France.

- **GRANDAMAS O., (2010),** *« Méthode MADS-MOSAR - Pour en favoriser la mise en œuvre »*, Technique de l'ingénieur, [se4062], France.

- **GRES S., (2002),** *« Approche pour la conception de systèmes complexes* », Techniques de l'Ingénieur, [ag1560], France.

- **GRIMALADI S., RAFGELE C., (2008),** *« A tool selection and support methodology for project risk management »***,** 22nd IPMA Word Congress, 9–11 November 2008, Roma, Italie.

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

- **GUEMACHE A., (2018),** *« Gestion des grands projets : les trois tares de l'Algérie »,* https://www.tsa-algerie.com/gestion-des-grands-projets-les-trois-tares-de-lalgerie/, 22 juillet 2018.

- **GUENNOUN M., TALBI A., (2012),** *« Identification et classification des risques selon la typologie des entreprises »,* Congrès International en Génie Industriel et Management des Systèmes (CIGIMS 2012). 1ère Edition, du 18 au 19 Avril 2012, Fès, Maroc.

- **GUERRERO O., (2014),** *« Comparaison et couplage de méthodes géophysiques pour l'amélioration des reconnaissances des sols dans les projets géotechniques en milieu périurbain »,* Université de Bordeaux, France.

- **GUERRIERO A., (2009),** *« La représentation de la confiance dans l'activité collective, Application à la coordination de l'activité de chantier construction »*, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Nancy, France.

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

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

- **GUIDE METHODOLOGIQUE,** *« La gestion des risques dans les grands projets d'infrastructure publique »*, Infrastructure Québec, Canada.

- **GUIDE TECHNIQUE (2000),** *« Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements »*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), France.

- **GUO F., RICHARDDS Y. C., WILKINSON S., LI T. C., (2013),** *« Effects of project governance structures on the management of risks in major infrastructure projects : A comparative analysis »*, International Journal of Project Management 32 (2014) 815-826, éd. Elsevier, Pays-Bas.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

❑ **HADJI REZAI S., ALLARD F., ABELE C., DOYA M., (2014),** *« Improving component integration in building construction process »*, Article de conférence : 40th IAHS World Congress on Housing: Sustainable Housing Construction, 16-19 décembre 2014, Funchal, Madère, Portugal.

❑ **HADJI REZAI S., ALLARD F., ABELE C., DOYA M., (2015),** *« Evaluating External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) regarding the building's global performance »*, Energy Procedia, Volume 78, pp. 1562-1567, Elsevier, Pays-Bas.

❑ **HADJI REZAI S., (2017),** *« Méthode d'évaluation de l'impact des composants de construction sur la performance globale (énergétique & environnementale, économique et sociale) d'un bâtiment tout au long de son cycle de vie »*, Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, France.

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

❑ **HALLOWELL M. R., GAMBATESE J. A., (2010),** *« Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research »,* Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136, No. 1, January 1, ASCE, USA.

❑ **HAMZAOUI F., (2015),** *« Management des risques dans la construction dans l'environnement algérien : Intégration de la méthodologie RBS dans l'approche par le REX »,* Thèse de doctorat**,** Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie.

❑ **HANSER D., (2003),** *« Proposition d'un modèle d'auto-coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment »,* Thèse de Doctorat en Science de l'Architecture, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.

❑ **HERLIN A., BREYSSE D., LEDOUX Y., COHEN A., (2011),** *« Trois approches complémentaires pour l'analyse des risques de projet »*, Article de rencontres : XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil, 29 au 31 mai 2011, Tlemcen, Algérie.

❑ **HMAYMESS R., (2012),** *« Volume 2 : Etude probabiliste de la stabilité du talus MAR ROUKOZ »*, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Université Libanaise, Faculté de Génie II, Liban.

❑ **HUBERT B., (2003),** *« Approche des études géotechniques liées à la pathologie des ouvrages ; étude de cas »*, revue Géologues, n° 139, France.

❑ **HUTTER E., (2003),** *« Rôle de l'ingénierie technique en construction »*, Techniques de l'Ingénieur, [ag3310], France.

❑ **IEEE, (1999),** *« Standard for application and management of the systems engineering process »*, IEEE 1220, janvier 1999.

❑ **IDDIR O., (2016),** *« Prise en compte de l'action humaine dans les mesures de maîtrise des risques »,* Techniques de l'Ingénieur, [1348], France.

❑ **INERIS, (2010),** *« Mouvements de terrain : une problématique préoccupante »*, le magazine de l'institut National de l'environnement industrie et des risques N°27 – Septembre 2010, France.

❑ **ISO/DIS 11354-1, (2009),** *« Advanced automation technologies and their applications. Part 1 : Framework for enterprise interoperability »,* Suisse.

- **ISO 17933 (2000),** *« GEDI - Échange standard de documents électroniques ».* ISO TC 46/SC 4, Suisse.
- **ISO 31000 (2015),** *« Management des risques, Principes et Lignes Directrices »,* Suisse.
- **ISO/CEI 17025 (2005),** *« Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais »,* Suisse.
- **ISO 9001 (2015),** *« Système de management de la qualité ; exigences »,* Suisse.
- **ISO 10006 (2017)**, *« Management de la qualité -- Lignes directrices pour le management de la qualité dans les projets »,* Suisse.
- **JOUINI S., MIDLER C., (1996),** *« L'ingénierie concourante dans le bâtiment »,* Synthèse des travaux du GREMAP '*Plan urbanisme construction et architecture',* La Recherche n° 75, France.
- **KAJTAZI M., HAFTOR D. & MIRIJAMDOTTER A., (2011),** *« Information Inadequacy : Some Causes of Failures in Human »*, Social and Industrial Affairs, 14(1), pp. 63–72.
- **KANSAL R. K., SHARMA M., (2012),** *« Risk assesment methods and application in the construction projects »*, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol.2, Issue.3, May-June 2012, pp-1081-1085, Inde.
- **KATSUYOSHI I., (1996),** *« Maîtriser la qualité »,* éd. Mare Nostrum, (France).
- **KERVEN G. Y., RUBISE P., (1991),** *« L'archipel du danger, Introduction aux cindyniques »*, éditions Economica, France.
- **KHARTABIL F. K., BREYSSE D., TAILLANDIER F., (2013),** *« On the risk management of construction project : a knowledge-based approach »*, 21ème Congrès Français de Mécanique, 26 au 30 aout 2013, Bordeaux, France
- **KLEMETTI A., (2006),** *« Risk management in construction project networks* ». Ph.D Thesis, Helsinki University of Technology, Finlande.
- **KUBICKI S., (2006),** *« Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments. Une approche pour les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération »*, Thèse de Doctorat en Science de l'Architecture, Université Henri Poincaré Nancy 1, France.
- **KUBICKI S., BIGNON J. C., HALIN G., (2005),** *« Qualité et coopération de mise en œuvre du bâtiment »,* Colloque Ramau (Réseau activités et métiers de l'architecture et de l'urbanisme), pp.1-12, France.
- **KULHAWY, F.H., (1992),** *« On evaluation of statistic soil properties. »*, in stability and performance of slopes and embankments II (GSP31), ASCE, Edited by seed, R.B. and Boulanger, R.W., New York, 95-115, USA.
- **LAAROUSSI A., (2007),** *« Assister la conduite de la conception en architecture : vers un système d'information oriente pilotage des processus »,* Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, France.
- **LACASSE S., NADIM F., (1996),** *« Uncertainties in characterizing soils properties »,* Shackelford, Nelson and Roth (Eds), Uncertainty in the geologic environment : from theory to pratice, ASCE Geotechnical special publication n°58, pp.269-286, USA.

❑ **LACASSE S., NADIM F., (2007),** *« Probabilistic geotechnical analyses for offshore facilities »*, Georisk : Assesment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, Vol. 1, n°1, pp.21-42, Taylor and Francis, Royaume Uni.

❑ **LAIR J., (2000),** *« Évaluation de la durabilité des systèmes constructifs du bâtiment »,* Thèse de Doctorat en Génie Civil, Université Blaise Pascal de Clermont II, France.

❑ **LASRI Y. & HAMOUDI A., (2012)** *« Etude de la bretelle principale A de l'échangeur de la RN02 sur 4km avec un pont cadre »* Mémoire de master en Génie civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie.

❑ **LARSON E. W., GRAY C.F.,** Adaptation Française: **GUILLOTE C. A., CHARBONNEAU J., (2014),** *« Management de projet »,* 2ème éd. Dunod, Paris, France.

❑ **LAURILLAU Y., (2002),** *« Conception et réalisation logicielles pour les collecticiels centrées sur l'activité de groupe : le modèle et la plate-forme Clover. »*

❑ **LE COZ E., (2003),** *« Système de management de la qualité (SMQ) : processus d'amélioration »*, Techniques de l'Ingénieur, [ag1750], France.

❑ **LEGALL V., (1998),** *« Management environnemental »,* Techniques de l'Ingénieur, [ag4130], France.

❑ **LE MOIGNE J.L., (1977),** *« La Théorie du système général – Théorie de la modélisation »*, PUF, 320 p., juin 1977, France.

❑ **LE MOIGNE J. L., (1990),** *« La modélisation des systèmes complexes »,* éd. Dunod, France.

❑ **LE MOIGNE J. L., (1995),** *« La théorie du système général »*, PUF, 4ème édition mise à jour, France.

❑ **LE MOIGNE J.L., (1999),** *« La Modélisation des systèmes complexes »,* Dunod, 2ème édition, Paris, France.

❑ **LE MOIGNE J. L., (2006),** *« La théorie du système général théorie de la modélisation : La modélisation des systèmes complexes »,* Collection les classiques du réseau intelligence de la complexité, France.

❑ **LE RAY J., (2010),** *« Lecture critique de la norme NF ISO 31000 »,* Editions AFNOR, MAR-A-I-30-71, France.

❑ **LE RAY J., (2012a),** *« Référentiel de gestion du risque et cartographie globale des risques »,* Techniques de l'Ingénieur, [g9010], France.

❑ **LE RAY J., (2012b),** *« Premiers pas dans le management du risque »,* Techniques de l'Ingénieur, [g9000], France.

❑ **LE RAY J., (2012c),** *« Déploiement d'un système de management du risque* », Techniques de l'Ingénieur, [g9200], France.

❑ **LE RAY J., (2013),** *« Organisation du mangement du risque et traitement des risques »,* Techniques de l'Ingénieur, [g9210], France.

❑ **LE RAY J., (2015a),** *« De la gestion des risques au management des risques pourquoi ? comment ?* », éditions AFNOR, France.

❑ **LE RAY J., (2015b),** *« Amélioration continue, une démarche adaptée à la gestion des risques »*, éditions AFNOR, MAR-II-30-14, France.

❑ **LE RAY J., (2015c),** *« Maitrise des risques : Dimension rationnelle »*, éditions AFNOR, MAR-II-30-10, France.

- **LESBATS M., DOS SANTOS J., PERILHON P., (1997),** *« Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements dans les systèmes (MADS)* : *Présentation de la science du danger. Urgences Médicales »,* 16(2) : 53–62, France.
- **LESBATS M., (2012),** *« Précis de gestion des risques »*, L'essentiel du cours, fiches-outils et exercices corrigés, éditions Dunod, Paris, France.
- **LES CAHIERS QSE, (2008),** *« Comment intégrer les systèmes de management, Qualité, sécurité, environnement »*, éd. Euro Symbiose, France.
- **LEVAN S. K., (2016),** *« Management et Collaboration BIM »,* 2ème éd. Eyrolles, Paris, France.
- **LIAO Y., (2013),** *« Semantic annotations for systems interoperability in a plm environment »,* Thèse de doctorat, Université de Lorraine, Nancy, France.
- **LI-YIN SHEN, JIAN LI HAO, VIVIAN WING-YAN TAM AND HONG YAO, (2007),** *« A checklist for assessing sustainability performance of construction projects »*, Journal of civil engineering and management, Vol XIII, No 4, 273–281, Vilnius, Lithuanie.
- **LORINO T., (2005),** *« Autopsie d'une chaussée »,* Document LCPC, Paris, France.
- **L.T.P.P-SOCOTEC,-Bureau VERITAS, (2003),** *« Actualité techniques en Polynésie* », bulletin d'information n°02, p.5, Polynésie Française.
- **MAGNAN J. P., (2000a),** *« Quelques spécificités du problème des incertitudes en géotechnique »,* Revue française de géotechnique, Numéro 93, 4ème trimestre 2000, France.
- **MAGNAN J. P., (2000b),** *« Réflexions sur la place des essais de laboratoire dans la pratique de la géotechnique »,* Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n°229, note technique 4355, France.
- **MAGNAN J. P., (2003),** *« La place de la géotechnique dans l'organisation des projets et des travaux »,* La lettre de la géotechnique, éd. SIMSG (ISSMG), Numéro 31, France.
- **MALAREWICZ J. A., (2005),** *« Systémique et entreprise »,* éd. Pearson Village Mondial, France.
- **MALATERRE C., BERSON J L., KOVALEVSKY O., (2016),** *« Comment décliner l'approche risques aux niveaux système, processus et opérations »,* Techniques de l'Ingénieur, [1358], France.
- **MALCURAT O., (2001),** *« Modélisation d'un environnement logiciel d'assistance au travail collaboratif dans le secteur de l'architecture et du BTP »*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- **MALLEK S., DACLIN N., CHAPURLAT V., (2010a),** *« Toward a conceptualisation of interoperability requirements »,* Enterprise Interoperability IV : Making the Internet of the Future for the Future of Enterprise, 2010: 439-448.
- **MALLEK S., DACLIN N., CHAPURLAT V., (2010b),** *« Catégorisation et formalisation des exigences d'interopérabilité dans les processus collaboratifs »*, Ingénierie des Systèmes d'Information, Modélisation d'entreprise et interopérabilité, Revue des Sciences et Technologies de l'Information, RSTI série ISI Volume 15 – numéro 5, octobre 2010.
- **MALLEK S., DACLIN N., CHAPURLAT V., (2011),** *« An approach for interoperability requirements specification and verification »,* International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability, IWEI 2011, 23-24 mars 2011, Stockholm, Suède.

- **MALLEK S., (2011),** *« Contribution au développement de l'interopérabilité en entreprise : vers une approche anticipative de détection de problèmes d'interopérabilité dans des processus collaboratifs »,* Thèse de Doctorat, Ecole des Mines d'Alès, France.
- **MARINONI, O., (2003),** *« Improving geological models using a combined ordinary - indicator kriging approach »*, Engineering Geology, 69, pp. 37-45.
- **MARQUES G., (2010),** *« Management des risques pour l'aide à la gestion de la collaboration au sein d'une chaine logistique : une approche par simulation »*, Institut National Polytechnique de Toulouse, INPT, France.
- **ARREF S., LONDICHE H., BENOUDJIT A., (2007),** *« Impact study of the technology transfer for a better risk management in textile industry »*, Risk, Reliability and Societal Safety –Aven and Vinnem (eds), Taylor and Francis, pp.1253-1260, Royaume-Uni.
- **MARREF S., LONDICHE H., BENOUDJIT A., (2010),** *« Etude de l'impact du transfert de technologie pour une meilleure gestion des risques »,* Revue Internationale sur l'Ingénierie des Risques Industriels, 2010, 3 (2), pp.24-44, France.
- **MARTIN P., (1997),** *« La géotechnique : principes et pratiques »,* éd. Masson, Paris, France.
- **MARTIN P., (2007),** *« Ces risques que l'on dit naturels »,* éd. Eyrolles, France.
- **MARTIN P., (2008),** *« Géotechnique appliquée au BTP »,* éd. Eyrolles, France.
- **MATOUSEK M., SHNEIDER J., (1976),** *« Untersuchungen zur struktur des sicherheitsproblems bei Bauwerken, Birkhauser »,* Bâle, Suisse.
- **MAZOUNI M. H., (2008),** *« Pour une meilleure approche du management des risques de la modélisation ontologique du processus accidentel du système interactif d'aide à la décision »,* thèse de Doctorat en Automatique, Traitement du Signal et Génie Informatique, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.
- **MAZOUNI M. H., AUBRY J. F., (2009),** *« De l'analyse préliminaire de risque au système d'aide à la décision pour le management des risques ».* 8ème Congrès international pluridisciplinaire en Qualité et Sûreté de Fonctionnement, Qualita 2009, Mars 2009, Besançon, France.
- **MEINADIER J. P., (1997),** *« L'intégration des systèmes »,* éd. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris, France.
- **MERLO C., (2009),** *« Systèmes d'information supports aux acteurs, en conduite de la conception »,* Rapport d'habilitation, Université Bordeaux 1, Bordeaux, France.
- **MESQUITA E., (2002),** *« Concurrent engineering in construction studies of brief-design integration »*, Proceeding of IGLC-10 Conference Gramado, Brésil.
- **MILLS A., (2001),** *« A systematic approach to risk management for construction »,* Structural Survey, Vol. 19, N. 5, pp. 245-252
- **MOALLA N., PANETTO H., BOUCHER X., (2012),** *« Interopérabilité et partage de connaissances »,* Ingénierie des systèmes d'information, éd. Lavoisier, 2012, 17 (4), pp. 7-16, France.
- **MONTMAIN J. et PENALVA J M., (2007),** *« La décision, une rupture - La perspective du management du risque »*, Revue 2001+ du Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, France.
- **MORIN E., (1977),** *« La méthode ; la nature de la nature »,* Tome 1, éd. du Seuil, France.

❑ **MORTUREUX Y., (2016)** *« Analyse préliminaire des risques », Techniques de l'Ingénieur* [se4010 v1], France.

❑ **MORTUREUX Y., (2017)** *« Arbres de défaillance, des causes et d'événement », Techniques de l'Ingénieur* [se4050 v1], France.

❑ **MOSKOLAI J., AYISSI A., HOUE-NGOUNA R., (2013),** *« Intégration et interopérabilité des systèmes d'information hétérogènes dans des environnements distribués : vers une approche flexible basée sur l'urbanisation des systèmes d'information* », Conférence de Recherche Internationale en Informatique, Déc. 2013, Yaoundé, Cameroun.

❑ **MOTTO C., (2013),** *« Coacher les organisations avec les constellations systémiques* », Inter Éditions, France.

❑ **MOUGIN Y., (2004),** *« Processus : les outils d'optimisation de la performance »,* éd. d'Organisation, Paris, France.

❑ **MULLER A., (2010),** *« Développement d'une méthode de modélisation pour l'évaluation de la performance de stratégies de sécurité incendie »*, Thèse de Doctorat, Université de Haute Alsace - Mulhouse, France.

❑ **MUNOZ G. F., VIGNES A., PERRIN L., DUFAUD O., LAURENT A., THOMAS D., BOUILLARD J., (2007),** *« Comment assurer la sécurité d'un laboratoire utilisant des nanoparticules ? »*, in 11ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, 9–11 Octobre 2007, Saint-Etienne, France.

❑ **MUNOZ G. F., (2007),** *« Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité application au secteur minier colombien »*, Thèse de Doctorat en Génie des Procédés et des Produits, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.

❑ **NGUYEN T. H., GOURC D., (2008),** *« Maitrise de risques projet : Comment tenir compte des dépendances entre risques »,* 16ème Congrès de Maitrise des risques et de sureté de fonctionnement, 06–10 Octobre 2008, Avignon, France.

❑ **NGUYEN T. H., GOURC D., (2009),** *« Une méthode pour évaluer l'impact des risques et aider au choix stratégique de traitement des risques : Application au pilotage de projet »,* 8ème Congrès International de Génie Industriel, 10–12 Juin 2009, Bagnères de Bigorre, France.

❑ **NGUYEN T. H., (2011),** *« Contribution à la planification de projet : proposition d'un modèle d'évaluation des scenarios de risque-projet* », Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, France.

❑ **NIJEL J. SMITH, (2014),** *« Managing risk construction projects* », Wiley-Blackwell ; Édition : 3rd Edition, USA.

❑ **NORME NF P 94-500 (2013),** *« Missions d'ingénierie géotechnique classification et spécifications »,* Norme française, AFNOR, France.

❑ **NOUIGA M., (2003),** « *La conduite du changement par la qualité dans un contexte socioculturel. Essai de modélisation systémique et application à l'entreprise marocaine* », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Centre d'Enseignement et de Recherche de Paris, France.

❑ **OLANDER S., (2007),** *« Stakeholder impact analysis in construction project management* **»,** Construction Management and Economics, 25 :3, 277-278, DOI : 10.1080/01446190600879125.

❑ **ORTEGA I., (1999),** *« The incident reporting system (IRS), ITEM-HSG, Quality Management and Technology »*, Report n° 08, University of St Gallen, Suisse.

❑ **OUMEZIANE H., (2005),** *« Approche systémique pour une ingénierie du bâtiment intégrée. Contribution à l'interopérabilité d'acteurs en conception avancée* », Thèse de Doctorat en Génie Industriel, Ecole Centrale de Paris, France.

❑ **PANETTO H., (2006),** *« Meta-Modèles et Modèles pour l'Intégration et l'Interopérabilité des Applications d'Entreprises de Production »*, Thèse de HDR, Université Nancy 1, France.

❑ **PANETTO H., (2007**), *« Towards a Classification Framework for Interoperability of Enterprise Applications »,* International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 8, pp. 727–740.

❑ **PANETTO H., DASSISTI M. & TURSI A., (2012),** *«* ONTO-PDM : *product-driven Ontology for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment* », Advanced Engineering Informatics, 26(2), pp.334–348.

❑ **PARK I., AMARCHINTA H.K., GRANDHI R.V., (2010),** *« A Bayesian approach for quantification of model uncertainty, reliability »,* Engineering and System Safety, 95, pp. 777-785.

❑ **PAVIOT T., (2010),** *« Méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité dans le domaine du Product Lifecycle Management »,* Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, France.

❑ **PENALVA J.M., (1997),** *« La modélisation par les systèmes en situations complexes »,* Thèse de Doctorat, Université de Paris XI, France.

❑ **PERILHON P., (1999),** *« Réflexions sur les modèles de la science du danger »,* Ecole d'été Gestion Scientifique du Risque, 6/10 septembre 1999, Albi, France. http//www.agora21.org/ari/.

❑ **PERILHON P., (2000),** *« Analyse des risques, éléments méthodiques »,* Phoebus, la Revue de la Sûreté de Fonctionnement ; L'Analyse des Risques 12 : 31–49, France

❑ **PERILHON P., (2003a)**, *« MOSAR - Présentation de la méthode »,* Technique de l'ingénieur, [se4060], France.

❑ **PERILHON P., (2003b)**, *« Du risque à l'analyse du risque, Développement d'une méthode : MOSAR, méthode organisée et systémique d'analyse des risques »*, document de travail, Juin 2003, France.

❑ **PERILHON P., (2004),** *« MOSAR - Cas industriel »,* Technique de l'ingénieur, [se4061], France.

❑ **PERILHON P., (2007),** *« La gestion des risques. Méthode MADS MOSAR II - Manuel de mise en œuvre »,* Les Editions Demos, France.

❑ **PERINET R., NGHIEM VU T., (2010),** *« Evaluer la fiabilité humaine : quelle (s) méthode (s) choisir ? »,* Maîtrise des risques et de sureté de fonctionnement, Lambda-Mu-17, Oct 2010, Institut pour la Maitrise des Risques, Comm 1B-1. (ineris-00973592), La Rochelle, France.

❑ **PERRIN L., MUNOZ-GIRALDO F., DUFAUD O., LAURENT A., (2012),** *« Normative barriers improvement through the MADS/MOSAR methodology »,* Safety Science 50(7) : 1502–1512.

❑ **PHILIPONNAT G., HUBERT B., (2000),** *« Fondations et ouvrages en terre »,* éditions Eyrolles, France.

- **PHOON K. K., KULHAWY F. H., (1999a),** *« Characterization of geotechnical variability »,* Canadian Geotechnical Journal, 36, pp. 612-624, Canada.
- **PHOON K. K., KULHAWY F. H., (1999b)**, *« Evaluation of geotechnical property variability »*, Canadian Geotechnical Journal, 36, pp. 625-639, Canada.
- **PIAGET (1968),** *« Le structuralisme »,* éd. Que sais-je ?, PUF, Paris, France.
- **PIATYSZEK E., KARAGIANNIS G. M., (2012),** *« A model-based approach for a systematic risk analysis of local flood emergency operation plans: a first step toward a decision support system »,* Natural Hazards 61, pp. 1443-1462.
- **PIQUET A., (2009),** *« Guide pratique du travail collaboratif : Théories, méthodes et outils au service de la collaboration »,* Brest, France.
- **PIRAYESH A., SIADAT A., TAVAKKOLI-MOGHADDAM R., JOLAI F., (2011),** *« An integrated approach for risk-assessment analysis in a manufacturing process using FMEA and DES »,* In 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, IEEE, pp. 366–370.
- **PIRAYESH A. N., (2014),** *« Évaluation basée sur l'interopérabilité de la performance des collaborations dans le processus de conception »,* Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris Tech, Centre de Metz, France.
- **PMI (2013),** *« Guide du corpus des connaissances en management de projet* », 5°éd., Ed. PMI, USA.
- **PMI (2017),** *« Guide du corpus des connaissances en management de projet* », 6°éd., Ed. PMI, USA.
- **POTIN Y., (2006, 2007),** *« Travail coopératif quand la distance permet le rapprochement »,* CREG, Le travail coopératif assisté par ordinateur TCAO.
- **PRATS A., (2018),** *« Informations documentées et système de management environnemental ISO 14001 v. 2015 »,* Technique de l'ingénieur, [g5130 v2).
- **PROULX D., (2006),** *« Management des organisations publiques »,* éd. Presses de l'Université du Québec, Canada.
- **RAFINDADI A. D., MIKIE M., KAVACIE I., CEKE Z., (2014),** « *Global perception of sustainble construction project risks* », 27th IPMA Word Congress, Elsevier, Procedia a Social and Behavioral Sciences.
- **RAMOS N. M. M., BARREIRA E., SIMÕES M. L., DELGADO J. M. P. Q., (2013),** *« Probabilistic Risk Assessment Applied to Biological Growth on External Surfaces with ETICS »*, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 26 au 28 août 2013, Chambéry, France.
- **RETIS, (2017),** *« Outils collaboratifs en ligne, leur utilisation en entreprise (Partie 1) »*, https://www.retis.be/outils-collaboratifs-partie1/.
- **RIDOUX M., (2012),** *« AMDEC – Moyen »,* Techniques de l'Ingénieur [ag4220], France.
- **RIPERT C., (2008),** *« Essai d'une nouvelle détermination des responsabilités des constructeurs en matière de risques du sol : l'influence de la technique »,* Thèse de Doctorat en Droit Privé, Université du Sud Toulon Var, France.
- **RIVIERE M., (1990),** *« Examen des causes géotechniques d'origine anthropique tire de quelques 300 éboulements traites de 1959 à 1989 dans les Alpes maritimes (Secteur prive) »,* Mémoire HS n 15 - Géologie Alpine Risques naturels 1843-1846, Paris, France.

Report-Gratuit.com

- **ROBERT J., (2012),** *« Les orientations de la révision de la norme NFP 94-500 »,* Demi-journée technique du CFMS du 23 mai 2012, Paris, France.
- **ROBERT J., (2013),** *« La norme sur les missions d'ingénierie géotechnique, clé de voute du management des risques géotechniques de tout projet »,* Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.1843-1846, Paris, France.
- **ROQUE M., CHAPURLAT V., (2013),** *« Interoperability in Enterprises Networks: A Characterisation and Analysis Approach »,* Internal Research Report / Rapport Interne de Recherche n° RR/09-02, Ecole Nationale Supérieure Mines Alès –LGI2P, Laboratoire de Génie informatique et d'ingénierie de production, Nimes, France.
- **SAID A., (2006),** *« Approche systémique des organisations »,* éd. Oboulo.com, France.
- **SALBER D., COUTAZ J., DECOUCHANT D., RIVEILL M., (1995),** *« De l'observabilité et de l'honnêteté : le cas du contrôle d'accès dans la Communication Homme-Homme Médiatisée »*, in IHM'95, 7èmes journées de l'Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine, CEPAD Publ., pp. 27-33, France.
- **SAMSON L., (2017),** *« Approche systémique des facteurs humains dans l'entreprise »,* Techniques de l'Ingénieur, [ag1520 v1], France.
- **SAUVANT D.** *« Principes généraux de modélisation systémique ».*
- **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.
- **SCHINDLER A., (2009),** *« Vers la multi-performance des organisations : conception et pilotage par les valeurs du centre de recherche intégré MIRCen du CEA »,* Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, France.
- **SCHWEER H. T., (2002),** *« La sécurité sur les chantiers du BTP Propositions de directive européenne en formation »,* Université de Metz, France.
- **SEGUIN F., CHANLAT J. F., (1999),** *« L'analyse des organisations : une anthologie sociologique »,* tome 1, éd. Gaëtan Morin, France.
- **SETRA, (2008),** *« Insertion d'une infrastructure routière : Concilier terrassements et enjeux paysagers »,* Guide Technique n° 84, France.
- **SGHAIER W., (2014),** *« Méthode systémique de reconception des processus intégrant la maîtrise des risques : Contribution à la réingénierie des processus de l'EFS »*, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, France.
- **SHAHRIARI M., SAUCE G., BUHE C., BOILEAU H., (2015),** *« Construction project failure due to uncertainties - A case study »,* Occupational Safety and Hygiene III, pp. 165 - 169.
- **SHIEG M., (2006),** *« Risk managment in construction project management »,* Journal of Business Economics and Management, Vol. VII, n° 2, pp. 77-83.
- **SIENOU A., (2009),** *« Proposition d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise »*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.

- **SIMBA NGABI M., (2006),** *« Proposition d'une méthode de maitrise des risques industriels pour le respect de l'hygiène, de la santé, de la sécurité et de l'environnement dans le secteur pétrolier »,* Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Paris Tech, France.
- **SOURANI A., SOHAIL M., (2015)** *« The Delphi Method : Review and Use in Construction Management Research »*, International Journal of Construction Education and Research, Vol.11, pp. 54-76, USA.
- **TALON A., (2006),** *« Évaluation des scénarii de dégradation des produits de construction »*, Thèse de Doctorat en Génie civil, Université Blaise Pascal de Clermont II, France.
- **TAILLANDIER F., MEHDIZADEH R., BREYSSE D., (2011),** *« Evaluation et agrégation des risques pour les projets de construction par le recours aux Risk Breakdown Structures. »,* Article de conférence : XXIX^{èmes} Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011, Algérie.
- **TAILLANDIER F., HAMZAOUI F., TAILLANDIER P., BREYSSE D., (2015a),** *« Un nouveau modèle à base d'agents pour gérer les risques d'un projet de construction - Application au carrefour de Bab El Karmadine à Tlemcen »*, Article de conférence : 33ème Rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA, 27 au 29 mai 2015, Anglet, France.
- **TAILLANDIER F., TAILLANDIER P., TEPELI E., BREYSSE D., MEHDIZADEH R., KHARTABIL F., (2015b),** *« A multi-agent model to manage risks in construction project (SMACC)* », Automation in Construction, Tome 58, 2015, 1-18.
- **TENDILLE L., SAINT-DIZIER DE ALMEIDA V., VAN DE WEERDT C., (2017),** *« Instruire les risques professionnels en entreprise : étude d'un travail collaboratif d'intégration des risques »,* Psychologie du travail et des organisations 2, pp. 380–393, Science direct, Elsevier, Pays-Bas.
- **TEPELI E., (2014),** *« Processus formalise et systémique de management des risques pour des projets de construction complexes et stratégiques »*, Thèse de Doctorat en Génie Civil, Université de Bordeaux, France.
- **TERWEL K., BOOT W., NELISSE M., (2014),** *« Structural unsafety revealed by failure databases »*, Forensic Engineering, Volume 167 issue FE1, ICE publishing.
- **THIBAUT O., (2007),** *« Contribution au développement d'une méthode globale d'analyse des risques sur un territoire »*, Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Université de Haute-Alsace, France.
- **THIETARD A., (2000),** *« Management et complexité : concepts et théories »,* Cahiers DMSP, n° 282, France.
- **THIVEL P.-X., BULTEL Y., DELPECH F., (2008),** *« Risk analysis of a biomass combustion process using MOSAR and FMEA methods »,* Journal of Hazardous Materials, 151(1) : 221–231, éd. Elsevier, Pays-Bas.
- **TIXIER J., DUSSERRE G., SALVI O., GASTON D., (2002),** *« Rewiew of 62 risk analysis methodologies of industrial plants »*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15(4) : 291–303, éd. Elsevier, Pays-Bas.
- **TOUZI J., (2007),** *« Aide à la conception de Système d'Information Collaboratif support de l'interopérabilité des entreprises »,* Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Ecole des Mines d'Albi Carmaux, France.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

❑ **TRUPTIL S., (2011),** *« Etude de l'approche de l'interopérabilité par médiation dans le cadre d'une dynamique de collaboration appliquée à la gestion en crise »,* Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, France.

❑ **TUPENAITE L., EDMUNDAS K. Z., KAKLAUSKAS A., ZENONAS T., SENIUT M., (2010),** *« Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation »,* Journal of Civil Engineering and Management, 16:2, 257-266, http://dx.doi.org/10.3846/jcem.2010.30, Vilnius, Lithuanie.

❑ **TURCHANY G., (2008),** *« La théorie des systèmes et systémique ».* https://inventin.lautre.net/livres/Turchany-Theorie-des-systemes.pdf.

❑ **U.S.G., (2007),** *« Recommandations sur la consistance des investigations géotechniques pour la construction de bâtiments »,* Rapport à l'usage des professionnels, France.

❑ **UZEILLI M., SIMONINI P., COLA S., (2008),** *« Stastical identification of homogeneous soil units for venice lagoon soils* ». 3rd International symposium on geotechnical and geophysical site characterization, Huang and Maynes (EDS), 1-4 april, Taipei, Taiwan.

❑ **VALLEE F., CODINA G., (2003),** « *Mouvements de fondation en maison individuelle* », Sycodés Information, janvier février 2003, n° 76, p. 53.

❑ **VERDEL T., (2000),** *« Méthodologies d'évaluation globale des risques - Applications potentielles au génie civil »*, Colloque International Risques et Génie Civil, 8–9 Novembre 2000, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp 23-38, France.

❑ **VERDEL T., (2007),** *« Risques et incertitudes en géo mécanique »*, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Ecole des Mines de Nancy, Université de Nancy, France.

❑ **VETIL J Y., FLASQUIN D., (2017),** *« Le BIM pour la structure –Une pratique collaborative »,* Techniques de l'Ingénieur, [c3201v1].

❑ **VEYRET Y., GARRY G., MESCHINET DE RICHEMOND N., (2004),** *« Risques naturels et aménagement en Europe »*, éd. Armand Colin, 254p, France.

❑ **VEZOLE P., (2004),** *« La reconnaissance géotechnique et la norme NF P 94 500 »*, revue Travaux n°807, France.

❑ **VIDEGRAIN J. F., VRIGNON P., (1999),** *« Qualité, certification et qualification en BTP, guide pratique des normes ISO 9000 »*, éd. Eyrolles, Paris, France.

❑ **VIGUIE P., (2010),** *« Pilotage d'implémentations d'outils de TCAO au sein d'une organisation : une approche méthodologique »,* Thèse de Doctorat en Informatique, Université Paul Sabatier, Toulouse III, France.

❑ **VILLEMEUR A., (1988),** *« Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels »*, éd. Eyrolles, Paris, France.

❑ **VOISIN J. C., MOINEAU J. P., (2006),** *« Prévention des risques professionnels sur les chantiers »*, Techniques de l'Ingénieur, [c113 v2], France.

❑ **VON BERTALANFFY L., (1968/1973),** *« Théorie générale des systèmes »,* traduction française 1973 (éd. Originale 1968), éd. Dunod, France.

❑ **VROUWENVELDER A., HOLICKY B.M., TANNER C.P., LOVEGROVE D.R., CANISIUS E.G., (2001),** *« Risk Assessment and Risk Communication in Civil Engineering »*, CIB Report : Publication 259.

- **YAHIA E., (2011),** *« Contribution à l'évaluation de l'interopérabilité sémantique entre systèmes d'informations d'entreprises : Application aux systèmes d'information de pilotage de la production »,* Thèse de Doctorat en Automatique, Traitement du Signal et des images, Génie Informatique, Université Henri Poincaré Nancy 1, France.
- **YAHIAOUI B., (2009),** *« Mouvements de fondation en maison individuelle »,* quotidien national El Watan, Algérie.
- **YANG J., QIPING SHEN G., HO M., DREW. D., CHAN P. C., (2009),** *« Exploring critical success factors for stakeholder management in construction projects »,* Journal of Civil Engineering and Management, 15 :4, 337-348, Vilnius, Lithuanie.
- **YATCHINOVSKY A., (2012**), *« L'approche systémique pour gérer l'incertitude et la complexité »*, Editions ESF, Collection formation permanente, France.
- **YOUSFI D., (2009),** *« De l'influence de l'opérateur et des écarts par rapport aux normes pour des essais géotechniques »,* Mémoire de Magister en Géotechnique, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie.
- **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.
- **WARINGO P., (2000),** *« L'organisation de la construction des cathédrales »,* Moyen-Âge n. 15, revue bimestrielle, mars-avril 2000, France.
- **WEGNER P., (1996),** *« Interoperability »,* ACM Computing Survey, 28(1), pp.285–287, IEEExplore, USA
- **WEI XIONGA, JING-FENG YUANB, QIMING LIB, MIROSLAW J. S., (2015),** *« Performance objective-based dynamic adjustment model to balance the stakeholders' satisfaction in PPP projects »,* Journal of Civil Engineering and Management, 21:5, 539-547, DOI : 10.3846/13923730.2014.895409, Vilnius, Lithuanie.
- **ZANDHUIS A., SNIJDERS P., WUTTKE T., (2014),** *« Un compagnon de poche du guide PMBOK du PMI »,* Basé sur le guide PMBOK 5ème éd., éditions Van Haren, Pays Bas.
- **ZERHOUNI M. I., (2011),** *« Pour une bonne réalisation des ouvrages géotechniques »,* Salon de la Géotechnique du Forage et des Fondations, France.
- **ZERHOUNI M. I., (2015),** *« Normalisation en géotechnique »,* Actes du 16ème Congrès Régional Africain de la Mécanique des Sols et de la Géotechnique – La géotechnique Innovante pour l'Afrique-, 27-30 avril 2015, pp. 61-68, Tunisie.
- **ZIGNALE D., (2013),** *« Concevoir des services collaboratifs adaptés à des pratiques métiers : une méthode centrée usages. Application au domaine de la construction »,* Thèse de Doctorat en Science de l'Architecture, Université de Lorraine, France.
- **ZIHRI G., (2004),** *« Risques liés aux ouvrages souterrains : construction d'une échelle de dommages »*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole des Mines de Nancy, France.
- **ZOU Y., JONES S.W., KIVINIEMI A., (2015),** *« BIM and Knowledge Based Risk Management System : A Conceptual Model »,* Article de rassemblement : CITA BIM Gathering 2015, 12 au 13 novembre 2015, Liverpool, Royaume Uni.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

RESUME

Depuis quelques années, les projets routiers et autoroutiers se multiplient en Algérie, sans respect des délais impartis, ni des coûts estimés, et souvent avec des malfaçons et des pathologies. En effet, ceux-ci sont souvent sous la menace de risques, et particulièrement géotechniques, d'origine naturelle ou anthropique, qui perturbent le bon déroulement du projet. De plus, leurs effets latents peuvent mettre en jeu la pérennité de l'ouvrage ainsi que la sécurité et le confort des usagers. Le travail de recherche présenté consiste à prendre en compte les facteurs de risques géotechniques, c'est-à-dire les incertitudes, les sources de danger ou les perturbations qui existent structurellement avant, au démarrage et pendant le projet en vue d'améliorer l'efficacité et l'efficience du management. Pour cela, et pour minimiser les risques géotechniques dans les projets routiers, nous avons choisi d'utiliser la méthode de maîtrise des risques MADS-MOSAR, jusque-là employés essentiellement dans le domaine de l'industrie ; une fois présentés, ces instruments seront appliqués au cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 (Tlemcen, Algérie). Le choix de cette démarche originale implique de faire appel, dans un premier temps, à la modélisation systémique et à l'analyse fonctionnelle, pour avoir une meilleure lisibilité du projet et des interactions existantes. A la fin, on démontrera la pertinence de ces outils dans le domaine du management des risques géotechniques pour les projets routiers tout en mettant en exergue l'importance de l'interopérabilité et du travail collaboratif des parties prenantes.

Mots clé : Risques Géotechniques ; Systémique ; MADS-MOSAR ; Interopérabilité

ABSTRACT

For the last few years, road and motorway projects have been developing in Algeria, without respect for deadlines or estimated costs, and often with defects and pathologies. Indeed, these projects exhibit many geotechnical disorders of natural or anthropic origin, which disturb their progress. Furthermore, the latent effects of these disorders can affect the life of the works as well as the safety and comfort of the users. The research work presented consists of taking into account the geotechnical risk factors, ie the uncertainties, the sources of danger or the disturbances, which exist structurally before, at the start and during the project in order to improve the efficiency and effectiveness of management. For this reason, and to minimize the geotechnical risks in the road project, we have chosen to use the MADS-MOSAR risk management method, previously used mainly in the field of industry; once submitted, these instruments will be applied to the main slip road “A” of the exchanger of the RN02 (Tlemcen, Algeria). The choice of this original approach involves using, initially, systemic modeling and functional analysis, to have a better readability of the project and existing interactions. At the end, we will demonstrate the relevance of these tools in the field of geotechnical risk management for road projects while highlighting the importance of interoperability and collaborative work of stakeholders.

Keywords: Geotechnical Risk, Systemic, MADS-MOSAR, Interoperability.

الـمـلـخـص

في السنوات الأخيرة، انتشرت مشاريع الطرق والطرق السريعة في الجزائر، دون احترام المواعيد النهائية أو التكاليف المقدرة، وغالبا مع وجود عيوب وأمراض. في الواقع، هذه غالباً ما تكون تحت تهديد المخاطر، ولا سيما الجيوتقنية، من أصل طبيعي أو بشري ، والتي تزعج تقدمها. وعلاوة على ذلك، فإن التأثيرات الكامنة لهذه الاضطرابات يمكن أن تؤثر على حياة الأعمال وكذلك سلامة وراحة المستخدمين. يتكون العمل البحثي المقدم من مراعاة عوامل الخطر الجيوتقنية، أي عوامل عدم اليقين، أو مصادر الخطر أو الاضطرابات التي كانت موجودة من الناحية الهيكلية، في بداية وأثناء المشروع من أجل تحسين كفاءة وفعالية الإدارة. ولهذا السبب ، وللتقليل من المخاطر الجيوتقنية في مشروع الطرق ، فقد اخترنا استخدام طريقة إدارة المخاطر MADS-MOSAR ، التي كانت تستخدم في السابق في مجال الصناعة ؛ بمجرد تقديمها ، سيتم تطبيق هذه الأدوات على الطريق الرئيسي "A" من مبادل RN02 (تلمسان ، الجزائر). يتضمن اختيار هذا النهج الأصلي استخدام، في البداية، النمذجة النظامية والتحليل الوظيفي، للحصول على قراءة أفضل للمشروع والتفاعلات القائمة. في النهاية، سنوضح أهمية هذه الأدوات في مجال إدارة المخاطر الجيوتقنية لمشاريع الطرق مع تسليط الضوء على أهمية التشغيل البيني والعمل التعاوني لأصحاب المصلحة.

كلمات البحث:،المخاطر الجيوتقنية ، MADS-MOSAR ، النظامية ، إمكانية التشغيل المتداخل

© Kamila Amel BENACHENHOU ; 2019.