

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



MEMOIRE Pour l'obtention du diplôme de
MASTER en Génie Civil
Option: Civil Engineering Management

THEME

MANAGEMENT DES RISQUES GEOTECHNIQUES
PAR LA METHODE « AMDEC » DANS
L'AMENAGEMENT URBAIN ET LA
CONSTRUCTION : DU PDAU AU PROJET DE
BATIMENT.

Soutenu en Juin 2014 par

CHERKI SAAD
HEMAHMI MOHAMMED RADWANE

Devant le Jury composé de

| | |
|------------------------------------|--------------|
| ABOU-BEKR Nabil | Président |
| BENDI-OUIS Assia | Examinatrice |
| BENZENINE Faïla | Examinatrice |
| ALLAL M. Amine | Encadreur |
| BENACHENHOU K. A ép. HAKIKI | Encadreur |

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

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCEN

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie Civil

Mémoire pour l'obtention du

Diplôme de Master en Génie Civil

Option **Civil Engineering Management**

Intitulé

**MANAGEMENT DES RISQUES GEOTECHNIQUES PAR LA
METHODE « AMDEC » DANS L'AMENAGEMENT URBAIN ET LA
CONSTRUCTION: du PDAU au PROJET DE BATIMENT.**

Présenté par

CHERKI SAAD

HEMAHMI MOHAMMED RADWANE

Soutenu en Juin 2014 devant le jury composé de

| | | |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| ABOU-BEKR Nabil | Professeur | Président |
| ALLAL M. Amine | Professeur | Encadreur |
| BENACHENHOU K. A. ép. HAKIKI | Maître assistante A | Encadreur |
| BENDI-OUIS Assia | Maître assistante A | Examinatrice |
| BENZENINE Faïla | Doctorante | Examinatrice |

**« Le succès est au bout de la course, mais la volonté doit
marquer chaque pas de la course»**

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu tout Puissant qui nous a donné la force et la volonté pour réaliser ce travail.

A travers ces quelques lignes, nous tenons à exprimer nos remerciements pour tous ceux et celles qui nous a aidé à la concrétisation de ce mémoire de projet de fin d'études.

Nous tenons à exprimer notre profond respect et gratitude à notre encadreur Monsieur ALLAL M. A, Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de nous encadrer tout au long de ce travail, pour sa disponibilité, son amabilité, ses conseils et suggestions durant tout notre cursus, et pour toute l'aide morale qu'il n'a cessé de nous donner.

Nous tenons aussi à remercier notre encadreur Madame BENACHENHOU K. A. ép. HAKIKI, Maître-assistante A à l'Université de Tlemcen, pour son encadrement, son soutien et son aide et son enthousiasme et optimisme qui nous a été précieuse.

Nous tenons également à remercier Monsieur ABOU-BEKR Nabil pour l'honneur qu'il nous fait de présider notre jury de soutenance nous lui exprimons ici notre profonde gratitude.

Nos remerciements s'adressent ensuite à Madame BENDI-OUIS Assia et Madame BENZENINE Faïla qui ont aimablement accepté d'être examinatrices de ce travail.

Que tout le corps professoral et administratif de l'université AbouBekr Belkaid trouve ici le témoignage de notre profonde reconnaissance pour leur contribution à la formation.

Nous désirons exprimer nos plus sincères remerciements à toute la promotion C.E.M professeur et étudiants, en particulier BOUBEKEUR Karim et AMIRET Younes qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous et à toutes.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin d'études

A mes très chers parents, Auxquels je dois ce que je suis. Que Dieu vous protège

A mes chers frères et ma petite sœur et mes deux belles-sœurs, Pour leur amour et leur incontestable appui sans oublier mon neveu « Nizar po »

A ma tante Hadja Yamina et son mari Hadj Bachir et leur fils et familles

A ma grande mère « Zahra » à qui je souhaite une très vite guérison et ma tante « Samira » qui même de loin me soutenaient moralement

A mon ami intime Mahdi Benyahia et sa famille

A mes plus proche de mon cœur Rebiai Ismail, Abderrahim, Bouziane, Mourad, Hmida, Nasro, Mohammed, Oussama, fethallah, Hakim, amine, Yacine, Anouar, Charaf, Adel, Samir, Kader, Anes et Mlle Bekara Meriem Amina. Je vous aime beaucoup

A tous mes chers amis pour tous les instants inoubliables que j'ai passés avec vous, les nommer serait inutile, ils se reconnaîtront. Qu'ils sachent que leur amitié m'est précieuse

A mon binôme pour son calme et son travail remarquable qu'il a fournit durant ce projet fin d'étude

A tous personne qui ont contribué de loin ou de près à l'accomplissement de ce mémoire, exceptionnellement monsieur ALLAL M. A et Mme BENACHENHOU K. A. ép. HAKIKI.

HEMAHMI Mohammed Radwane

Je dédie ce mémoire de fin d'études

A mes très chers parents, Auxquels je dois ce que je suis. Que Dieu vous protège

A mon cher frère et mes chères sœurs et toutes les familles

A tous mes chers amis pour tous les instants inoubliables que j'ai passés avec vous

A mon binôme pour son sourire devant les difficultés et son travail remarquable qu'il a fournit durant ce projet fin d'étude

A tous personne qui ont contribué de loin ou de près à l'accomplissement de ce mémoire.

CHERKI Saad

RESUME

Dans un environnement de plus en plus risqué, la gestion des risques constitue une priorité pour les autorités de ce pays. Pour cela notre travail fait partie d'une série de recherches consacrées au management des risques géotechniques, qui se fait avec mise en œuvre d'outils et des méthodes spécifiques de maîtrise des risques. Tous d'abord, nous avons commencé par caractériser les risques naturels et géotechniques et de mieux comprendre les causes qui font déclencher ces événements. Ensuite, nous avons essayé de définir les instruments d'urbanisme ainsi qu'un projet de bâtiment et leur importance pour assurer la durabilité de ce projet. Après avoir cadré les risques géotechniques, nous avons abordé l'essentiel des activités relatives du management des risques et son processus général : l'identification, l'évaluation, et l'analyse pour les risques géotechniques dans un milieu urbain ainsi que l'importance de la cartographie pour ce dernier. Aussi, pour manager les risques géotechniques avec plus d'efficacité et d'efficience, nous avons choisi d'utiliser la méthode de gestion des risques l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités) afin de démontrer son utilité pour l'élaboration de la cartographie des risques géotechniques.

Mots clés : Risque, Géotechnique, Instrument d'urbanisme, Management des risques, Méthode « AMDEC », Cartographie des risques.

ABSTRACT

In an environment of increasingly risky, risk management is a priority for the authorities of that country, for this our work is part of a series of studies devoted to the management of geotechnical risks which is done with implementing specific tools and methods of risk control. First of all, we started by definition natural and geotechnical risks and to better understand the causes which trigger these events. Then, we have tried to define the urbanism instruments and draft building and their importance for the durability of this project. After corresponding geotechnical risks, we have addressed the essential related activities of risk management and general process: identification, assessment and analysis for geotechnical risks in an urban environment and the importance of mapping for it. Also, to manage the geotechnical risks with more effectiveness and efficiency, we have chosen to use the method of risk management the FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) to demonstrate its usefulness for developing mapping geotechnical risks.

Keywords: Risk, Geotechnical, Planning instruments, Risk management, method FMECA, risk mapping.

الملخص

في بيئة محفوفة بالمخاطر على نحو متزايد ، تمثل ادارة المخاطر الأولية لسلطات هذا البلد في هذا السياق ؛ هذا العمل هو جزء من مجموعة البحوث الخاصة بمناجنت الأخطار الجيوتقنية مع وضع الأدوات و المناهج خاصة للتحكم بهذه الأخطار.أولا بدأنا بتعريف المخاطر الطبيعية و الجيوتقنية ومعرفة أهم الأسباب مؤدية لحدوثها.ثم حاولنا اعطاء مفهوم لأدوات التخطيط الحضري ومفهوم مشروع البناء وأهميتهم في ضمان استدامة هذا المشروع. بعد تأطير المخاطر جيوتقنية تحدثنا عن أهمية النشاطات و السيرورة العامة المرتبطة بتسيير المخاطر: تحديد ، تقييم و تحليل المخاطر الجيوتقنية في البيئة الحضرية مع اظهار أهمية الخرائط لهذه الأخيرة.كذلك لتسيير المخاطر الجيوتقنية بكفاءة و فعالية أكثر،لقد اخترنا طريقة « AMDEC » لاثبات فائدتها في تطوير خرائط الأخطار الجيوتقنية.

الكلمات الرئيسية : المخاطر ، الجيوتقنية ، أدوات التخطيط الحضري ، مناجنت المخاطر ، طريقة « AMDEC » ، خريطة الأخطار.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-------------|
| Remerciement | III |
| Dédicace | IV |
| Résumé | V |
| Abstract | VI |
| المخلص | VII |
| Table Des Matieres | VIII |
| Liste Des Abreviations Et Les Acronymes | XII |
| Liste Des Figures et Tableaux | XIII |
| Introduction générale | 2 |
| Chapitre 1 : Des risques naturels aux risques géotechniques | 5 |
| 1. Introduction | 5 |
| 2. Le risque | 5 |
| 2.1. Définition de risque..... | 5 |
| 2.2. Classification des risques | 6 |
| 3. Risque naturel..... | 7 |
| 3.1. Avalanche | 7 |
| 3.2. Feu de forêt..... | 9 |
| 3.3. Le volcanisme..... | 10 |
| 3.4. Séisme | 11 |
| 3.5. Inondation..... | 12 |
| 3.6. Cyclone et Tempête et Tornade | 13 |
| 3.7. Les raz de marée ou tsunamis | 16 |
| 4. Les risques géotechniques..... | 17 |
| 4.1 Risques géotechniques naturels..... | 18 |
| 4.1.1. Glissement de terrain..... | 18 |
| 4.1.2. Éboulements..... | 19 |
| 4.1.3. Coulées boueuses | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.4 affaissements/Effondrement..... | 21 |
| 4.1.5. Le phénomène de retrait-gonflement | 22 |
| 4.1.6. L'érosion littorale..... | 23 |
| 4.2. Risque anthropique..... | 24 |
| 4.3. Les paramètres incertains en géotechnique..... | 24 |
| 5. Conclusion..... | 26 |
| Chapitre (2) : Du PDAU au projet ponctuel : Quelle démarche pour assurer la durabilité des ouvrages | 28 |
| 1. Introduction | 28 |
| 2. Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme(PDAU) | 28 |
| 2.1. Définition du PDAU..... | 28 |
| 2.2. Les objectifs du PDAU | 29 |
| 2.3. Les différents secteurs de PDAU | 29 |
| 2.4. Le contenu des études du PDAU | 30 |
| 2.5. Procédure d'élaboration du PDAU | 32 |
| 2.6. Procédure d'approbation du PDAU | 33 |
| 2.7. La révision du PDAU..... | 34 |
| 3. Plan d'occupation des sols(POS) | 34 |
| 3.1. Définition du POS | 34 |
| 3.2. Les objectifs du POS | 35 |
| 3.3. Le contenu des études du POS | 35 |
| 3.4. Procédure d'élaboration du POS..... | 37 |
| 3.5. Procédure d'approbation du POS..... | 38 |
| 4. Le projet ponctuel « Bâtiment»..... | 39 |
| 4.1. Qu'est-ce qu'un projet ?..... | 39 |
| 4.2. Cycle de vie d'un projet | 39 |
| 4.2.1. Phase études préalable..... | 39 |
| 4.2.2. Phase conception..... | 40 |
| 4.2.3. Phase réalisation..... | 41 |
| 4.2.4. Phase clôture | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.5 Phase utilisation ou exploitation | 42 |
| 5. Comment assurer une durabilité d'un projet ? | 42 |
| 6. Conclusion..... | 44 |
| Chapitre (3) : Importance de la cartographie pour le management des risques géotechniques dans les projets en milieu urbain..... | 46 |
| 1. Introduction | 46 |
| 2. Management des risques géotechniques | 46 |
| 2.1. Processus de management de risque | 46 |
| 2.1.1. Établissement du contexte..... | 47 |
| 2.1.2. L'appréciation des risques..... | 48 |
| 2.1.3. Traitement des risques..... | 52 |
| 2.1.4. Surveillance et revues des risques..... | 54 |
| 2.1.5. Communication et concertation | 55 |
| 3. Cartographie des risques géotechniques | 55 |
| 3.1. Qu'est ce qu'une cartographie des risques..... | 55 |
| 3.2. Définition et contenu de la carte géotechnique | 56 |
| 3.3. Caractères générales des cartes géotechniques | 57 |
| 3.4. Classification des cartes géotechniques | 57 |
| 3.5. Présentation de la cartographie des risques dans la wilaya de Tlemcen.... | 58 |
| 3.5.1. Situation géographique de la ville de Tlemcen..... | 58 |
| 4. Utilité de la cartographie pour le management des risques géotechniques ... | 60 |
| 5. Conclusion..... | 60 |
| Chapitre (4) : Application de la méthode AMDEC pour le management des risques géotechniques dans le .PDAU, le POS et le projet ponctuel..... | 62 |
| 1. Introduction | 62 |
| 2. Présentation de la méthode AMDEC | 62 |
| 2.1. Principe de l'AMDE..... | 62 |
| 2.2. Types d'AMDEC | 63 |
| 2.3. Caractéristiques essentielles de L'AMDE(C)..... | 65 |
| 2.4. Place de L'AMDE(C) dans une démarche de maîtrise des risques | 65 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5 Réalisation d'une AMDEC | 67 |
| 2.6 Exploitations de l'AMDE(C) | 71 |
| 2.7 Réputation d'exhaustivité de L'AMDEC..... | 73 |
| 2.8 Domaines d'application..... | 74 |
| 2.9. Application de la méthode « AMDEC » | 74 |
| 3. Arbre d'événement | 77 |
| 3.1. Principe..... | 77 |
| 3.2. Objectifs | 77 |
| 3.3. Pertinence | 78 |
| 3.4. Présentation des arbres des événements des risques géotechniques..... | 78 |
| 4. Importance d'AMDEC et l'arbre d'événement pour l'élaboration d'une cartographie des risques géotechniques | 84 |
| 5. Conclusion..... | 86 |
| Conclusion générale | 88 |
| Bibliographie..... | 89 |
| Annexe | |
| ANNEXES A Séquencement du projet de fin d'étude..... | 92 |
| ANNEXES B Work breakdown structure du projet de fin d'étude | 93 |
| ANNEXES C Matrice de cadrage du projet de fin d'étude..... | 94 |

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATION

ADD Arbre De Défaillance

AIPCR Association mondiale de la route

AMDE Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effet

AMDEC Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effet et de leur Criticité

ANAT Agence Nationale d'Aménagement du Territoire

APC Assemblée populaire communale

APD Avant-projet Détaillé

APR Analyse Préliminaire des Risques

APS Avant-projet Sommaire

APW Assemblée populaire wilaya

AU Secteur à urbaniser

C Criticité

ENS Evènement Non Souhaité

G Gravité

HAZOP Hazard and Operability Studies

INERIS Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (France)

ISO International Standard Organisation

MADS Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnements des systèmes

MOSAR Méthode Organisé Systémique d'Analyse des Risques

NU Secteur non urbanisable

P Probabilité

PDAU Plan directeur d'aménagement urbain

POS Plan d'occupation de sol

RBS Risk breakdown structure

SU Secteur urbanisé

UF Secteur d'urbanisation futur

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures:

| | |
|---|---------------------------------------|
| Chapitre 1 : Des risques naturels aux risques géotechniques..... | 5 |
| Figure 1.1 : Schéma d'une avalanche. | 8 |
| Figure 1.2 : Photo d'un feu de forêts en Portugal(2012) | 9 |
| Figure 1.3 : photo d'un volcan ile de Halmahera Indonésie(2007) | 10 |
| Figure 1.4 : Photo de séisme de Boumerdes Algérie (2003) | 11 |
| Figure 1.5 : Photo inondation Ghardaïa Algérie (2008) | 12 |
| Figure 1.6 :Photo d'un cyclone tropical funzo Mozambique(2012)..... | 13 |
| Figure 1.7 : Photo d'une tempête a la Norvège (2012). | 14 |
| Figure 1.8 : Photo d'une tornade en U.S.A(2011). | 15 |
| Figure 1.9 : Photo prise lors d'un tsunami qui a touché le nord-ouest Japon(2011) | 16 |
| Figure 1.10 : les différents types des risques géotechniques. | 17 |
| Figure 1.11 : Glissement de terrain dans un village du centre de l'Allemagne dans la commune de Nachterstedt (2009). | 18 |
| Figure 1.12 : Un éboulement proximité du barrage de Monteynard, sur l'itinéraire du train de La Mure en France (2010). | 19 |
| Figure 1.13 : Coulée boueuse en Indonésie(2010)..... | 21 |
| Figure 1.14 : Effondrement minier survenu sur la mine d'Elura située à 600 km à l'ouest-nord-ouest de Sydney(1970). | 22 |
| Figure 1.15 : Schéma du phénomène de retrait-gonflement. | 23 |
| | |
| Chapitre 2 : Du PDAU au projet ponctuel : Quelle démarche pour assurer la durabilité des ouvrages | 28 |
| Figure 2.1 : Procédure d'approbation du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) | 33 |
| Figure 2.2 : Procédure d'approbation du plan d'occupation des sols (POS). | 38 |
| Figure 2.3 : Procédure pour assurer une durabilité d'un projet depuis le PDAU et POS . | 43 |
| | |
| Chapitre 3 : Importance de la cartographie pour le management des risques géotechniques dans un milieu urbain..... | 46 |
| Figure 3.1 : Processus de gestion du risque (ISO 31000, 2009). | 47 |
| Figure 3.2 : RBS des risques géotechniques. | Erreur ! Signet non défini. 49 |

| | |
|---|-----------|
| Chapitre4 : L'application de la méthode « AMDEC » pour le management des risques géotechniques | 62 |
| Figure 4.1 : Principe de l'A.M.D.E..... | 63 |
| Figure 4.2 : Récapitulatif des types d'AMDEC..... | 64 |
| Figure 4.3 : Exemple d'arbre d'évènements..... | 78 |
| Figure 4.4: Organigramme méthodologique d'élaboration d'une cartographie des risques géotechniques..... | 85 |

Liste des tableaux :

| | |
|---|-----------|
| Chapitre 1 : Des risques naturels aux risques géotechniques..... | 5 |
| Tableau 1.1 : Liste non exhaustive de risques (naturels et anthropiques)..... | 7 |
| Chapitre 2 : Du PDAU au projet ponctuel : Quelle démarche pour assurer la durabilité des ouvrages | 28 |
| Tableau 2.1 : Composition du PDAU | 31 |
| Tableau 2.2 : Composition du POS..... | 36 |
| Chapitre 3 : Importance de la cartographie pour le management des risques géotechniques dans un milieu urbain..... | 46 |
| Tableau 3.1 : Quantification des risques géotechniques en termes de gravité et de probabilité. | 50 |
| Tableau 3.2 : Quantification des risques géotechniques en termes de criticité..... | 51 |
| Tableau 3.3 : Un exemple d'une matrice de gravité des risques géotechniques..... | 52 |
| Tableau 3.4 : Matrice d'analyse des risques géotechniques. | 53 |
| Chapitre4 : L'application de la méthode « AMDEC » pour le management des risques géotechniques | 62 |
| Tableau 4.1 : Exemple de Tableau AMDE(C)..... | 70 |
| Tableau 4.2 : « AMDEC » Identification des risques géotechniques. | 74 |
| Tableau 4.3 :Arbre d'évènement des risques géotechniques « effondrement »..... | 79 |
| Tableau 4.4 : Arbre d'évènement des risques géotechniques « éboulement » | 80 |
| Tableau 4.5 : Arbre d'évènement des risques géotechniques « coulées boueuses » | 81 |
| Tableau 4.6: Arbre d'évènement des risques géotechniques « gonflement/retrait » | 82 |
| Tableau 4.7 Arbre d'évènement des risques géotechniques « glissement de terrain»..... | 83 |

Liste des cartes :

Chapitre 3 : Importance de la cartographie pour le management des risques géotechniques dans un milieu urbain..... 46

Carte 3.1 : Situation de la ville par rapport à la wilaya..... 58

Carte 3.2 : Situation de la ville par rapport au groupement 58

Carte 3.3 : Une partie de la carte des risques du PDAU du groupement des communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane, Beni-mester..... 59

Introduction générale

**« Les phénomènes extrêmes
ne deviennent catastrophes
qu'en l'absence de
prévention »**

Parmi tous les métiers du monde, celui de l'ingénieur est, sans conteste, un des plus noble et un des plus prestigieux. En effet, c'est celui qui a la charge de bâtir, à quelque niveau que ce soit et qui concourt à offrir par son travail une œuvre qui allie un ensemble d'avantages :

- Celui de mettre à disposition de l'être humain un toit, un abri, un refuge ;
- Celui de concourir à le protéger des conditions climatiques, quelquefois très dures, pénibles et dangereuses (froid, neige, vent, tempête, ouragan, typhon, et d'autres conditions naturelles) ;
- Celui de construire des structures résistant aux « caprices » de la nature : séisme et tremblements de terre, glissement de terrain, inondation, incendie et, d'une manière générale, tout ce qui peut mettre en danger ;

En fait, le bâtiment est la déclinaison micro (button-up) d'une vision déjà entraîné dans le cadre d'une réflexion plus globale qui est l'urbanisme (top-down).

L'urbanisme est la base essentielle du développement du pays, une projection de l'avenir et un développement harmonieux et humain des agglomérations à travers un ensemble de mesures techniques, administratives et sociales.

Depuis quelques années, une série des textes législatifs et réglementaires ont été promulgués, au vu de la situation alarmante de l'espace urbain et de la qualité de l'environnement ainsi que la dégradation du cadre bâti et dont les autorités algérienne ont pris conscience. Les politiques urbaines sont menées à l'aide d'outils appelés « instruments d'urbanisme » qui sont théoriquement, des instruments de planification spatiale et de gestion urbaine visant la maîtrise de la croissance urbaine.

Les instruments d'urbanisme (PDAU, POS) figurent parmi les principaux outils qui peuvent être mis en œuvre pour faire et concevoir la ville. Le développement urbain d'un pays ne peut être atteint qu'à travers la bonne application et la fiabilité de ces instruments sur le terrain face aux plusieurs risques qu'ils exposent parmi eux les risques géotechniques.

En raison de leurs conséquences plus ou moins graves, les risques géotechniques doivent être pris en compte dans l'aménagement urbain et, en particulier, dans les projets d'urbanisme. Dans ce but, la nécessité de minimiser ces risques conduit à l'élaboration de la cartographie de l'aléa, traduite ensuite en zonage réglementaire.

D'un point de vue théorique, élaborer une cartographie des risques est une impérieuse nécessité. D'une part, c'est une aide précieuse à la prise de décision. D'autre part, c'est un moyen efficace pour mettre en place un processus de management des risques cohérent. Ce n'est donc pas un hasard, si cette pratique se généralise dans les collectivités locales. Pour l'élaborer, il existe plusieurs méthodes et approches qui permettent d'évaluer (approche déterministe ou approche probabiliste) les aléas (et aussi la vulnérabilité quand de besoin) sous différents angles et de manière très complète.

Pour cela, l'objectif essentiel de notre projet sera d'essayer d'utiliser la méthode « AMDEC » dans le but de connaître les modes de défaillances des risques géotechniques, leurs causes et leurs effets ainsi que la criticité en vue de contribuer d'une manière plus efficace et plus efficiente à la réalisation de l'outil cartographique adapté (cartographique géotechnique d'urbanisation).

Notre projet de fin d'étude comprend quatre chapitres :

Le premier chapitre consiste à présenter les différentes définitions du risque ainsi que les risques naturels, géotechniques et leurs types qui peuvent être une source de danger pour la construction elle-même.

Le deuxième chapitre détaillera l'ensemble des instruments d'urbanismes (PDAU, POS) qui sont utilisés par le règlement Algérien, et connaître les phases d'un projet de bâtiment afin d'assurer son durabilité à travers ces instruments.

Le troisième chapitre consiste à présenter une cartographie des risques du PDAU de la wilaya de Tlemcen ainsi que son importance pour le management des risques géotechniques.

Le quatrième et le dernier chapitre de ce mémoire consiste à anticiper les risques géotechniques avant qu'ils ne se produisent en appliquant la méthode « AMDEC » en passant par construire l'arbre d'événement dans le but de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour élaborer une cartographie des risques géotechniques.

Chapitre -1-

Des risques naturels aux risques géotechniques

**« On ne commande à la
nature qu'en lui obéissant »**

Francis BACON

1. Introduction

Les ouvrages de génie civil, suivant leur fonctionnalité, leur localisation, depuis leur construction et durant toute leur vie, peuvent être soumis aux effets de phénomènes naturels ou anthropiques qui modifient plus ou moins l'état du site et éventuellement de l'ouvrage.

Les risques naturels sont devenus le lot de notre vie quotidienne. Il ne se passe plus guère de jours sans l'annonce d'un accident menaçant des vies humaines ou notre environnement.

De plus, Les risques géotechniques touchent les projets avec de grandes conséquences sociales et économiques, ils regroupent plusieurs types de phénomènes naturels très différents les uns des autres par leur nature, leur comportement mais aussi leurs conséquences pour l'homme. Qu'il s'agisse de glissements de terrain, d'éboulements, d'affaissements ou encore de coulées boueuses etc. Ces différents phénomènes évoluent irrégulièrement dans le temps, passant de phases d'évolution lentes à des phases d'accélération parfois brutale à l'origine de catastrophes plus ou moins graves.

L'objectif de ce chapitre est de présenter des types des risques naturels et géotechniques qui ont un impact sur les structures et infrastructures. Il nous permet de répondre sur ces questions :

-qu'est-ce qu'un risque ? Et qu'elles sont les types de risques ?

-Qu'elles sont les risques naturels majeurs ?

-Qu'elles sont les différents risques géotechniques ?

2. Le risque

2.1. Définition de risque

Le risque peut être défini comme suit:

- Selon la norme ISO 31000:2009, le risque est nouvellement défini comme « l'effet de l'incertitude sur les objectifs » et s'ajoute en note que « Un risque est souvent caractérisé en référence à des événements et des conséquences potentiels ou à une combinaison des deux. »
- Dans le langage courant, le risque est « Possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage. Danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé. » (Larousse, 2012).
- La définition scientifique du risque inclut une double dimension : celle des aléas et celle des pertes, toutes deux probabilisées. En conséquence, un risque se caractérise par deux composantes : le niveau de danger (probabilité d'occurrence d'un événement donné et intensité de l'aléa) ; et la gravité des effets ou des conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire sur les enjeux (Breysse Denys., 2009).

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

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

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

2.2. Classification des risques

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

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

Le tableau 1.1 ci-après présente une liste non exhaustive d'exemple de risques naturels et anthropiques.

Tableau 1.1 Liste non exhaustive de risques (naturels et anthropiques)

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

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

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

3. Risques naturels

On y distingue principalement : les avalanches, les feux de forêt, les inondations, les mouvements de terrain ainsi que les cyclones, les tempêtes, les tornades, les séismes, les éruptions volcaniques et les sécheresses prolongées etc.

3.1. Avalanche

Les avalanches présentent de multiples visages : elles apparaissent dans des conditions météorologiques variées (fortes chutes de neige, redoux, pluie, etc.), dans des sites très divers (petit couloir ou ensemble d'un versant), et peuvent avoir des causes très différentes (passage d'un skieur, transformation du manteau neigeux, déclenchement volontaire, etc.). Pour mieux comprendre ce phénomène, voici tout d'abord les réponses à quelques questions essentielles.

3.1.1. Qu'est-ce qu'une avalanche ?

Une avalanche correspond à un déplacement rapide d'une masse de neige sur une pente, provoqué par une rupture du manteau neigeux comme le montre La figure 1.1.

Les trois caractéristiques principales du phénomène " avalanche " sont donc :

- la neige : neige et avalanche sont indissociables. Une avalanche ne se produit que si la neige est présente en quantité suffisante et que sa qualité la favorise ;
- la pente : la pente du versant doit être suffisante dans la zone de départ de l'avalanche. Une avalanche se déclenche et se propage sous l'effet de son poids et cette action est proportionnelle à la pente ;
- la rapidité : une avalanche est un phénomène rapide. Elle se déplace à des vitesses variant de quelques mètres par seconde (environ 10 km/h) à plus de 100 m/s (plus de 350 km/h). Les déplacements lents du manteau neigeux sous l'effet de la gravité - la reptation – ne sont pas des avalanches.



Figure 1.1 : Schéma d'une avalanche.

3.1.2. Pourquoi les avalanche ?

Sur un versant, la neige accumulée forme une couche hétérogène dont l'équilibre est plus ou moins précaire. Cet équilibre dépend de multiples facteurs parmi lesquels la qualité de la neige, la pente, la nature du sol, la végétation. Il peut se rompre spontanément, du fait de l'évolution de la neige ou à la suite d'une perturbation extérieure comme le passage d'un skieur.

Lorsque l'équilibre du manteau neigeux est rompu, un volume variable de neige (de quelques dizaines de mètres cubes à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes) se met en mouvement et se propage sous l'effet de la gravité : c'est l'avalanche.

3.1.3. Les grands types d'avalanche

La classification des avalanches est un exercice difficile, tant il peut y avoir d'avalanches différentes, selon que l'on considère le type de départ, le type de neige ou encore les caractéristiques durant leur propagation. Si l'on prend en compte ces dernières, on peut distinguer trois grands types d'avalanche :

- Les avalanches en aérosol.
- Les avalanches coulantes ou denses.
- Les avalanches mixtes.

3.2. Feu de forêt

3.2.1. Qu'est-ce qu'un feu de forêt ?

On parle d'incendie de forêt lorsque le feu concerne une surface minimale d'un hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustif et/ou arboré (parties hautes) est détruite. Un incendie est un phénomène qui échappe au contrôle de l'homme, tant en durée qu'en étendue comme le présente la figure 1.2.

Pour qu'il y ait inflammation et combustion, trois facteurs doivent être réunis, chacun en proportions convenables : un combustible, qui peut être n'importe quel matériau pouvant brûler, une source externe de chaleur (flamme ou étincelle) et de l'oxygène, nécessaire pour alimenter le feu.



Figure 1.2 : Photo d'un feu de forêts en Portugal(2012)

3.2.2. Quels sont les combustibles d'un feu de forêt ?

La forêt, dans son intégralité, doit être considérée comme un combustible potentiel. Les flammes peuvent en effet parcourir indifféremment la végétation vivante (branches, feuilles) ou morte (aiguilles, arbres morts sur pied), tout comme les infrastructures humaines implantées en zone forestière.

Les incendies concernent, outre les forêts au sens strict, des formations subforestières de petite taille :

- le maquis est une formation fermée et dense, poussant sur un sol siliceux ;
- la garrigue est une formation plutôt ouverte, poussant sur un sol calcaire ;
- les landes sont des formations sur sols acides, composées de genêts et de petits arbustes.

3.3. Le volcanisme

Depuis des millénaires, les volcans ont fasciné l'homme par leur puissance et les manifestations de leur activité. Nombre de croyances, divinités et autres dragons en sont nés. Bien qu'aujourd'hui démythifiés pour la plupart des civilisations, l'attraction des volcans est toujours aussi grande, notamment en raison des images spectaculaires et paysages hors du commun qu'ils offrent. On recense actuellement environ 1 500 volcans actifs. Ils sont situés pour la plupart en limite des plaques lithosphériques. Leur nombre particulièrement important autour de l'océan Pacifique a justifié l'expression « ceinture de feu du Pacifique ».



Figure 1.3 : photo d'un volcan ile de Halmahera Indonésie(2007)

3.3.1. Définition

Un volcan est une émission en surface de produits (gazeux, liquides et solides) d'origine magmatique profonde. Il peut être terrestre ou sous-marin. L'énergie dégagée lors d'une éruption volcanique peut atteindre, voire dépasser pour les événements cataclysmes, 10^{20} joules, soit dix millions de fois la puissance de la bombe lâchée sur Hiroshima en 1945.

3.3.2. L'activité d'un volcan

On caractérise souvent un volcan par son activité : on parle de volcan actif ou de volcan éteint. La distinction entre ces deux termes n'est pas évidente : un volcan actif peut être en activité ou en sommeil ; une période de sommeil prolongée peut laisser à penser que le volcan est éteint, alors qu'une nouvelle éruption est possible à tout moment. On considère qu'un volcan est éteint si le temps écoulé depuis sa dernière éruption est largement supérieur à la moyenne des périodes de sommeil passées.

3.4. Séisme

Le risque sismique est le risque naturel le plus meurtrier et le plus dévastateur.

3.4.1. Qu'est-ce qu'un séisme ?

Un séisme est une vibration du sol provoquée par une rupture brutale des roches de la lithosphère le long d'une faille. Une faille est une zone de rupture en profondeur dans la roche qui se prolonge parfois jusqu'à la surface du sol, et le long de laquelle les deux bords se déplacent l'un par rapport à l'autre. Les séismes sont l'une des manifestations de la tectonique des plaques. La figure 1.4 qui suit présente un exemple de séisme de Boumerdes en 2003.



Figure 1.4 : Photo de séisme de Boumerdes Algérie (2003)

3.4.2. Les différents types de séisme

Ils peuvent être distingués selon leur origine :

- les séismes naturels : séismes tectoniques (interplaques, intraplaques), séismes volcaniques ;
- les séismes liés à l'activité humaine.

3.5. Inondation

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également en Europe et dans le monde entier. Au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, elles font environ 20 000 victimes par an. Certaines résultent de phénomènes qui se renouvellent chaque année comme la mousson, d'autres sont le fait de circonstances particulières (cyclones, typhons, orages violents). La figure 1.5 présente une inondation qui s'est passé en 2008 à Ghardaïa.



Figure 1.5 : Photo inondation Ghardaïa Algérie (2008).

3.5.1. Définitions

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau.

Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.

3.5.2. Types d'inondations

On distingue trois types d'inondation :

- La montée lente des eaux en région de plaine
- La formation rapide de crues torrentielles
- Le ruissellement pluvial

3.6. Cyclone et Tempêtes et Tornades

3.6.1. Cyclones

Au premier rang des phénomènes atmosphériques dévastateurs, les cyclones tropicaux fascinent les hommes par leur puissance, leurs conditions de développement et de déplacement. Lors du passage d'un cyclone, tous les phénomènes sont extrêmes : les vents peuvent atteindre 350 km/h, les pluies diluviennes engendrent des crues et des glissements de terrain et la marée de tempête provoque une élévation du niveau de la mer dévastant les zones côtières.

3.6.1.1. Définition

Un cyclone est une perturbation atmosphérique de grande échelle, une zone de basses pressions des régions tropicales ou subtropicales (on parle de cyclones tropicaux ou subtropicaux). Au sein de cette zone se développent des nuages convectifs, et autour d'elle le vent se déplace dans une circulation dite « fermée » en surface, autour d'un centre de rotation. La formation d'un cyclone nécessite un certain nombre de conditions météorologiques de départ, dont les principales sont la température de l'océan et la latitude. (Voir la figure 1.6).

Le cyclone est le phénomène climatique le plus puissant connu par les scientifiques. Les variations maximales des éléments météorologiques (exception faite des tornades et trombes marines) ont pu y être observées : variation de pression de 45hPa en 20 min, pression minimale de 867hPa (Philippines), précipitations de 1 340 mm en 12 h (Réunion), rafales de vent atteignant 360 km/h.

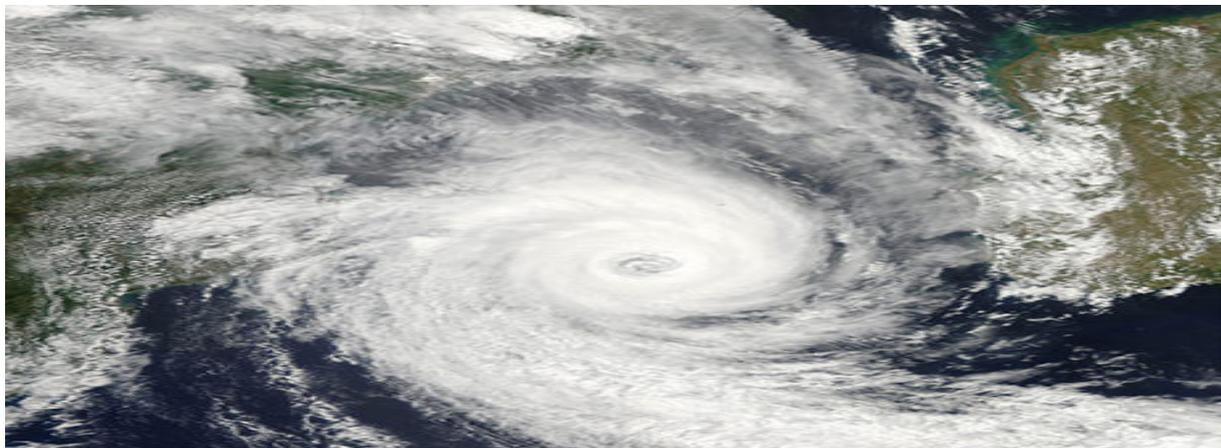


Figure 1.6 : Photo d'un cyclone tropical funzo Mozambique(2012).

3.6.2. Tempête

L'aléa météorologique présente différents visages, dont certains peuvent se conjuguer : les vagues de chaleur ou de froid, la sécheresse, les précipitations intenses ou caractérisées par des cumuls importants (sous forme de pluie, neige ou grêle), la foudre, ainsi que les divers phénomènes de vents violents.

Parmi ces derniers, les tempêtes affectant nos régions tempérées, bien qu'en général sensiblement moins dévastatrices que les phénomènes touchant les zones intertropicales, peuvent être à l'origine de pertes importantes en biens mais aussi en vies humaines.

En effet, aux vents pouvant dépasser 200 km/h en rafales, peuvent s'ajouter notamment des pluies importantes, facteurs de risques pour l'homme et ses activités.

3.6.2.1. Définition

Les dépressions atmosphériques assurent la stabilité des températures climatiques observées dans l'atmosphère : elles sont la matérialisation dans les zones extratropicales des échanges nécessaires de chaleur entre l'équateur et les pôles.

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, pouvant s'étendre sur une largeur atteignant 2 000 km et le long de laquelle sont confrontées deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau).

De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. On parle de tempêtes lorsque les vents dépassent 89 km/h (soit 48 nœuds - degré 10 de l'échelle de Beaufort). (Voir l'exemple de tempête a la Norvège en 2012 dans la figure 1.7).



Figure 1.7 : Photo d'une tempête a la Norvège (2012).

3.6.2.2. Les différences entre cyclones et tempêtes « classiques »

Une tempête est une perturbation atmosphérique pouvant s'étirer sur plus de 2 000 km et le long de laquelle deux masses d'air aux caractéristiques différentes s'affrontent. De cette confrontation naissent notamment des vents violents et des pluies souvent importantes.

Les tempêtes des latitudes tempérées et les cyclones tropicaux se distinguent par quatre caractéristiques principales :

- **Leur source d'énergie** : les cyclones tirent l'essentiel de leur énergie de l'évaporation de l'eau de mer sur une zone de basses pressions, et ne peuvent donc prendre naissance qu'au-dessus des zones océaniques. Les tempêtes naissent quant à elles des contrastes thermiques horizontaux existant dans l'atmosphère, et peuvent donc se former (et se renforcer) sur terre.
- **Leur morphologie** : tandis que les cyclones présentent une symétrie autour de leur œil, les dépressions « tempérées » sont fortement asymétriques.
- **La répartition des vents forts et des contrastes** : une couronne de vents forts se forme autour de l'œil pour les cyclones, alors que pour les tempêtes ils s'organisent en tubes, près des fronts.
- **La répartition géographique** : les tempêtes touchent les régions tempérées du globe. Les cyclones ont pour zone de prédilection l'océan Atlantique nord, l'océan Pacifique et l'océan Indien (entre 5 ° et 35 ° de latitude nord et sud).

3.6.3. Les tornades

Les tornades sont des phénomènes localisés mais potentiellement très destructeurs. Elles se caractérisent par une durée de vie limitée (de quelques minutes à quelques dizaines de minutes le plus souvent) et par un diamètre réduit (tourbillon de quelques mètres à quelques centaines de mètres très exceptionnellement). La tornade est une colonne d'air tournante très violente, issue d'un nuage instable qu'elle relie au sol. Dans cette véritable cheminée aspirante la pression est très basse, la chute de pression pouvant atteindre 80hPa.



Figure 1.8 : Photo d'une tornade en U.S.A(2011).

3.6.3.1. Les différences entre cyclones et tornades

Il s'agit dans les deux cas de tourbillons atmosphériques. Toutefois les tornades sont des phénomènes de petite taille et d'une durée de vie limitée et elles parcourent rarement plus de 40 km (sauf dans le cas des tornades américaines). Les cyclones sont des phénomènes de grande échelle, susceptibles de parcourir des distances considérables sur plusieurs semaines. On notera toutefois que les vents maximaux générés par certaines tornades peuvent être supérieurs à ceux des cyclones les plus violents. D'autre part, alors que les cyclones sont dans leur mécanisme de formation des phénomènes « Océaniques », les tornades sont principalement des phénomènes terrestres (bien que le phénomène existe également sur mer : ce sont les trombes marines). Leur naissance est notamment tributaire de la chaleur du soleil réchauffant la terre et favorisant le développement de conditions orageuses.

3.7. Les raz de marée ou tsunamis

3.7.1. Définition

Le tsunami ou raz de marée est une onde marine exceptionnelle déclenchée par un soudain déplacement du plancher océanique. Le terme est dérivé d'un mot japonais qui signifie "vague portuaire" (harbor wave). On lui attribue parfois des appellations ambiguës : seismic sea wave (vague marine sismique) car les séismes sont la première cause de leur déclenchement, tidal wave ou raz de marée, même si les tsunamis n'ont rien à voir avec la marée. D'ailleurs tsunami vient du japonais qui signifie "vague causée par la marée".

On les trouve dans tous les océans, surtout dans le Pacifique qui est notamment délimité par la Ceinture de Feu, et dans certaines mers comme la Méditerranée. Ils peuvent être dévastateurs et meurtriers comme en témoignent le tsunami du 26 décembre 2004 qui a tué 225 000 personnes ou celui qui a dévasté les côtes nord-ouest du Japon le 11 mars 2011 (Voir la figure 1.9).



Figure 1.9 : Photo prise lors d'un tsunami qui a touché le nord-ouest Japon(2011).

4. Les risques géotechniques

Les mouvements de terrain est la classe la plus étudiée en géotechnique. Elles sont les effets de la gravité sur le matériau terrestre, associée à des événements déclencheurs, séismes, fortes précipitations, excavations naturelles ou artificielles. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour) (Martin P., 2007).

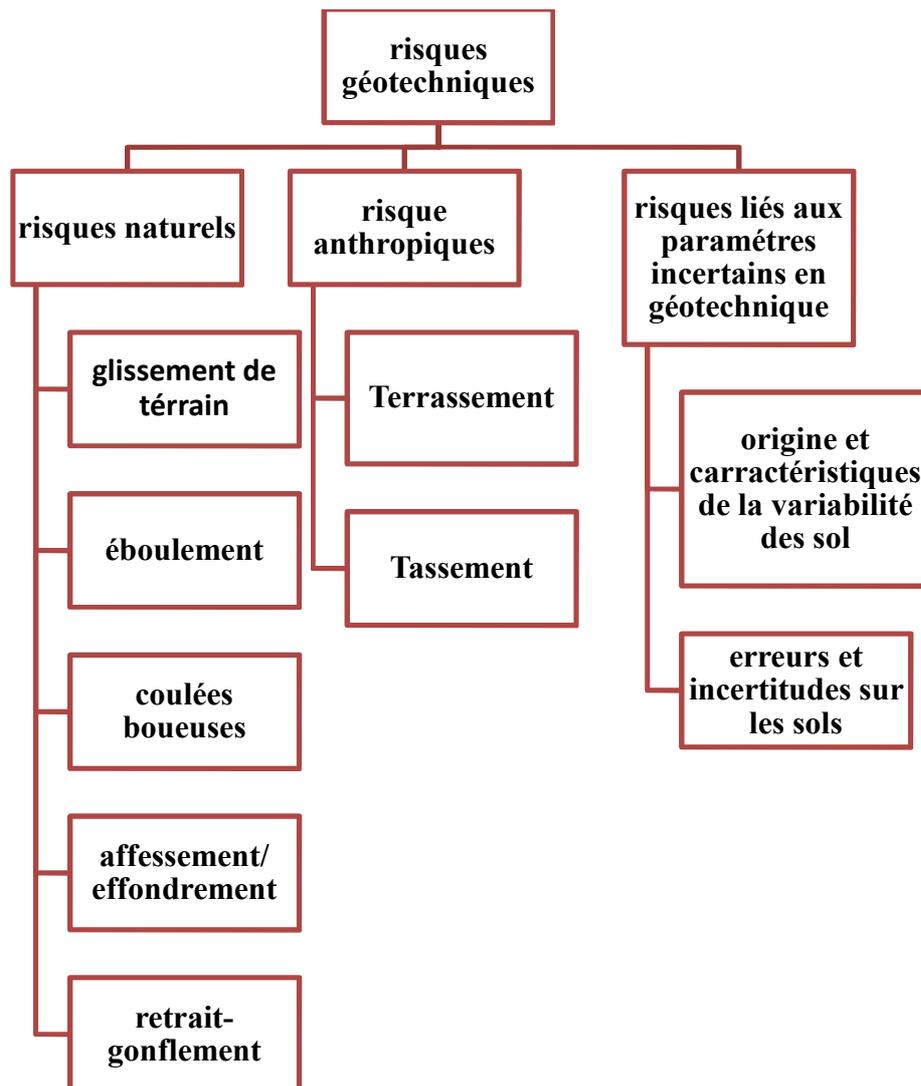


Figure 1.10 : les différents types des risques géotechniques.

4.1. Risques géotechniques naturels

4.1.1. Glissements de terrain

Les glissements sont des mouvements qui affectent des pentes limitant des massifs plus ou moins structurés, constitués de matériaux meubles, plus ou moins argileux et sensibles à l'eau, dont la stabilité n'est qu'apparente ; péripéties spectaculaires d'histoires qui peuvent être longues et tortueuses (Martin P., 2007). (Voir l'exemple dans la figure 1.11).



Figure 1.11 : Glissement de terrain dans un village du centre de l'Allemagne dans la commune de Nachterstedt (2009).

4.1.1.1. Les causes probables des glissements de terrain

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

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

4.1.1.2. Les différentes manifestations

Les glissements de terrain se manifestent généralement par :

- Dans sa partie amont, par des niches d'arrachement ou crevasses, principales et latérales, avec brusque rupture de pente (pente concave) ;
- Dans sa partie aval, par un bourrelet de pied (ou frontal) à pente convexe. La poussée exercée par le bourrelet de pied se marque fréquemment par un tracé anormal des cours d'eau en aval ;
- Des fissures en crête de talus perpendiculaires à la direction générale du mouvement. Sur un profil, on observe une dépression vers le haut et un bombement vers le pied ;
- Le déplacement d'une masse de matériau le long d'une surface de rupture ;
- Une surface topographique bosselée (ondulations, dissémination de blocs de forte taille,...) ;
- Effondrements d'un pan de falaise vertical ;
- Déformation du réseau routier traversant le glissement ;
- Des arbres basculés.

4.1.2. Éboulements

Les éboulements sont des phénomènes discontinus qui affectent des roches cohérentes, impliquant qu'une portion de roche, de volume quelconque, parvienne à se détacher de la masse rocheuse (Calvino A., 2004). La figure 1.12 présente un exemple d'éboulement en France.



Figure 1.12 : Un éboulement proximité du barrage de Monteynard, sur l'itinéraire du train de La Mure en France (2010).

4.1.2.1. Les causes probables des éboulements

Les principales causes d'éboulement sont :

- La nature des terrains et les conditions hydrogéologiques et géologiques ;
- Fluage des assises sous-jacentes ;
- La croissance de la végétation ou au contraire sa disparition ;
- Les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges ;
- L'affouillement ou le sapement du pied de la falaise ;
- Écroulement de la falaise qui limite un massif de roche fissuré ;
- Variations de températures (ex: en montagne, les alternances de gel/dégel fragilisent davantage la roche) ;
- Les séismes représentent un facteur aggravant (ex : une secousse sismique peut provoquer la remobilisation de blocs déjà éboulés et stoppés dans les zones à forte pentes de l'aire de réception) ;
- Eau : plusieurs types de circulation d'eau affectent les formations de la falaise :
 - l'érosion en surface par les eaux de pluie ;
 - l'action souterraine des eaux de pluie infiltrées (processus plus ou moins lents de dissolution ou d'érosion interne augmentant les fissurations ; remontées de nappes) ;
 - érosion par les eaux de ruissellement du talus argileux de la base de la falaise.

4.1.2.2. Les différentes manifestations

Les éboulements se manifestent généralement par :

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

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

4.1.3. Coulées boueuses

Les coulées boueuses sont des mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. La mise en mouvement de ces matériaux (argiles, des limons, des sols, des roches décomposées ou des éboulis fins...) a pour origine une perte brutale de cohésion. La figure 1.13 montre une coulée en Indonésie.



Figure 1.13 : Coulée boueuse en Indonésie(2010).

4.1.3.1. Les causes probables des coulées boueuses

Les coulées boueuses ou coulées de boue sont déclenchées souvent sur des versants après de très fortes pluies (pluies torrentielle) ou fonte de neige. L'eau est la cause principale de ce phénomène. Les coulées apparaissent dans des matériaux meubles lorsque leur teneur en eau augmente de manière importante. La mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion. Ces coulées peuvent se produire à la suite d'un glissement ou d'une perte de la couverture végétale. L'eau peut pénétrer au sein des matériaux par infiltration avant le déclenchement de la coulée ou au moment de la rupture par concentration des eaux de ruissellement.

4.1.3.2. Les différentes manifestations :

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

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

4.1.4. Affaissements/Effondrements

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

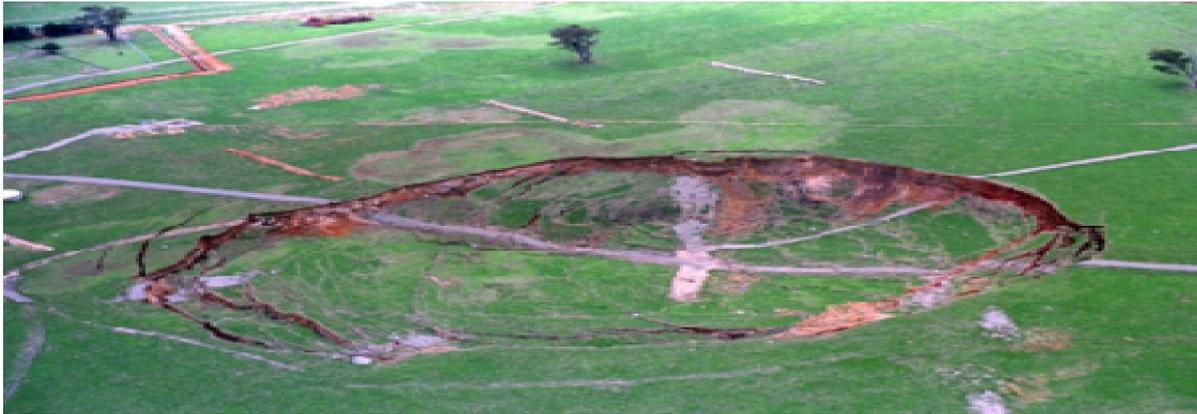


Figure 1.14: Effondrement minier survenu sur la mine d'Elura située à 600 km à l'ouest-nord-ouest de Sydney(1970).

4.1.4.1. Les causes probables des affaissements/ effondrements

Les affaissements sont généralement provoqués par :

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

4.1.4.2. Les différentes manifestations

Les affaissements et les effondrements se manifestent par :

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

4.1.5. Le phénomène de retrait-gonflement

Le phénomène de retrait-gonflement de certains sols ou de certaines roches sédimentaires sont des mouvements de terrain lent et continu. Ce phénomène, qui est prépondérant dans les matériaux argileux, dépend des caractéristiques minéralogiques des minéraux argileux et se déclenche lorsque leur teneur en eau se modifie. Ce phénomène peut s'exprimer soit par une augmentation de volume, soit par une réduction de volume (Wakim J., 2005). (Voir la figure 1.15).

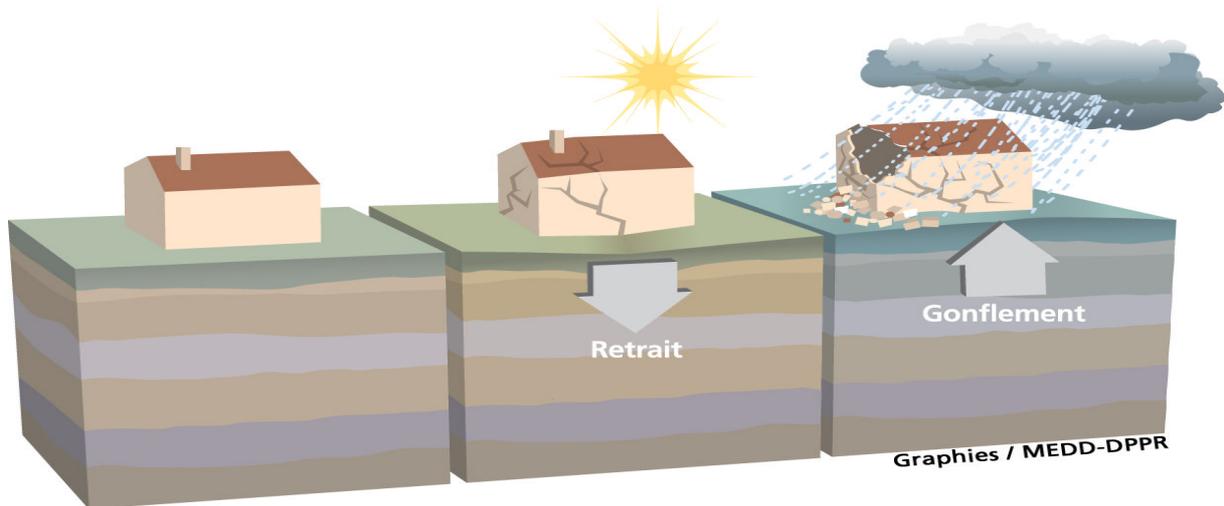


Figure 1.15 : Schéma du phénomène de retrait-gonflement.

4.1.5.1. Les causes probables de retrait-gonflement

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

- Caractéristiques du sol : nature, hétérogénéité ;
- La topographie de surface : elle constitue un facteur permanent de prédisposition et d'environnement qui peut conditionner la répartition spatiale du phénomène de retrait-gonflement ;
- Variations climatologiques : durée des périodes de pluie et des périodes de sécheresse ;
- Modifications de l'équilibre hydrique créées par imperméabilisation, drainage, concentration de rejet d'eau pluviale ;
- La présence de végétation : phénomène accentué par la présence importante d'arbres à proximité, qui accentuent considérablement l'ampleur du phénomène en augmentant l'épaisseur de sol asséché.

4.1.5.2. Les différentes manifestations

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

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

4.1.6. L'érosion littorale

Elle affecte aussi bien les côtes rocheuses par effondrement de falaise que les côtes sableuses. Elle est la résultante de l'action combinée des vagues et des courants marins, du vent et des précipitations. Le changement climatique en faisant fondre les glaces continentales et en élevant la température de l'eau de mer, augmentant par conséquent la dilatation de l'eau est en train de modifier le niveau des mers. Cela risque d'amplifier le phénomène d'érosion sur certaines zones côtières.

4.2. Risques anthropiques

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

Il peut s'agir :

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

4.2.1. Terrassements

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

4.2.2. Tassements

L'action des charges de fondation sur le géomatériau d'assise modifie son état initial. Cela peut y produire des déformations subverticales, les tassements, dont la répartition, l'amplitude, et les effets dépendront de la position de l'ouvrage dans le site, de ses dimensions, de sa forme et de sa masse, de la rigidité de sa structure ainsi que des caractéristiques de ses fondations. Si le matériau est relativement homogène et les charges régulièrement réparties et d'intensité modérée, le tassement est uniforme et n'affecte presque pas l'équilibre de l'ouvrage et l'état des contraintes dans sa structure ; mais dans la plupart des cas, en raison de l'hétérogénéité du matériau et/ou des charges, de la dissymétrie géométrique et/ou mécanique de la structure, le tassement diffère selon le point d'appui, ce qui affecte plus ou moins l'équilibre et/ou l'état des contraintes dans le matériau et provoque une certaine distorsion de la structure (Martin P., 2005).

4.3. Les paramètres incertains en géotechnique

4.3.1. Origines et caractéristiques de la variabilité des sols

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

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

4.3.2. Erreurs et incertitudes sur les sols

4.3.2.1. Les erreurs d'observation

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

A- Les erreurs de mesure proprement dites

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

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

B- Les erreurs de représentativité

Elles proviennent de la transformation de la mesure physique.

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

C- Les erreurs de l'instant

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

4.3.2.2. Les erreurs d'enquête

A- Les erreurs d'enquête proprement dit

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

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

B- Les erreurs d'échantillonnage

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

5. Conclusion

Un certain nombre de concepts et notions fondamentales du risque a été présenté. Des définitions de l'aléa, de la vulnérabilité et des risques naturels et géotechniques sont proposées.

En effet, on peut dire que n'importe quels projets est exposé à des risques géotechniques multiples tout au long de leurs cycles de vie, en raison de ses conséquences plus ou moins graves, le risque de mouvement de terrain doit être pris en compte dans l'aménagement urbain et, en particulier, dans les projets urbains.

A la fin, après avoir cadré les risques naturels et géotechniques, nous allons aborder dans le cadre du 2ème chapitre la durabilité d'un projet tout en passant par les instruments d'urbanisme.

Chapitre -2-

Du PDAU au projet ponctuel : Quelle démarche pour assurer la durabilité des ouvrages.

**«Une société unie n'est pas
une société sans différences,
mais une société sans
frontières intérieures. »**

**Olivier Guichard ; Extrait
de Un Chemin tranquille**

1. Introduction

Dans l'optique de l'état, l'évolution des projets de construction sont nécessaire pour répondre à la forte demande et satisfaire les besoins des citoyens. C'est pour cette bonne raison des programmes de planifications et d'urbanisation sont en cours d'élaborations. Dans l'environnement juridique algérien d'aujourd'hui, tous projets doit être traduit à travers deux instruments d'urbanisme qui sont le PDAU et POS.

Dans ce chapitre nous tenterons de définir les concepts autour lesquels s'articuleras notre recherche tels que le projet ponctuel et les instruments d'urbanisme. Ces derniers sont définis par la loi N°90/29 du 1/12/1990 modifié et complète par la loi N°04/05 du 14/08/2004 sont le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) et le plan d'occupation du sol (POS). Ce sont des instruments techniques, juridique et organisateur spatiale des villes et qui ont aussi des effets plus directes sur l'espace et on leur absence, la ville contemporaine, par son échelle et sa cadence de développement serais d'un chaos indescriptible. Pour cela il est important de les connaitre en se posant les questions suivantes: C'est quoi un PDAU et POS ? Qu'elles sont leurs objectifs ? Qu'elles sont leurs contenus ? Comment les élaborer ?

Par la suite on va : Définir un projet ? Qu'elle est son cycle de vie ? Qu'elles sont les études nécessaires pour un projet de bâtiment ? Et quelle démarche pour assurer une durabilité de ce projet en point de vue instrument d'urbanisme?

2. Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU)

2.1. Définition du PDAU

Le PDAU est un instrument de planification qui « exprime une volonté d'organisation, d'encadrement et de direction de l'activité urbaine ». De direction qui « se situe comme une référence du plan d'occupation des sols ». D'aménagement qui vise un développement harmonieux de l'ensemble de la commune couvert selon les spécificités et les atouts de chaque espace. D'urbanisme qui régleme l'activité urbaine et la construction, selon les règlements édictés dans le code de l'urbanisme. Et technique car il « est un règlement qui fixe les règles applicables pour chaque zone comprise dans les secteurs urbanisés, à urbaniser, à urbanisation future ou non urbanisables ».

2.2. Les objectifs du PDAU

Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme tient compte des plans de développement et définit les termes de références des plans d'occupation des sols. Il prend en charge les programmes de l'Etat, des collectivités locales et ceux de leurs établissements et services publics. Le PDAU doit permettre de:

- Fixé les orientations fondamentales de l'aménagement de territoire de ou les communes concernées.
- Rationaliser l'utilisation de l'espace, identifier les zones sensibles, les sites et paysage protégés, les terrains réservés aux activités économiques et d'intérêt général.
- Définition des termes de référence des plans d'occupation des sols.
- La détermination des affectations générales des sols et délimitation des secteurs d'urbanisation aux différents horizons dans le cadre d'une gestion économe des sols.
- Délimiter les zones exposées aux risques majeurs.
- L'élaboration d'une réglementation pour chaque type d'espace dans le respect des objectifs de la protection et valorisation des ressources.

2.3. Les différents secteurs de PDAU

Chaque secteur à un rythme d'urbanisation spécifique. Le PDAU doit fixer des dispositions réglementaires d'une façon générale. On trouve quatre secteurs :

2.3.1. Secteur urbanisé (SU)

Son tissu urbain a une densité élevée avec une concentration d'activité. Il intervient dans un tissu existant pour connaître les opérations localisées dans les poches vides. Il opère des transformations sous forme de : rénovation, restauration, restructuration, réhabilitation, et requalification...etc. avec des mesures d'application de la protection des sites historique : sauvegarder et agir sur la fonction. Les secteurs urbanisés incluent tous les terrains occupés par les constructions agglomérées y compris les emprises des équipements nécessaires à leur desserte (constructions).

2.3.2. Secteur à urbaniser (AU)

C'est un secteur appelé à connaître une forte urbanisation dans les années à venir de 5 à 10 ans. Contigu au premier périmètre, une forte pression s'exerce, spéculation au niveau des terres. Ce secteur inclut les terrains destinés à être urbanisé à court et à moyen terme à un horizon de 10ans dans l'ordre de priorité prévu par le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

2.3.3. Secteur d'urbanisation future (UF)

L'intérêt général du PDAU est de préserver les potentialités de développement futur de la ville ou de l'agglomération. Le secteur d'urbanisation futur inclut les terrains destinés à être urbanisés à long terme à un horizon de 20 ans aux échéances prévues par le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme et qui sont frappés d'une servitude de non aedificandi.

Ces mesures sont essentiellement des mesures temporaires de non aedificandi et des droit de construire très faibles et qui ne sont levés qu'une fois le processus d'urbanisation autorisé par l'approbation des pos respectifs des différentes zones de ces secteurs à des échéances précises.

2.3.4. Secteur non urbanisable (NU)

Généralement se sont des secteurs du territoire urbain qui ne sont pas destinés à l'urbanisation à cause des contraintes particulières notamment :

- Zone protégée, haute à potentialité agricole ;
- Exploitations minières ;
- Paysage de grande qualité ;
- Les forêts domaniaux ;
- Parcs naturels ;
- Zones à risques (terrains instable, secteurs inondables, abords d'installations à risques).

Les secteurs non urbanisables sont ceux dans lesquels les droits à construire peuvent être édictés mais réglementés dans des proportions limités compatibles avec l'économie générale des territoires de ces secteurs.

2.4. Le contenu des études du PDAU

Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme se traduit par un règlement accompagné de documents graphiques de référence et d'un rapport d'orientation. Selon l'article 17 du décret exécutif n°91-177 du 28 mai 1991 fixant les procédures d'élaboration et d'approbation du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme et le contenu des documents y afférents.

Le tableau n°2.1 ci-dessus présente la composition du PDAU.

Tableau n°2.1 : Composition du PDAU.

| Partie | Contenu |
|------------------------------|--|
| Rapport d'orientation | <p>-L'analyse de la situation existante et les principales perspectives de développement, compte tenu de l'évolution économique, démographique, sociale et culturelle du territoire considéré.</p> <p>-La partie d'aménagement proposée, compte tenu des orientations ou matière d'aménagement du territoire, lie protection du littoral et d'atténuation des risques naturels et technologiques.</p> |
| Règlement | <p>-L'affectation dominante des sols et s'il y a lieu, la nature des activités interdites ou soumises à des prescriptions particulières.</p> <p>-La densité générale exprimée par le coefficient d'occupation du sol.</p> <p>-Les servitudes à maintenir et à modifier ou à créer.</p> <p>-Les périmètres d'intervention des P.O.S. avec les termes de référence y afférents, en faisant apparaître les zones d'intervention sur les tissus urbains existants et ceux des zones à protéger.</p> <p>-La localisation et la nature des grands équipements des infrastructures de certaines parties des territoires.</p> |
| Documents graphiques | <p>-Un plan d'état de fait faisant ressortir le cadre bâti actuel, les voiries et les réseaux divers les plus importants.</p> <p>-Un plan d'aménagement délimitant:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les secteurs urbanisés, urbanisables, d'urbanisation future et non urbanisables. - Certaines parties du territoire, le littoral, les terres agricoles à potentialité élevée ou bonne, les territoires à caractère naturel et culturel marqués. - Les périmètres d'intervention des P.O.S. <p>-Un plan d'équipement faisant ressortir le tracé des voiries d'adduction en eau potable et d'assainissement les plus importants, ainsi que la localisation des équipements collectifs et ouvrages d'intérêt public.</p> |

2.5. Procédure d'élaboration du PDAU

Cette phase se compose de six étapes à savoir :

-La prescription car l'établissement du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme PDAU est prescrit par délibération de ou des A.P.C. concernées.

-La délimitation du périmètre du PDAU par un arrêté qui est pris sur la base d'un dossier comportant une présentation d'un plan de délimitation du territoire à couvrir par le PDAU y afférent par le wali, lorsque le territoire concerné relève d'une même wilaya et par le Ministre chargé de l'urbanisme, conjointement avec le Ministre chargé des collectivités locales, lorsque le territoire concerné relève de wilayas différentes.

-La notification de la prescription du PDAU par le P/APC par écrit aux présidents des chambres de commerce et de l'agriculture et aux présidents des organisations, la décision prescrivant l'établissement du PDAU. Ces destinataires disposent de 15 jours à compter de la réception de la lettre pour faire connaître s'ils veulent être associés à l'élaboration du PDAU et dans l'affirmative, ils désignent leurs représentants.

-La consultation où le P/APC consulte les administrations publiques et les services de l'Etat chargés au niveau de la wilaya de l'urbanisme, de l'environnement, de l'agriculture, de la régulation économique, de l'hydraulique, des transports, des travaux publics, des monuments et sites, des PTT, de l'aménagement du territoire, et du tourisme. Cet arrêté fait l'objet d'un affichage pendant un mois au siège de l'A.P.C. Le projet PDAU doit être notifié aux acteurs concernés, qui disposent 60 jours pour émettre leurs avis ou observations.

-L'enquête publique s'étale sur 45 jours à partir d'un arrêté pris par le P/APC. Cet arrêté doit fixer le ou les lieux de consultation du projet du PDAU, désigner le ou les commissaires enquêteurs, préciser la date de démarrage et d'achèvement de la période d'enquête et définir les modalités de déroulement de l'enquête publique. L'arrêté soumettant le PDAU à l'enquête publique est affiché au siège de l'A.P.C. concernée durant toute la période de cette enquête. Un exemplaire de l'arrêté est notifié par le Wali territorial.

-L'Ouverture d'un registre spécial par le P/APC où les observations peuvent être soit consignées à ce registre, soit formulées directement, soit adressées par écrit aux commissaires enquêteurs. Il est signé par le commissaire-enquêteur. Dans les 15 jours qui suivent, le commissaire enquêteur établit un procès verbal de clôture de l'enquête et le transmet au P/APC concerné, accompagné du dossier complet de l'enquête avec ses conclusions.

2.6. Procédure d'approbation du PDAU

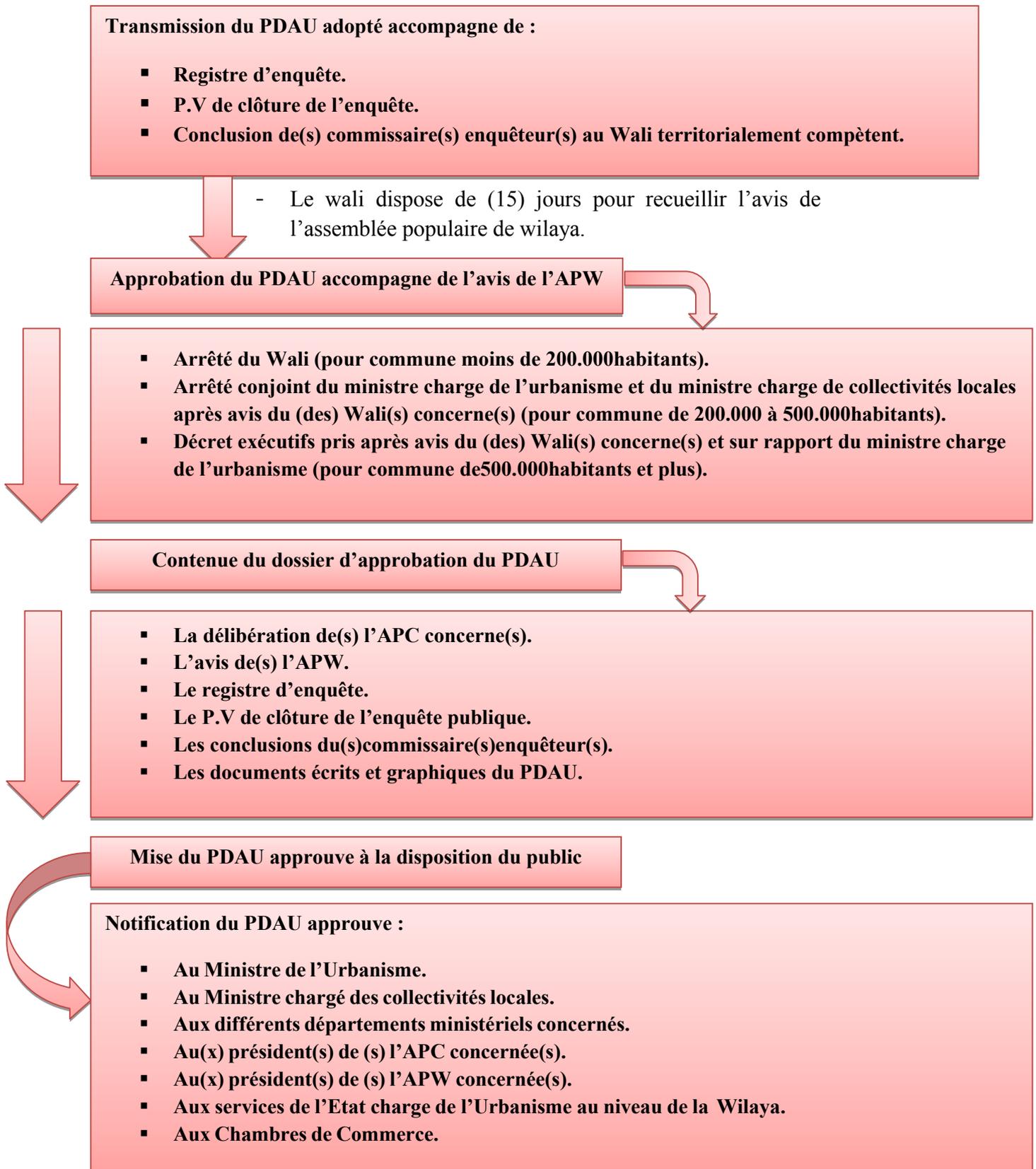


Figure n°2.1 : Procédure d'approbation du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU)

2.7. La révision du PDAU

Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme ne peut être révisé que si les secteurs d'urbanisation visés ci-dessus sont en voie d'être saturés ou si l'évolution de la situation ou du contexte est telle que les projets d'aménagement de la commune ou de structuration urbaine ne répondent plus fondamentalement aux objectifs qui leur sont assignés, les révisions et les modifications du plan en vigueur sont approuvés dans les mêmes conditions et formes que celles prévues pour l'élaboration du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

Le PDAU pourra être un jour dépassé par la dynamique urbaine et dans ce cas la législation prévoit la révision afin de rectifier et d'accompagner l'évolution urbaine. La dynamique urbaine est un phénomène difficile à maîtriser donc il faut prévoir un instrument de prévision à long terme, comme le PDAU quelle que soit sa qualité, peut être dépassé par la dynamique urbaine réelle.

Dans ce cas, il doit être révisé pour accompagner des actions d'urbanisme et une évolution urbaine qui lui échappent. Mais la révision ne doit pas devenir une échappatoire facile à laquelle les décideurs peuvent avoir fréquemment. Les possibilités de recours à la révision sont limitées par la loi :

- D'une saturation avant terme des secteurs d'urbanisation prévus et le dépassement des objectifs prévus par le bouleversement de la situation de la commune.
- D'une adaptation du PDAU afin qu'il intègre de nouvelles servitudes ou des projets d'intérêt national ou général (actions d'urbanisme échappant au plan).

3. Le plan d'occupation des sols (POS)

3.1. Définition

Contrairement au PDAU qui est un plan directeur le POS est un plan de détail. Il se situe au dernier niveau de la recherche de planification urbaine. Il constitue un document essentiel de la réglementation d'urbanisme. Il est issu des orientations et prescriptions du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme. Il définit les droits d'usage des sols et de construction à la parcelle.

Le POS est l'instrument d'urbanisme le plus proche des préoccupations de l'architecte et de l'urbain designer, par son échelle, mais aussi par sa nature. En effet, il définit les modalités d'occupation morphologique et fonctionnelle de la parcelle, les principales caractéristiques morphologiques du bâti, voire, dans certains cas, des éléments de style urbain et architectural.

3.2. Les objectifs du POS

Le plan d'occupation des sols POS a pour but de :

- Fixé de façon détaillée pour le ou les secteurs concernés, la formes urbaine, l'organisation, les droits de construction et d'utilisation des sols.
- Définition de la qualité minimale et maximale de construction autorisée, les types de construction autorisés et leurs usages.
- Déterminé les règles concernant l'aspect extérieur des constructions.
- Délimite l'espace public, les espaces verts, les emplacements réservés aux ouvrage public et installation d'intérêt général ainsi que les traces et les caractéristiques des vois de circulations.
- Définit les servitudes.
- Précise les quartiers, rues, monuments et sites à protéger, à rénover et à restaurer.
- Localisé les terrains agricoles à préserver et à protéger.

3.3. Le contenu des études du POS

Le POS attribué nécessite un soin particulier lors de son élaboration, car c'est à son stade que la confrontation de l'intérêt général et les intérêts des particuliers (propriétaires fonciers et spéculateurs fonciers) aura lieu, ceci justifie la prolongation de la durée de son enquête publique à 60 jours au lieu de 45 jours pour le PDAU.

Le tableau 2.2 ci-après présente la composition du POS.

Tableau n°2.2 : Composition du POS.

| Partie | Contenu |
|-----------------------------|---|
| Règlement | <ul style="list-style-type: none"> -Access et voiries. -Desserte par les réseaux. -Caractéristiques des terrains. -Implantation des constructions par rapport aux voies et emprises publiques. -Implantation des constructions par rapport aux limites séparatives. -Hauteur des constructions. -Aspect extérieur. -Espaces libres et plantations. |
| Documents graphiques | <ul style="list-style-type: none"> -D'un plan d'état de fait (échelle 1/500° ou 1/1000°) faisant ressortir le cadre bâti actuel ainsi que les voiries, réseau divers et servitudes existantes. -Plan de situation (échelle 1/2000° ou 1/5000°) -Pan topographique (échelle 1/500° ou 1/1000°) -Plan géotechnique (échelle 1/500° ou 1/1000°) précisant les contraintes géographiques d'urbanisation du territoire concerné accompagné d'un rapport technique. -Un plan d'aménagement général (échelle 1/500 ou 1/1000) déterminant : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les zones réglementaires homogènes ✓ L'implantation des équipements et ouvrages d'intérêt général et d'utilité publique ✓ Le tracé des voiries et réseaux divers en mettant en évidence ceux à la charge de l'état tels que définis par le PDAU et ceux à la charge des collectivités locales. ✓ Les espaces à préserver -Plan de composition, urbaine (échelle 1/500 ou 1/1000) contenant notamment les éléments du règlement accompagné d'une axonométrie illustrant les formes urbaines et architecturales souhaitées. -La cartographie des risques majeurs. |

3.4. Procédure d'élaboration du POS

L'élaboration du plan d'occupation des sols doit être menée obligatoirement suivant la présente procédure :

-La prescription du POS par délibération de l'A.P.C concernée.

Cette délibération doit rappeler les termes de références du POS. à élaborer par le PDAU, préciser les modalités d'organisation de la participation des administrations publiques, des organismes et services publics et les associations à l'élaboration du POS, être notifiée au Wali et être affichée pendant 30 jours au siège de la commune.

-La délimitation du périmètre du POS est approuvée par arrêté du Wali, sur la base d'un dossier comportant une note de présentation du projet POS, un plan à une échelle 1/5000 ou 1/10000 du PDAU et délimitant le territoire à couvrir par le POS et une délibération de la commune concernée d'approbation de la délimitation du périmètre d'intervention du POS. Le Président de l'A.P.C. doit transmettre le dossier y afférent en plusieurs exemplaires accompagné d'une demande à la Direction de l'Urbanisme et de la Construction. Après examen des documents contenus dans le dossier, le Directeur de l'urbanisme et de la construction transmet le dossier accompagné un projet d'arrêté et son avis à la wilaya.

-La consultation Dans ce cadre, le président de l'A.P.C initie l'élaboration du POS et se charge notamment du suivi des études et du recueil des avis dans le cadre des consultations à engager avec les différents services publics, administrations publiques, organismes et les associations retenues à cet effet.

- L'enquête publique où le Président de l'A.P.C. doit faire connaître par écrit aux Présidents des Chambres de Commerce et d'Agriculture, aux Présidents des organisations professionnelles et aux Présidents des associations locales d'usagers, la décision portant prescription du POS contenant le ou les lieux de consultation du projet POS, le ou les commissaires enquêteurs, la date de démarrage et de clôture de l'enquête, les modalités de déroulement de l'enquête. Cet arrêté est affiché au siège de la commune durant toute la période de l'enquête, aussi il faut ouvrir un registre spécial côté et paraphé par le P/APC et un exemplaire du projet P.O.S. adopté doit être mis à la disposition du commissaire-enquêteur.

-L'Ouverture d'un registre spécial paraphé par le P/APC qui consigne les observations émises par le public (verbales ou écrites). A l'expiration du délai, le registre est clos et doit être signé par le commissaire enquêteur. L'ouverture et la clôture de l'enquête sont matérialisées par un procès-verbal dans les 15 jours qui suivent la clôture. Un dossier complet de l'enquête accompagné d'un rapport expliquant le déroulement de celle-ci et comportant les conceptions, est déposé par le commissaire enquêteur au niveau de la commune.

3.5. Procédure d'approbation du POS

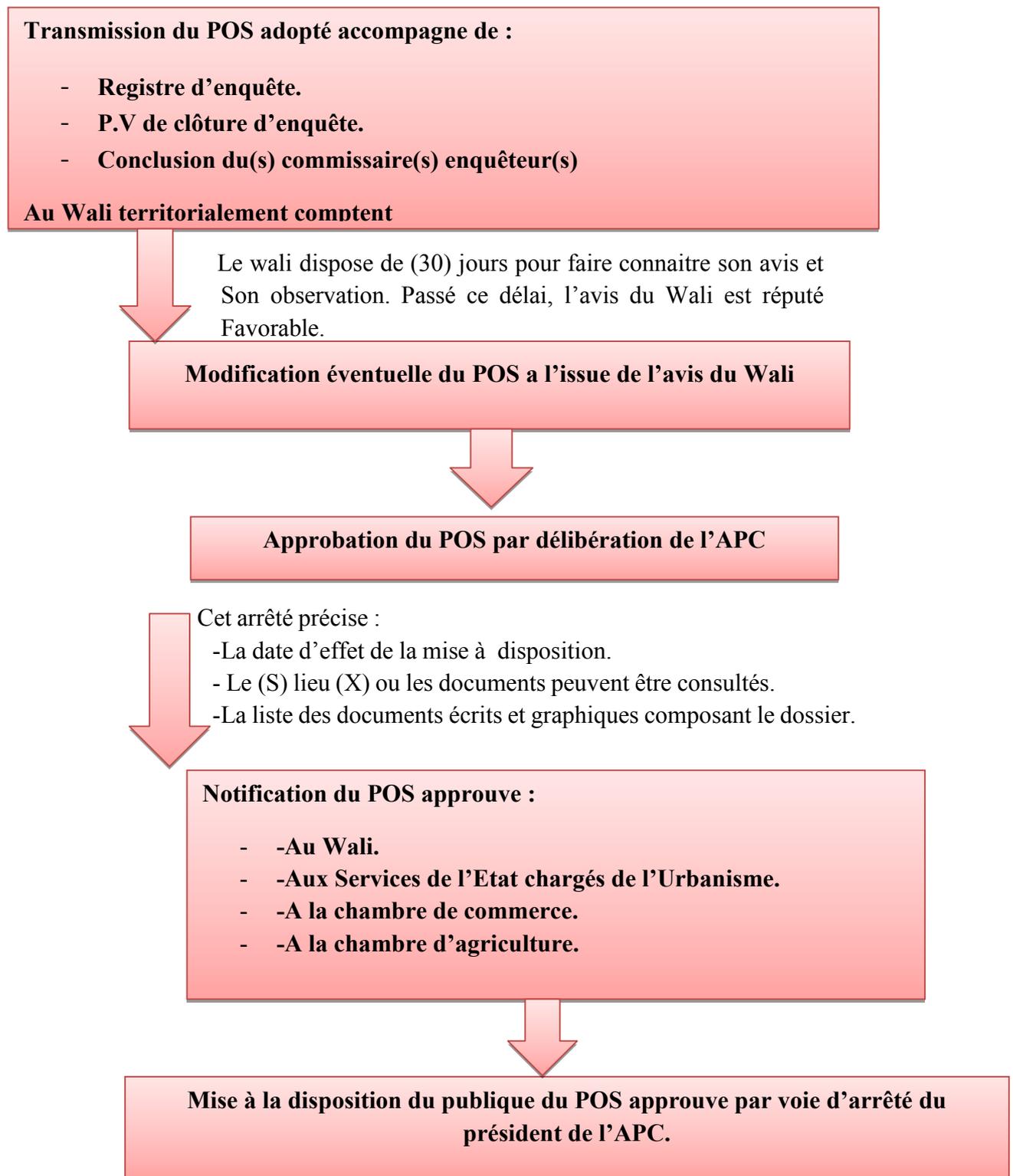


Figure n°2.2 : Procédure d'approbation du plan d'occupation des sols (POS).

4. Projet ponctuel

4.1. Qu'est-ce qu'un projet ?

Le projet est défini; selon la norme ISO 1006 comme « un processus unique, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées, comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques incluant les contraintes de délais, de coûts et de ressources ».

Un projet de bâtiment au sens commun est une construction immobilière, réalisée par intervention humaine, destinée d'une part à servir d'abri, c'est-à-dire à protéger des intempéries des personnes, des biens et des activités, d'autre part à manifester leur permanence comme fonction sociale, politique ou culturelle.

4.2. Le cycle de vie d'un bâtiment

4.2.1. Phase étude préalables

Cette phase vise à déterminer les besoins qui justifient l'existence, du projet et la faisabilité de l'opération. Elle peut comporter trois étapes :

4.2.1.1. Etude d'opportunité

Cette étape d'avant-projet permet d'étudier la demande de projet et de décider si le concept est viable. Cette première étape a pour enjeu de valider la demande des utilisateurs par rapport aux objectifs généraux de l'organisation.

Elle consiste à définir le périmètre du projet, notamment à définir les utilisateurs finaux, c'est-à-dire ceux à qui l'ouvrage est destiné (on parle de ciblage). A ce stade du projet il est donc utile d'associer les utilisateurs à la réflexion globale.

Lors de la phase d'opportunité, les besoins généraux de la maîtrise d'ouvrage doivent être identifiés. Il est nécessaire de s'assurer que ces besoins correspondent à une attente de l'ensemble des utilisateurs cibles et qu'ils prennent en compte les évolutions probables des besoins.

4.2.1.2. Etude de faisabilité

L'étude de faisabilité vise à analyser la faisabilité économique, organisationnelle et technique de projet, elle évalue les facteurs qui contribuent au risque, la probabilité qu'ils se matérialisent et l'incidence qu'ils auront sur les projets.

A la fin chaque étape de l'analyse le planificateur doit :

- Etablir des critères qui permettent de déterminer si l'on veut ou non aller de l'avant et passer à la prochaine étape de planification.
- Prendre la décision de passer à la prochaine étape ou de l'abandonner.

4.2.1.3. Cadrage de projet

Le but du cadrage est de faciliter la compréhension et la manipulation du projet, il peut être déterminant pour définir l'aire d'étude, pour identifier les études spécifiques à prévoir et le planning de réalisation, analyser les offres des prestataires. Il permet de finaliser le cahier des charges et préciser le contenu de l'étude d'impact qui sera réalisée par la suite.

Il peut également permettre d'identifier en amont certains enjeux susceptibles de compromettre la réalisation du projet et qui de ce fait nécessitent un examen particulièrement approfondi.

4.2.2. Phase conception :

La phase de conception consiste à mettre sur pied l'équipe responsable de conception, à l'élaborer un plan de conception respectant les objectifs et les exigences du projet et à produire les documents nécessaires pour l'approbation du projet.

Le maître de l'œuvre présente les résultats de sa première étude de faisabilité du bâtiment souhaité et réalise une première esquisse en fonctions des différents paramètres liés au terrain, aux options de la construction envisagée par le maître d'ouvrage et de ses contraintes financières. Cette esquisse initiale permet une première visualisation du projet inséré dans le site.

4.2.2.1. Etudes d'avant projet

Si le maître d'ouvrage est satisfait des premières études d'esquisse ou de diagnostic, il peut décider de poursuivre les travaux dans les études d'avant projet.

A) Avant-projet sommaire(APS)

A ce point de la relation, le maître d'œuvre fournit une description précise des différentes options retenues pour le projet de bâtiments et une estimation du coût et de la durée des travaux. Elle permet également de fournir aux décideurs une proposition technique quant à la réponse apportée au problème posé, en termes de principes retenus et d'architecture générale.

B) Avant-projet définitif(APD)

Les dernières mises au point effectuées en fonction des options retenues par le maître d'ouvrage, le choix des matériaux, les différentes prestations techniques et l'ensemble des travaux sont précisés avec leur intégration au sein du projet et de la construction. Un chiffrage précis de l'ensemble du projet est finalisé. Les documents qui détaillent les caractéristiques définitives du projet architectural et des performances convenues sont rédigés de manière formelle ; ils forment le contrat qui précise point par point l'ensemble des services fournis par la maîtrise d'œuvre au maître d'ouvrage durant les phases suivantes.

4.2.2.2. Etudes de projet

L'architecte prépare alors les plans détaillés de tous les niveaux du ou des bâtiments, élévations, façades et éventuellement perspectives additionnelles qui assurent une bonne compréhension de l'ensemble du projet jusqu'en dans ses moindres détails. Selon les besoins spécifiques de chaque projets, des bureaux d'études techniques sélectionnés par le maître d'ouvrage sur conseil de l'architecte conduisent en parallèle la mise au point de leur plan d'action, en collaboration étroite avec l'architecte en vue d'une intégration réussie de leur expertise dans l'ensemble du projet.

A) Plan d'exécution

Les études d'exécution ont pour objet la réalisation technique du projet : les plans d'exécution aux échelles appropriées, les notes de calcul et les spécifications d'usage pour le chantier permettent l'exécution des travaux par les différents entrepreneurs pour la construction de l'ensemble du bâtiment. Au-delà des plans architecturaux, le maître d'ouvrage peut éventuellement charger le maître de l'œuvre, assisté de techniciens des spécialités requises, de réaliser les plans d'exécution et devis quantitatifs détaillés de certains lots, dans une mission complémentaire des études d'exécution.

4.2.3. Phase réalisation

4.2.3.1. Sélection des entreprises de la construction

Le maître de l'œuvre consulte les entreprises capables d'intervenir et analyse les offres des entrepreneurs selon des procédures bien définies. Des négociations peuvent être conduites au nom du maître d'ouvrage et des modifications peuvent être apportées pour rentrer dans les budgets alloués. Le maître de l'œuvre assiste le maître d'ouvrage pour la sélection des différents prestataires de la construction en fonctions des critères retenus avec le maître d'ouvrage.

4.2.3.2. Exécution des travaux

C'est l'étape de la mise en œuvre du projet sur le terrain, l'entreprise, les fournisseurs exécutent leurs contrats dans les plans et devis, le maître d'ouvrage pour sa part assure les paiements en fonction de l'avancement des travaux réalisés.

4.2.3.3. Suivi des travaux

Le but de cette étape est de mesurer et surveiller régulièrement la progression et la conformité du projet et assurer la bonne intégration des modifications ou changements approuvés dans le cadre du projet.

4.2.4. Phase clôture

Le maître d'œuvre contrôle l'ensemble des travaux effectués et de la réalisation des prestations jusque dans leurs ultimes détails. Il se charge aussi du décompte général des factures des différents prestataires et solde les comptes de chantier. Il clôture le dossier des ouvrages réalisés et confirme ainsi la conformité de l'ouvrage afin de correspondre aux termes des contrats de garanties. Des pénalités peuvent être appliquées aux entreprises qui dépasseraient la durée prévue pour leur intervention.

Une fois l'ensemble des travaux validés par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage, ceux-ci s'accordent de la réception finale du bâtiment, et la passation complète de la responsabilité du ou des bâtiments au maître d'ouvrage.

4.2.5. Phase utilisation ou exploitation

L'étape de l'exploitation est la phase où l'ouvrage doit être utilisé, on peut avoir par le temps des dégradations de cette structure, mais si le service de l'entretien existe et respecte les exigences selon les contrats, la structure sera toujours en bon fonctionnement. Intégrer l'exploitation et la maintenance le plus possible en amont de l'opération est devenue une obligation légale pour renforcer la sécurité de toute intervention ultérieure sur l'ouvrage.

5. Comment assurer la durabilité d'un projet

Aujourd'hui, La durabilité ne doit plus être considérée comme un simple objectif, mais bien comme une priorité. En remettant en cause les instruments d'urbanismes actuels (PDAU, POS) et le projet urbain. Afin d'assurer cette durabilité il faut bien prendre en compte plusieurs paramètres. (Voir la figure 2.3)

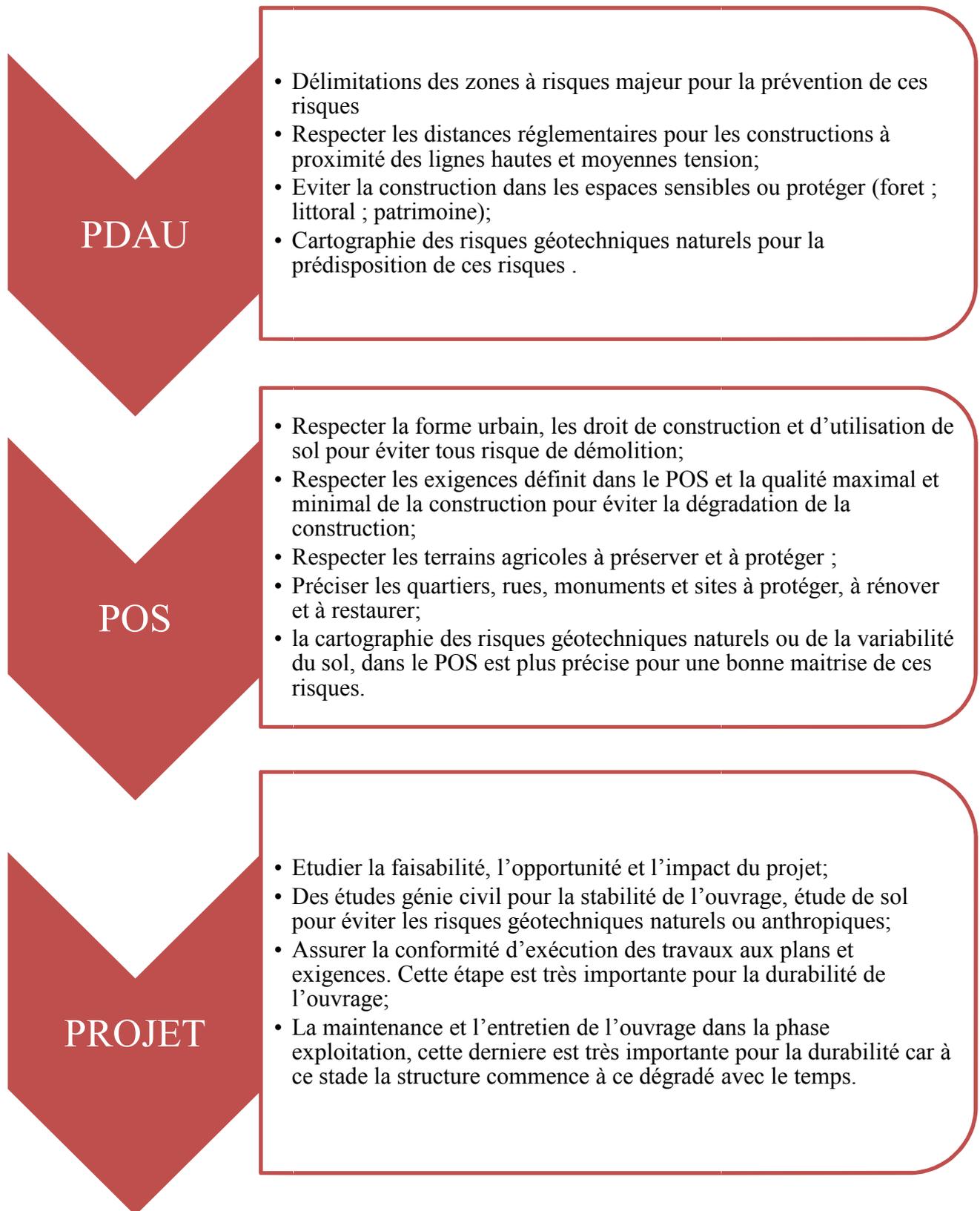


Figure n°2.3 : Procédure pour assurer une durabilité d'un projet depuis le PDAU et POS.

6. Conclusion

Les instruments d'aménagements et d'urbanisme sont réellement un nouveau saut dans la planification urbaine. Ils s'occupent de l'espace urbain du côté organisation et orientations des aménagements à travers le PDAU et de donner les moindres détails architecturales et urbains à travers le POS.

Ces instruments resteront insuffisants s'ils ne sont pas accompagnés d'une véritable rigueur concernant leur application en matière de contrôle de l'utilisation du sol. Ces instruments expriment une volonté de gestion urbaine en amont, le contrôle de leur application et leur exécution conformément aux schémas et tracés préalable, représente un mode de gestion en aval. Il faut veiller au suivi de leur application sur le terrain afin de pouvoir assurer la durabilité des projets par la prévention des risques à l'aide des cartographies.

Des différentes typologies de cartes peuvent être prises en compte lors de leurs élaborations, Parmi ces derniers on peut citer : La cartographie des risques, la cartographie géologique et la cartographie topographique.

Le chapitre suivant présente l'importance de la cartographie pour le management des risques géotechniques.

Chapitre -3-

Importance de la cartographie pour le management des risques géotechniques dans les projets en milieu urbain.

**« une carte vaut mieux qu'un
long discours »**

1. Introduction

Dans les chapitres précédents nous avons vu la définition du risque et ces types, ainsi que les outils d'urbanisme qui vont être utilisés par la suite. Connaître ces risques pour mieux s'en protéger est indispensable.

C'est le management des risques qui répond le mieux aux besoins d'identification, d'évaluation et de suivi des risques dans les projets de génie civil et urbain, il propose aux professionnels de ce domaine un processus, une démarche et des outils permettant d'anticiper les risques susceptibles d'intervenir au cours du projet, et d'en gérer les conséquences.

Mais, qui veut gérer les risques efficacement se doit d'avoir un cadre d'analyse adéquat. Ce cadre est la cartographie des risques qui s'impose comme le tableau de bord par excellence de la gestion des risques.

Le présent chapitre a pour objectif de définir le management des risques géotechniques ? Savoir qu'est-ce qu'une cartographie des risques et son utilité pour le management des risques géotechniques.

2. Le management des risques géotechniques

Le management des risques géotechniques est un processus d'identification, d'analyse et de réponse aux risques liés aux sols afin de fournir une base de travail rationnelle pour l'anticipation et la prise de décision. Une bonne gestion de ces risques nécessite de manager des événements futurs possibles de façon proactive plutôt que réactive. Ce processus doit donc être intégré dans le processus de management du projet. Sa mise en œuvre doit permettre de réduire la probabilité d'un événement, mais aussi l'ampleur de son impact.

2.1. Processus de management du risque

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

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

Le processus de mangement du risque se décompose selon la norme ISO 31000 : 2009 en sept activités, comme schématisé sur la figure 3.1.

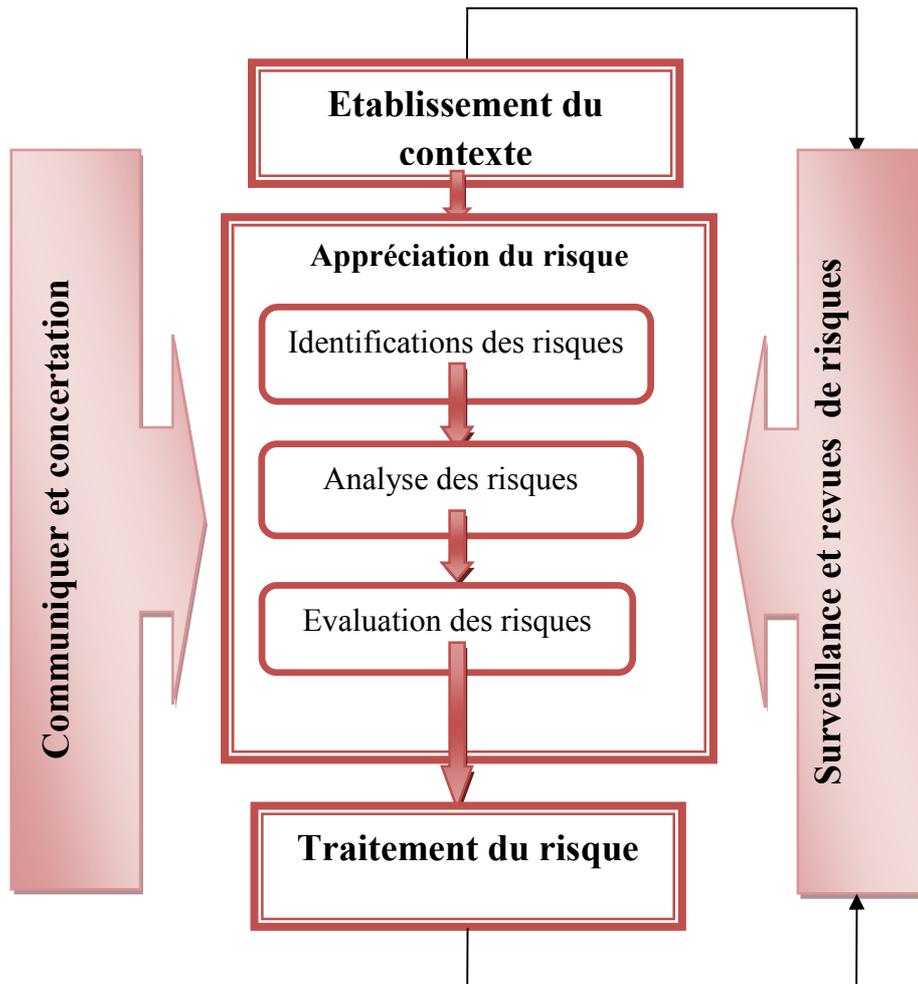


Figure n°3.1 : Processus de gestion du risque (ISO 31000, 2009).

2.1.1. Etablissement du contexte

Cette étape va permettre d’appréhender les objectifs de l’organisme, l’environnement dans lequel il poursuit ces objectifs, les parties prenantes et la diversité des critères de risques. Cette activité se décompose en deux grandes tâches :

2.1.1.1. Analyse des environnements de l’organisme

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

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

2.1.1.2. Référentiel de gestion des risques

C'est à ce niveau que l'on va définir tout d'abord le périmètre de gestion des risques puis la méthode utilisée pour l'appréciation des risques au sein de ce périmètre, y compris la manière dont seront abordées les problématiques complexes liées à l'interdépendance des risques entre eux, à l'enchaînement potentiel des causes et des conséquences. Cette méthode doit s'appuyer sur un référentiel déterminé comprenant des échelles de cotation de la vraisemblance et de la gravité, ainsi qu'une définition de l'acceptabilité du risque.

2.1.2. L'appréciation des risques

C'est l'ensemble du processus d'identification, d'analyse et d'évaluation des risques

2.1.2.1. Identification du risque

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

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

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

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

Vraisemblance et gravité sont effectivement les deux facteurs permettant d'évaluer le risque.

Un exemple d'identification des risques géotechniques est présenté dans la figure n° 3.2 ci-après :

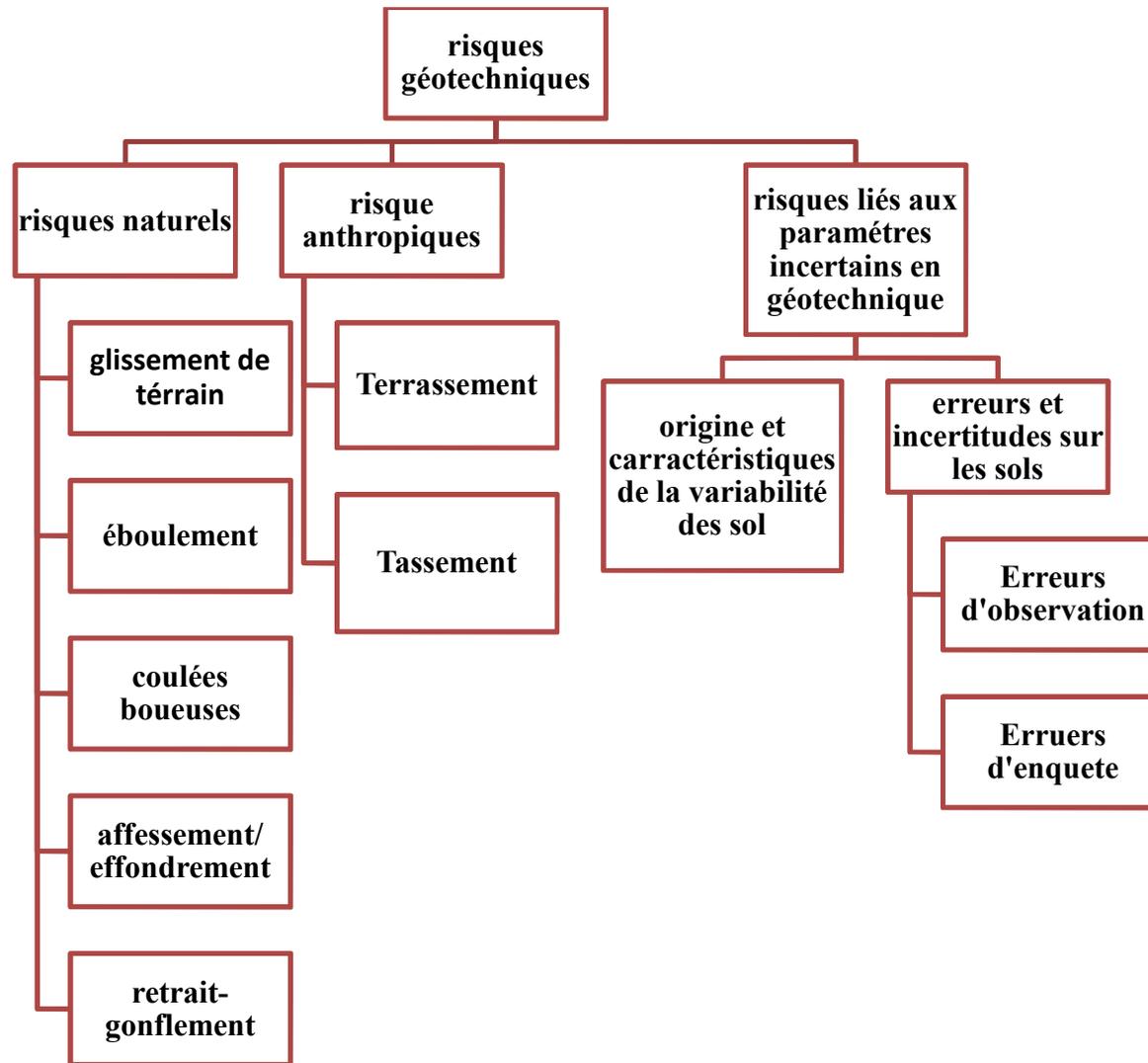


Figure n°3.2 : RBS des risques géotechniques.

2.1.2.2. Analyse du risque

Il s'agit ici de comprendre les mécanismes du risque observé. Il s'agit de modéliser les causes et les conséquences d'un événement ayant un impact sur les objectifs, c'est-à-dire :

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

Il n'existe pas de manière standard de modélisation des risques projet. Chaque acteur pouvant privilégier une modélisation particulière selon ces objectifs ou bien selon les risques dont il est à l'origine ou ceux qui peuvent avoir un impact sur ses activités.

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

Un exemple de quantification des risques géotechniques en termes de gravité et de probabilité sont présentés dans le tableau n°3.1.

Tableau n°3.1 : Quantification des risques géotechniques en termes de gravité et de probabilité.

| Nature de risque | | Risques | P | G | |
|------------------------------|---|--|-----------------------------------|---|---|
| Risques géotechniques | Risques naturels | Glissement de terrain.....(A) | 3 | 4 | |
| | | Eboulement.....(B) | 2 | 2 | |
| | | Coulées boueuses.....(C) | 1 | 1 | |
| | | Affaissement/Effondrement....(D) | 2 | 3 | |
| | | Retrait-Gonflement.....(E) | 2 | 2 | |
| | Risques anthropiques | Terrassement.....(F) | 2 | 3 | |
| | | Tassement.....(G) | 3 | 2 | |
| | Risques liés aux paramètres incertains en géotechnique | Origine et caractéristiques de la variabilité des sols..... (H) | | 3 | 3 |
| | | Erreurs incertitudes sur les sols | Erreurs d'observation. (I) | 2 | 1 |
| | | | Erreurs d'enquête.... (J) | 1 | 2 |

2.1.2.3. Evaluation du risque

Cette étape consiste à estimer les risques et comparer leur niveau lors de la simulation des scénarios des risques avec les critères de risque établis lors de l'établissement du contexte. Si le niveau de risque ne satisfait pas les critères d'acceptabilité, il convient que le risque fasse l'objet d'un traitement. L'objet de cette étape est de prendre des décisions sur les risques qui doivent être traités en s'appuyant sur les résultats de l'analyse.

La valeur d'un risque s'exprime par une simple multiplication de la gravité et la probabilité de survenance de ce risque, ce qu'on l'appelle aussi par le terme « criticité ».

$$C = P \times G$$

Un exemple de quantification des risques géotechniques en termes de criticité sont présentés dans le tableau n°3.2.

Tableau n°3.2 : Quantification des risques géotechniques en termes de criticité.

| Nature de risque | | Risques | P | G | C | |
|-----------------------|--|---|----------------------------|---|----|---|
| Risques géotechniques | Risques naturels | Glissement de terrain.....(A) | 3 | 4 | 12 | |
| | | Eboulement.....(B) | 2 | 2 | 4 | |
| | | Coulées boueuses.....(C) | 1 | 1 | 1 | |
| | | Affaissement/Effondrement.....(D) | 2 | 3 | 6 | |
| | | Retrait-Gonflement.....(E) | 2 | 2 | 4 | |
| | Risques anthropiques | Terrassement.....(F) | 2 | 3 | 6 | |
| | | Tassement.....(G) | 3 | 2 | 6 | |
| | Risques liés aux paramètres incertains en géotechnique | Origine et caractéristiques de la variabilité des sols..... (H) | | 3 | 3 | 9 |
| | | Erreurs incertitudes sur les sols | Erreurs d'observation. (I) | 2 | 1 | 2 |
| | | | Erreurs d'enquête.... (J) | 1 | 2 | 2 |

2.1.3. Traitement des risques

Cette étape consiste l'identification de l'ensemble des options existantes pour le traitement des risques, l'évaluation de ces options et la préparation d'un plan de traitement des risques. On se focalise sur trois grandes étapes :

- Accepter le risque
- Réduire le risque
- Financer le risque

Les solutions de réduction du risque sont :

- Supprimer la source de risque, le danger, ou la cible ;
- Mettre le risque sous surveillance ;
- Réduire la vraisemblance (prévention) et/ou la gravité (protection).

Les solutions de financement du risque sont :

- Transférer le risque (principe de l'assurance) ;
- Provisionner le risque (mécanisme comptable réservant du résultat).

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

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

Tableau n°3.3 : Un exemple d'une matrice de gravité des risques géotechniques.

| | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| Aléa/probabilité d'occurrence | >90% | Quasiment certain | 5 | | | | | |
| | 50-90% | Probable | 4 | | | | | |
| | 30-50% | Possible | 3 | | G | H | A | |
| | 10-30% | Peu probable | 2 | I | B et E | D et F | | |
| | <10% | Rare | 1 | C | J | | | |
| | | | | 1 Non significatif | 2 Mineur | 3 Modéré | 4 Majeur | 5 Très significatif |
| | | | Impact /vulnérabilité | | | | | |

Le tableau n°3.4 présente un exemple de matrice d'analyse des risques qui comprend les stratégies de réponse et des plans de substitution des événements à risques géotechniques.

Tableau n°3.4 : Matrice d'analyse des risques géotechniques.

| Matrice d'analyse des risques géotechniques | | | | | |
|--|------|--------|---|---|--|
| Evènement a risque | Aléa | Impact | Action à entreprendre | | |
| | | | Préventives | Stratégies de réponse | Plan de substitution |
| Glissement de terrain | 3 | 4 | -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Investigation sur les terrains | Réduction des risques/ Partage des risques | -Un system de renforcement avec la technique géosynthétique -Renforcement des talus par clouage - Renforcement des talus par tirants d'ancrage |
| Eboulements | 2 | 2 | -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Stabiliser la masse rocheuse -Ancrage optimal au terrain (grillage, filets, béton projeté, etc.) | Moyens permettant d'éviter les risques | -Alerter la population -bloquer les routes -évacuations des chutes |
| Affaissement/ Effondrement | 2 | 3 | -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Compactage -Investigation sur les terrains -Adaptation les ouvrages au contexte géologique -Drainages des sols -Suivi de l'état des cavités | Réduction des risques | -Injections des coulis cendres-ciment -Comblement des cavités souterraines |
| Coulées boueuses | 1 | 1 | -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Adoucir la pente et construire un enrochement pour | Partage des risques | -Mise en place des techniques pour modifier Les comportements - Remonter les Protections |

| | | | | | |
|---|---|---|--|--|--|
| | | | protéger le talus contre l'érosion -Reboisement des zones exposées au ravinement - bassins de rétention des eaux de pluie -Drainage des sols | | |
| Retrait-gonflement | 2 | 2 | -Cartographie des risques naturels -Plans d'exposition aux risques -Investigation sur les terrains -Traitement du sol (liants hydraulique ou organique) -Maintenir l'équilibre d'humidité -Adaptation les constructions | Réduction des risques | -Alerter la population -bloquer les routes -Drainage et traitement des sols |
| Risque anthropiques (Terrassement/ Tassement) | 2 | 3 | -Investigation sur les terrains -Adapter les pentes de talus de remblais et déblais -Drainages des sols -Végétations | Réduction des risques/Moyens permettant d'éviter les risques | -Réaliser un système de confortement basé sur l'utilisation des nappes en géosynthétique. -Construire un contrepois en enrochement pour stabiliser les talus -Mur de soutènement |
| Risques liés aux mesures et incertitude | 2 | 1 | -Formation du personnel -Respect des normes -Accréditation suivant la norme ISO 17025 | Réduction des risques | |

2.1.4. Surveillance et revue des risques

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

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

2.1.5. Communication et concertation

La norme ISO 31000 : 2009 insiste beaucoup sur la nécessité de concertation avec les parties prenantes, internes à l'organisme ou externes à l'organisme. Dès la description du cadre organisationnel, elle préconise que l'engagement de la direction s'accompagne d'un plan de communication approprié pour favoriser une perception commune du risque puis prône la pluridisciplinarité comme méthode de travail pour l'évaluation des risques et leur traitement. Ceci se concrétise dans la formalisation d'une activité à part entière, hors boucle de progrès, mais connectée à chacune des autres activités du processus.

3. Cartographie des risques géotechnique

3.1. Qu'est-ce qu'une cartographie des risques ?

Selon le petit Larousse, la cartographie se définit comme l'ensemble des opérations d'élaboration, de dessin et d'édition des cartes. En prenant appui sur cette définition, le concept de cartographie des risques se conçoit comme l'identification et la description d'une façon objective et structurée des risques existants. C'est un cadre d'analyse qui expose les caractéristiques des risques. Cette cartographie est définie au travers de trois dimensions, à savoir : l'occurrence de l'événement, les conséquences de l'événement et sa prise en charge.

L'occurrence d'un événement est fonction de trois variables. La première est le type de l'événement. Cela peut être un glissement de terrain, un affaissement etc. La deuxième variable concerne la fréquence ou la probabilité de cet événement. Et, la troisième est son intensité que ce soit la taille et/ou la puissance de cet événement.

La deuxième dimension de la cartographie des risques concerne l'impact ou les conséquences de l'événement. Bien sûr, cette dimension est aussi fonction du type d'événement et de son intensité.

Mais elle est surtout fonction de la vulnérabilité des systèmes. La sévérité du type d'événement dépend de son implication vis-à-vis du système concerné. Un tremblement de terre qui a son épïcentre au milieu du Pacifique fera bien moins de dégâts que s'il se situe en milieu urbain.

La troisième dimension concerne la prise en charge de l'événement, c'est-à-dire le degré ou la capacité à pouvoir revenir à la situation existante.

3.2. Définition et contenu de la carte géotechnique

Le terme géotechnique peut paraître assez vague mais, si l'on adopte une définition de K. Terzaghi « la géotechnique est destinée à regrouper les données les plus significatives des domaines de la mécanique des sols et de la géologie de l'ingénieur. Ces deux domaines sont si étroitement liés qu'il serait vain de demander quel est le plus important ».

Ce point de vue se trouve illustré par la parenté souvent étroite qui existe entre les cartes géologiques usuelles et les cartes géotechnique. Cela est bien normal puisqu'elles représentent, chacune de leurs façons, un même terrain. La carte géotechnique peut donc se définir, comme une carte géologique fournissant des renseignements d'ordre générale sur toutes les composantes d'un environnement géologique ayant une importance pour l'aménagement du sol et pour le calcul, la construction et l'entretien des travaux de génie civil.

Le praticien non géologue est donc en droit d'y trouver les informations à caractère technique qu'il rencontrera rarement sous une forme qui lui convienne sur la carte géologique classique. Cette dernière en outre, par la richesse des informations qu'elle dispense, par sa symbolique particulière et son vocabulaire spécialisé, orienté vers la géologie fondamentale plutôt que vers les aspects techniques, peut rebuter les utilisateurs occasionnels que sont les techniciens du génie civil ou ne pas répondre à leurs besoins.

La carte géotechnique essaie de simplifier leur tâche et d'éviter les erreurs d'interprétation. Pour cela, elle commence par représenter isolément les facteurs géologiques jugés indispensables tels que :

- Lithologie et structure,
- Hydrogéologie,
- Géomorphologie,
- Phénomènes géodynamiques.

3.3. Caractères généraux des cartes géotechniques

Les caractères généraux de la carte géotechnique doivent être les suivants :

- Rassembler et représenter l'information objective nécessaire pour évaluer les caractéristiques géotechniques dont la connaissance est indispensable dans le triple domaine de l'aménagement régional, de la construction et de l'exploitation minière.
- Permettre la prévision des modifications des conditions géologiques que risque d'entraîner les travaux et suggérer les mesures préventives nécessaires.
- Présenter l'information géologique et géotechnique d'une façon accessible aux professionnels qui l'utilisent et qui ne sont pas forcément géologues.

3.4. Classification des cartes géotechniques

Les cartes géotechniques sont classées selon leur usage, leur contenu et leur échelle.

On distingue tout d'abord les cartes à usage particulier (qui insistent sur un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur ou bien sur une application particulière) et les cartes à usages multiples, plus polyvalentes.

Le contenu, quand à lui, peut-être variable. Les cartes analytiques ou cartes de facteurs représentent la répartition d'un facteur donné (carte des pentes, carte du toit de la nappe, etc.).

De conception différente, les cartes synthétiques peuvent revêtir trois aspects :

- Regroupement et figuration, sous une forme compréhensible, de tous les éléments de la géologie et géotechniques utiles à l'ingénieur.
- Zonage géotechnique, par regroupement des terrains présentant des propriétés géotechniques voisines.
- Carte d'aptitude, qui s'efforce d'interpréter les effets de la superposition et de la juxtaposition d'un certain nombre de facteurs géologiques et géotechniques élémentaires en vue d'une application précise (carte d'aptitude aux fondations de bâtiment par exemple).

Il existe aussi les cartes auxiliaires qui présentent des données indispensables à la compréhension de la carte géotechnique, telle que la carte de documentation (qui indique tous les emplacements de reconnaissance, mesures, prélèvement d'échantillons, etc.).

Selon leur échelle, les cartes géotechniques sont dites :

- A grande échelle : $> 1/10000$.
- A moyenne échelle : entre $1/10000$ et $1/100000$.
- A petite échelle : $< 1/100000$.

3.5. Présentation de la cartographie des risques dans la wilaya de Tlemcen

3.5.1. Situation géographique de la ville de Tlemcen

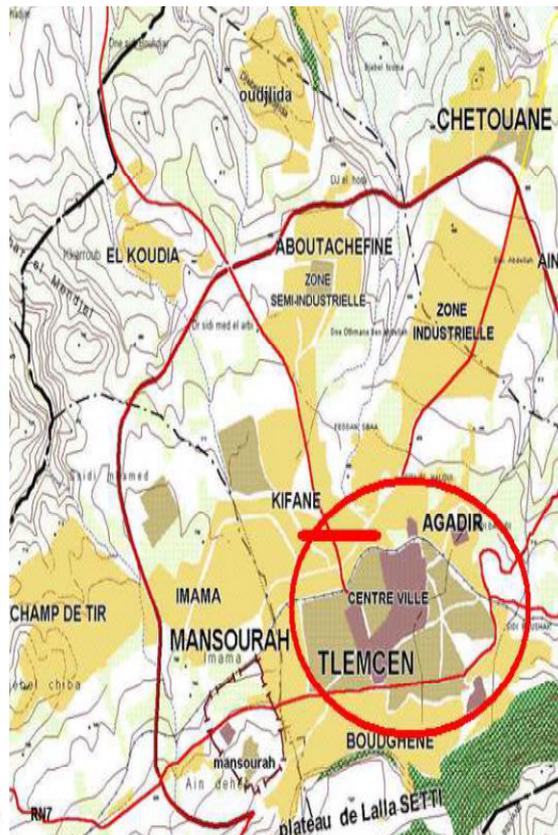
« Située dans l'extrême Nord - Ouest du pays, la ville de Tlemcen est distante de 140 km de la ville d'Oran et 40 km de la mer Méditerranée à vol d'oiseau. ». Elle est bordée au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par la wilaya de Naâma, à l'Ouest par le Maroc et à l'Est par la wilaya de Sidi-Bel-Abbès.

« Tlemcen est à 3°38 de longitude ouest et 34°53 de latitude Nord et adossée au flanc du plateau de Lalla Setti ». Elle occupe une position centrale et stratégique par rapport à la wilaya, ce qui lui permet de jouer un rôle de carrefour (Voir carte n°3.1).

Par rapport au groupement (Voir carte n°3.2), la ville de Tlemcen « occupe l'étage qui surplombe les sites de Sidi Othmane, Sidi Saïd, Sidi El Haloui. Les altitudes varient de 817 mètres à Bâb El Hadid à 769 mètres à Bâb Zir, soit un dénivellement de 48 mètres sur une distance de 1300 m et une pente de 3,6% ». Elle est délimitée au Nord par le chemin de fer et l'enceinte médiévale (Bâb El Karmadine), au Sud par le boulevard HAMSALI Sayah, à l'Est par la périphérie d'Agadir, et à l'Ouest par l'allée des pins. Une partie de la cartographie des risques du PDAU groupement Tlemcen, Mansourah, Chetouane, Beni-mester sera présenté dans la carte n°3.3.



Carte n°3.1 : Situation de la ville par rapport à la wilaya



Carte n°3.2 : Situation de la ville par rapport au groupement

4. Utilité de la cartographie pour le management des risques géotechniques

La cartographie des risques est une étape importante pour une compréhension plus complète, c'est-à-dire holistique. Elle permet l'acquisition d'une connaissance détaillée du territoire, laquelle rend possible la réalisation d'interventions prévues aux autres niveaux du cadre de gestion des risques. Pour ce faire elle évalue les risques en fonction de l'impact qu'ils pourraient avoir s'ils se matérialisaient, et de leur probabilité de survenance.

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

L'outil cartographique vise à limiter les conséquences humaines et économiques des catastrophes naturelles dont l'objectif est de :

- Obtenir une vision globale des risques.
- Délimiter les zones exposées aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité d'un risque encouru ;
- Délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques ;
- Définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doit être prise dans les zones vulnérables.
- Déterminer les ressources susceptibles d'être impactées par les risques.
- Déterminer quels risques traiter en priorité selon leur degré de criticité.
- Assurer la pertinence du dispositif de contrôle des risques et éviter les situations de dérives.
- Etablir une analyse comparative et évolutive des risques (PDCA).

5. Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre, le processus de management des risques géotechniques, qui nous a permis d'identifier, analyser et évaluer la majorité des risques géotechniques.

Afin de réduire ces risques, nous avons, à l'aide d'une cartographie des risques majeurs, qui est utilisé pour le suivi de l'évolution des risques et pour agir en amont des catastrophes, dont le but de réduire leurs effets et donc pour une meilleure prévention des risques géotechniques.

Mais, une bonne gestion des risques nécessite la mise en place d'une quantité d'outils et de méthodes d'analyse parmi eux on peut citer « AMDEC » dont la démarche d'élaboration constituera l'essentiel du chapitre suivant.

Chapitre -4-

**Application de la méthode
« AMDEC » pour le
management des risques
géotechniques.**

**« Ceux la sont de bien plus
grand mérite et d'expérience
qui savent prévenir les
maladies, que ceux qui les
guérissent »**

Michel de l'Hospital

(1505 – 1573)

1. Introduction

Les projets de construction s'exposent à des nombreux risques géotechniques. Ils ne peuvent être totalement évités, mais il est possible de diminuer leur probabilité d'apparition et/ou leur gravité. La maîtrise de ces risques est l'un des enjeux importants pour la réussite de la gestion de projet. De nombreux travaux se sont attachés à identifier et évaluer ces risques. Cependant la complexité inhérente aux projets de construction (multiplicité des acteurs, variété des risques, etc.) rend la gestion globale de ces risques extrêmement difficile.

Pour cela, il faut nécessairement faire appel à des différents d'outils et méthodes d'analyse des risques, très diversifiés quant à leurs performances, leur complexité afin de permettre, à travers l'étude des systèmes, l'identification, l'évaluation et le contrôle des défaillances et pour gérer la survenance d'événements perturbateurs en vue d'atteindre les objectifs du projet.

Nous présenterons dans ce chapitre la méthode « AMDEC » ainsi que l'arbre d'événement qui ont un impact par la suite sur la méthodologie d'élaboration d'une cartographie des risques géotechniques.

2. Présentation et l'application de la méthode « AMDEC »

L'A.M.D.E. (C) est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global. Cette méthode a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire.

Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil ; domaine aéronautique, spatial, grands travaux), puis a été intégrée dans les projets industriels.

De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non-performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

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

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

La figure n°4.1 nous donne le principe général de l'A.M.D.E. On schématise l'A.M.D.E en processus pour avoir vision simplifiée de son principe, mais il faut quand même mentionner quelques remarques entre les différents tableaux AMDEC :

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

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

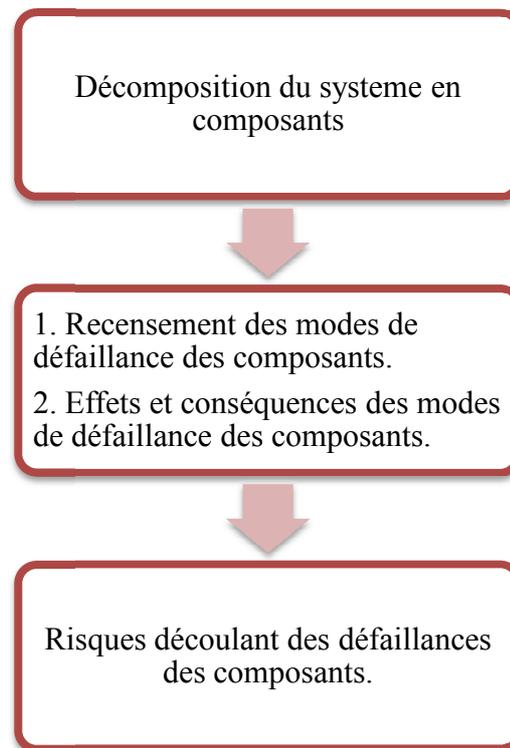


Figure n°4.1 : Principe de l'A.M.D.E.

2.2. Types d'AMDEC

Il existe globalement trois types d'AMDEC (figure n°4.2) suivant que le système analysé est :

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

2.2.1. AMDEC-Produit

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

2.2.2. AMDEC-Processus

L'AMDE(C)-Processus est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. Elle est mise en œuvre pour évaluer et hiérarchiser les défauts potentiels d'un produit dont les causes proviennent de son processus de fabrication. S'il s'agit d'un nouveau procédé, L'AMDE(C)-Processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, l'AMDE(C)-Processus en permettra l'amélioration.

2.2.3. AMDEC- Moyen de production

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

| Type D'AMDE(C) | | |
|---|---|---|
| AMDEC Produit Analyse de la conception d'un produit pour améliorer la qualité et la fiabilité prévisionnelle. | AMDEC Processus Analyse de la conception d'un produit pour améliorer la qualité et la fiabilité prévisionnelle. | AMDEC Moyen de production Analyse de fonctionnement du moyen pour améliorer la disponibilité (fiabilité et maintenabilité) et la sécurité |

Figure n° 4.2 : Récapitulatif des types d'AMDEC.

2.3. Caractéristiques essentielles de L'AMDE(C)

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

L'AMDE(C) est une méthode d'analyse inductive rigoureuse qui permet une recherche systématique :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- le niveau « système »
- le niveau « sous-système » ;
- le niveau « composants » ;
- l'AMDE(C) fonctionnelle
- l'AMDE(C) produit ;
- l'AMDE(C) processus.

2.4.1. Pourquoi plusieurs niveaux ?

D'une part pour pouvoir découper en parties matériellement réalisables et lisibles

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

D'autre part, pour tirer des conclusions qui peuvent l'être à des stades intermédiaires.

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

2.4.2. Pourquoi plusieurs sujets ?

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

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

2.4.3. Pourquoi plusieurs AMDE(C) par phase ?

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

2.5. Réalisation d'une AMDEC

2.5.1. Préparation à L'AMDE(C)

La méthode s'inscrit dans un cycle d'activités. En amont de l'AMDE ou AMDEC proprement dite, une analyse fonctionnelle doit avoir été réalisée. L'analyse fonctionnelle externe du système décrit ce qu'on attend de lui. Ces analyses fonctionnelles sont explicites dans le cadre de grands projets menés selon les référentiels qui les exigent. Dans de nombreux cas, elles sont implicites ou incomplètes.

Il importe pour mener une AMDEC pertinente de rendre explicite ces informations. L'absence d'explicitation des exigences fonctionnelles externes et internes rend l'exploitation de L'AMDE(C) très périlleuse et potentiellement trompeuse. La validation des analyses fonctionnelles existantes ou la réalisation d'analyses fonctionnelles est une étape d'initialisation nécessaire pour aborder l'AMDE(C).

2.5.2. Conduite de la méthode

L'AMDE(C) exploite une connaissance complète et précise du système. La démarche va donc devoir réunir autant de personnes que nécessaire pour disposer de toute la connaissance du système. La base commune est constituée par l'image idéale du système atteignant ses objectifs que donnent les analyses fonctionnelles. Le groupe va l'enrichir de tous les fonctionnements induits par les défaillances.

Il faut disposer de spécialistes capables de décrire les modes de défaillance susceptibles d'affecter chaque composant et il faut réunir ces spécialistes pour faire circuler l'information et que chacun puisse imaginer l'impact, sur la partie qu'il connaît bien, des modes de défaillance d'un composant décrits par un spécialiste de ce composant. Ce groupe de spécialistes va être piloté par un animateur, maîtrisant bien la méthode, les conditions de succès, les risques d'échec.

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

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

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

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

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

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

2.5.3. Première étape : décomposition et modes de défaillances

La première étape va donc consister à décomposer le système en éléments plus petits.

Que doit-on obtenir à ce stade :

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

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

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

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

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

- Considérer a priori tous les écarts aux fonctionnements attendus ;
- Utiliser le retour d'expérience ;
- Utiliser la documentation disponible ;
- Ecouter les experts.

Remarque

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

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

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

2.5.4. Deuxième étape : effets et criticités

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

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

Pour imaginer précisément ces effets, il peut être utile de passer par des étapes intermédiaires: effets sur l'environnement immédiat du composant, effets sur les fonctions (analyse fonctionnelle interne) dans lesquelles le composant est impliqué, puis effets au niveau du sous-système et des fonctions de plus haut niveau, enfin effets finaux. Si plus de trois niveaux sont nécessaires, pour se représenter la propagation de l'événement initial jusqu'aux conséquences finales, il est recommandable de décomposer la démarche AMDE(C) en niveau système, sous-système, etc.

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

Le tableau AMDE(C)

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

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

Le tableau va comprendre au minimum les éléments présentés dans le tableau n°4.1.

Tableau n°4.1 : Exemple de Tableau AMDE(C)

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

2.5.5. Troisième étape : synthèse

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

C'est une étape qui sollicite fortement l'expérience et l'expertise du responsable de l'analyse.

La synthèse doit à la fois :

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

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

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

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

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

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

2.6. Exploitations de l'AMDE(C)

2.6.1. Évaluation des défaillances

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

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

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

- Catastrophe : plusieurs personnes tuées ou gravement blessées dans un gros accident ;
- Accident grave : une personne gravement blessée ou tuée ;
- Accident important : au moins une personne blessée, frappée d'une incapacité de travail ou d'une hospitalisation d'au moins 24 h ;
- Accident bénin : pas plus de quelques contusions, égratignures, etc., n'empêchant pas de reprendre le travail après soins et remises en ordre sur place.

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

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

Remarque

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

2.6.2. Actions correctives

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

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

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

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

2.6.3. Suivi des corrections

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

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

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

2.7. Réputation d'exhaustivité de L'AMDEC

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

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

Elle ne prend pas en compte la dimension temporelle ; elle ne rend pas compte de la dynamique d'un système. Elle permet de classer et mémoriser toute information utile produite, y compris dans ces domaines où la méthode ne va pas les chercher. La méthode n'offre donc plus aucune garantie d'exhaustivité dans ces domaines.

Mais elle est restée un moyen remarquable de structurer toute sorte d'information même produite en dehors du processus AMDE.

2.8. Domaines d'application

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

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

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

2.9. Application de la méthode « AMDEC » (Voir le tableau n°4.2)

Tableau n°4.2 : « AMDEC » Identification des risques géotechniques.

| Date : 25/05/2014 | | Version : 1.0 | | Analyste : Cherki et Hemahmi | | | | |
|---|--|-----------------------|--|---|---|---|----|--|
| Système a étudié : IDENTIFICATION DES RISQUES GEOTECHNIQUES | | | | | | | | |
| Désignation | fonction | Mode de défaillance | cause | Effets | P | G | C | Moyen de prévention |
| Cartographie des risques Géotechniques | Délimitation Des zones à risques géotechnique dans un milieu urbanisme | Glissement de terrain | -La nature des terrains constituant le site -Les diverses formes d'action de l'eau -La pente des terrains -Le couvert végétal ou son absence - Effondrement de cavités sous-minant le versant -Les escarpements de faille qui se forment soit à la suite de l'effondrement du sol rocheux, soit | Fissuration et effondrement de bâtiment | 3 | 4 | 12 | -Soutènement -durcissement -Renforcement -Terrassement -drainage -boisement et Végétation |

| | | | | | | | | |
|--|--|-----------------------------|---|---|---|---|---|--|
| | | | en raison de mouvements verticaux de la croûte terrestre -Fluage | | | | | |
| | | Eboulement | -La nature des terrains et les conditions hydrogéologiques et géologiques -Les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie -La croissance de la végétation ou au contraire sa disparition - L'affouillement ou le sapement du pied de la falaise -Écroulement de la falaise -Variations de températures -les séismes -action d'eaux | -Les chutes de pierres ou de blocs -Les éboulements en masse | 2 | 2 | 4 | -grillages, filets, béton projeté - Implanter des dispositifs de protection - Purger la masse instable |
| | | Coulée boueuse | -très fortes pluies (pluies torrentielle) ou fonte de neige. | rassemblement de matériaux (la boue) dans une zone. | 1 | 1 | 1 | -Drainage des sols -Végétalisation des zones exposées au risque - Correction torrentielle. |
| | | Affaissement / Effondrement | -Les infiltrations d'eau - Évolution de cavités souterraines ou des vides naturels par dissolution de roches | Déformation de la surface du sol | 2 | 3 | 6 | -Maîtrise de toutes les infiltrations d'eau - Empêcher la baisse du niveau des eaux souterraines - Stabilisation par comblement partiel ou total |

| | | | | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|--|--|---|---|--------------------------|---|
| | | | solubles, calcaires, gypses, - La consolidation progressive de sédiments subactuels plus ou moins organiques -Le dégel ou la sécheresse. | | | | des cavités souterraines | |
| | | Retrait gonflement | - Variations climatologiques - La présence de végétation - -Modifications de l'équilibre hydrique créés par imperméabilisation, drainage, concentration de rejet d'eau pluviale - Caractéristiques du sol -La topographie de surface | l'ouverture de fissures dans les bâtiments | 2 | 2 | 4 | - Identifier la présence éventuelle d'argiles gonflantes et en déterminer le potentiel de retrait et de gonflement en cas de variation des conditions hydrique - Drainage des sols -Traitement du sol |
| | | Variabilité Des caractéristiques sols | - Types des sols -hétérogénéité du sol | -Fissuration -Tassement différentiel | 2 | 2 | 4 | -Etude géotechnique plus approfondie |

Lorsque les modes des défaillances ont été identifiés, les méthodes pour la modélisation des scénarios de défaillances permettent de construire les enchainements de modes de défaillances peuvent conduire à la défaillance globale du système. Parmi les différentes méthodes de modélisation on trouve : méthode de l'arbre d'événement, méthode de l'arbre des causes, méthode de nœud de papillon etc.

Dans notre projet fin d'étude, on n'appliquera que la méthode de l'arbre d'événement qui est la plus étendue dans le domaine de génie civil.

3. Arbre d'événement

L'arbre d'événement est le plus simple parmi les autres arbres qui existent (Arbre des causes, Arbre de défaillance). Il matérialise une démarche très naturelle que chacun pratique de façon moins formalisée : « si tel événement arrive, que se passe-t-il ? », « ça dépend si... » etc. Contrairement aux arbres de défaillance (parfois aux arbres des causes) un arbre d'événement reste généralement assez simple et, si des logiciels peuvent aider à le présenter correctement et à faire les calculs, ils peuvent être traités à la main.

3.1. Principe

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

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

On ne peut produire d'arbre d'événement que pour un système bien connu et dont la réponse à ces agressions a été prévue, L'arbre d'événement n'est pas une méthode d'investigation pour deviner, tester, découvrir les réactions d'un système aux agressions.

C'est une méthode de représentation des chemins qui peuvent conduire d'une agression aux fonctionnements prévus en pareils cas (nominaux ou dégradés), ou à des fonctionnements non prévus (accidents). La logique de l'arbre est de se demander ce qui doit se passer et d'envisager que ça se produise ou que ça ne se produise pas.

3.2. Objectifs

L'objectif est de bien prendre en compte les divers éléments qui influent sur le cours des choses à partir d'un événement initiateur (une panne, une erreur, une agression en général, exemple figure n°4.3). Si on sait chiffrer la probabilité des divers événements ou conditions qui rentrent en ligne de compte, on pourra aussi évaluer les probabilités respectives des diverses conséquences trouvées.

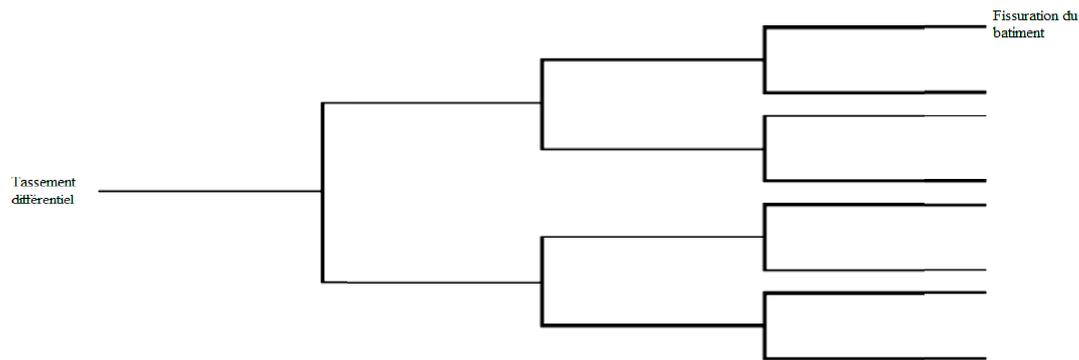


Figure n°4.3 : Exemple d'arbre d'évènements.

3.3. Pertinence

En présence d'un système où de nombreux événements initiateurs sont possibles mais pour lequel la préoccupation porte sur la survenue ou non, du fait de tous ces incidents d'un ou deux événements redoutés du niveau du système entier, l'arbre de défaillance s'impose. En présence d'un système où la préoccupation est que les deux ou trois événements redoutés n'aient pas de conséquences graves malgré la variété des scénarios dans lesquels ils peuvent intervenir, l'arbre d'événement s'impose.

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

3.4. Présentation des arbres des événements des risques géotechniques

(Voir les tableaux ci-dessus)

Tableau n°4.3 : arbre d'événement de risque géotechnique (effondrements)

| | Effondrements | Prévention et gestion de risque | conséquences |
|----------------------------|----------------------|--|---|
| Risque géotechnique | oui | oui | -ENS évité |
| | Non | non | -Déformation de la surface du sol -bâtiments allant de la dégradation à la ruine totale -Dégâts sur les voies publiques -Dégâts humain |
| | | | -ENS évité |

Tableau n°4.4 : arbre d'événement de risque géotechnique (éboulement)

| | Eboulement | Prévention et gestion de risque | Conséquence |
|----------------------------|-------------------|--|--|
| Risque géotechnique | oui | oui | ENS évité |
| | Non | non | <p>-les conséquences seront d'autant plus graves sur les constructions et habitant plus que les masses déplacées sont importantes</p> <p>-Les chutes de pierres ou de blocs</p> <p>-Les éboulements en masse</p> <p>-dégâts humain</p> |
| | | | ENS évité |

Tableau n°4.5 : arbre d'événement de risque géotechnique (coulée boueuse)

| | Coulée boueuse | Prévention et gestion de risque | Conséquence |
|----------------------------|-----------------------|--|---|
| Risque géotechnique | oui | oui | ENS évité |
| | non | non | <ul style="list-style-type: none"> -les conséquences seront d'autant plus graves sur les constructions et habitant plus que les masses déplacées sont importantes. -rassemblement de matériaux (la boue) dans une zone. -Des bâtiments entiers peuvent même être ensevelis -Dégâts sur des réseaux collectifs (eau, électricité...etc.) -dégâts humain |
| | | | ENS évité |

Tableau n°4.6 : arbre d'événement de risque géotechnique (gonflement - retrait)

| | Gonflement - retrait | Prévention et gestion de risque | Conséquence |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|
| Risque géotechnique | oui | oui | - ENS évité |
| | | non | -fissures dans la maçonnerie, des bâtiments -fissuration du sol -dégradation des bâtiments |
| | Non | | ENS évité |

Tableau n°4.7 : arbre d'événement risque géotechnique (glissement de terrain)

| | Glissement de terrain | Prévention et gestion de risque | conséquences |
|----------------------------|------------------------------|--|--|
| Risque géotechnique | oui | oui | ENS évité |
| | Non | non | -Selon la manière dont le glissement de terrain saisit le bâtiment, il peut se produire des fissures dans la maçonnerie, des parties de parois peuvent être enfoncées ou des bâtiments entiers peuvent même être ensevelis -Dégâts humain |
| | | | ENS évité |

4. Importance d'AMDEC et l'arbre d'événement pour l'élaboration d'une cartographie des risques géotechniques

Méthodologiquement, entreprendre la démarche d'une cartographie des risques naturels (géotechniques) permet de parcourir une bonne partie du processus de management des risques : identifier, évaluer, hiérarchiser, déterminer les objectifs de maîtrise des risques, évaluer les dispositifs de traitement des risques et suivre les risques.

L'élaboration d'une cartographie des risques géotechniques est particulièrement recommandée pour les professionnels du domaine de génie civil, de l'architecture et de l'urbanisme, elle nécessite plusieurs étapes. Dans ce cas, deux approches ont été utilisées pour délimiter le champ de l'étude du risque:

-L'AMDEC qui a pour objet de classer les modes de défaillances en termes de risque géotechnique afin de déterminer les modes qui nécessiterait une action corrective. La recherche des causes a ce niveau n'étant qu'un élément permettant de mieux caractériser les modes de défaillance pour en déterminer la probabilité d'apparition.

-L'arbre d'événement nous a permis de démontrer les conséquences de différents types des risques géotechniques.

Ces deux méthodes jouent aussi un rôle très important à la contribution pour la rédaction du rapport de présentation, qui est un document informatif, il explique l'analyse des risques géotechniques pris en compte, ainsi que l'étude de leurs impacts et leurs effets (compte tenu de l'état des connaissances) sur les personnes et sur les biens, existants et futurs. Ce rapport justifie les choix retenus en matière de prévention en indiquant les principes d'élaboration de la cartographie des risques naturels (géotechniques) et en commentant les recommandations nécessaires afin de permettre de concrétiser justement cette prévention sur le moyen et long terme

Par la suite, on va définir les étapes nécessaires pour construire une cartographie des risques géotechniques (Voir la figure n° 4.10).

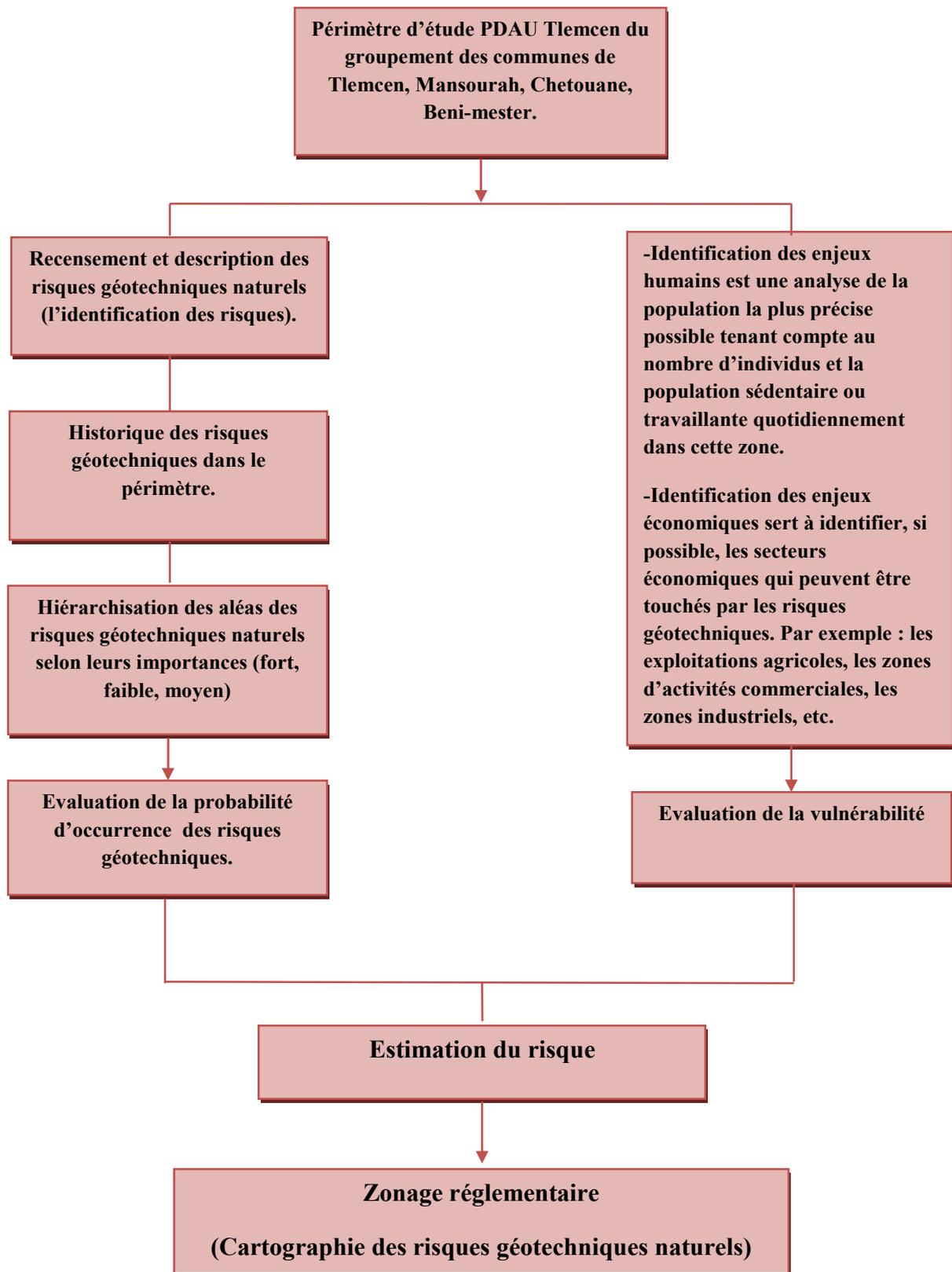


Figure n°4.4: Organigramme méthodologique d'élaboration d'une cartographie des risques géotechniques.

A partir de cet organigramme, pour réaliser un zonage réglementaire des risques géotechniques naturels il faut falloir bien déterminer le bassin de risque pour délimiter le périmètre d'études pour pouvoir faire une description et l'identification des risques géotechniques présents dans le périmètre retenus afin de les hiérarchiser et les évaluer à l'aide de l'historique de ces risques dans ce même périmètre, d'une part.

Et d'autre part, il faut bien faire une identification des enjeux humains et socio-économiques qui sert à identifier la population et les secteurs économiques qui peuvent être menacé par ces risques géotechniques naturels pour permettre l'évaluation de la vulnérabilité.

Après avoir réalisé ces démarches, nous pouvons estimer les risques étudiés par leurs probabilités et leurs gravités.

Jusque là, les deux approches qui ont été présentée (AMDEC et l'arbre d'événement) sont indispensables pour l'organigramme d'élaboration de la cartographie et leurs importances se traduisent par l'identification des risques géotechniques présents dans le périmètre retenus, de plus, elles démontrent les modes de défaillances et les causes générales de ces risques et leurs effets puis les évaluer afin de les hiérarchiser tout en calculant leur criticité pour pouvoir les estimer.

5. Conclusion

Au terme de ce chapitre on voit bien qu'une bonne gestion des risques géotechniques est indispensables et nécessite des outils et des méthodes qui puisse hiérarchiser les risques pour savoir quoi traiter en priorité, pour cela il est tout à fait possible d'utiliser la méthode l'AMDEC et l'arbre d'événement en y apportant les modifications nécessaires.

En effet la méthode « AMDEC » nous à permet de démontrer les différents modes de défaillances des risques géotechniques et leur causes et effets et la criticité tout en calculant la probabilité d'y apparaitre et la gravité de chaque événement.

De plus, l'arbre d'événement part d'un événement et décrit les différentes conséquences qu'il peut avoir en fonction des conditions dans lesquelles il s'est produit et des événements avec lesquels il se combine. Il repose sur un raisonnement de la cause vers les conséquences.

Ces deux outils jouent un rôle très important pour construire la cartographie des risques géotechniques qui a l'ambition d'accumulée de nombreuses informations de l'utilisateur (ingénieur, urbaniste, etc.) sous une forme synthétique, aisément compréhensive et exploitable pour résoudre le problème rencontré.

Conclusion générale

**"Nous n'écoutons d'instincts
que ceux qui sont les nôtres,
Et ne croyons le mal que
quand il est venu."**

**L'Hirondelle et les petits
Oiseaux ; Jean De La
Fontaine**

Conclusion générale

Tous projet de construction comporte des risques et nombreux sont les accidents ou catastrophes qui nous rappellent à l'ordre régulièrement.

L'activité de construire est l'une des plus anciennes de l'humanité. Aussi la perception des risques associés à cette activité y est importante. Depuis l'antiquité, de nombreuses personnes ont trouvées la mort, à la suite d'un tremblement de terre, un glissement de terrain ou d'une inondation, etc. Pourtant, peut-être par délit d'habitude ou parce qu'il reste une activité fondamentalement manuel, le génie civil d'aujourd'hui ne s'est pas véritablement doté d'une doctrine d'identification, d'évaluation et de réduction des risques.

La définition du risque en général sous-tend deux approches possibles pour réduire les risques : la réduction de la probabilité (ou la prévention des accidents), et la réduction de la gravité (ou protection contre les accidents).

C'est en ces termes simples, bien que parfois interprétés avec ambiguïté, que se pose la problématique de gestion des risques dans le domaine de génie civil. Mais cette simplicité de dénomination ne doit pas cacher la multiplicité et la difficulté des efforts à accomplir pour identifier et évaluer les risques géotechniques ainsi que pour les réduire ou les rendre acceptable.

Aujourd'hui, le management des risques doit être considéré comme un élément-clé dans la conduite des projets parce que le non prise en compte des risques liés aux aspects géotechniques d'un projet d'aménagement est souvent la cause de retards et de surcoûts financiers importants au moment de la réalisation ou après l'exploitation.

Néanmoins, la gestion des risques nécessite l'utilisation des outils et méthodes tels que l'AMDEC, MADS-MOSAR, APR, ADD, HAZOP, pour cela, dans notre cas nous choisissons l'AMDEC qui a pour objectif l'identification des modes de défaillance et les causes potentielles de chaque mode ainsi que l'estimation des effets engendrés et l'évaluation de la criticité de ces effets.

Cette méthode par son formalisme traite plusieurs risques géotechniques d'origines multiples qui conduisent à des événements non souhaités. Les étapes de la méthode nous montrent tous les modes des défaillances possibles ainsi que leurs causes, leurs effets et leurs criticités pour permettre de donner des solutions au traitement.

Dans ce but, son étude conduit à l'élaboration de la cartographie de l'aléa, traduite ensuite en zonage réglementaire. Cet outil réglementaire n'exclut pas l'obligation des élus des collectivités locales d'intégrer les contraintes spécifiques aux risques dans leurs documents d'urbanisme.

BIBLIOGRAPHIE

1. **AIPCR (2010)** « Vers le développement d'une approche de gestion des risques », Comité technique AIPCR 3.2 Gestion des risques liés aux routes, (France).
2. **ALLAL M. A., (2012)** « Management des risques du projet », Cours photocopié pour post graduation, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, (Algérie).
3. **BAZIZ M. K., (2011)**, « Effet de la variabilité des paramètres de calcul sur la stabilité des murs de soutènement », Mémoire de magistère en Génie Civil, Université de Tizi Ouzou, (Algérie).
4. **BENACHENHOU K. A., (2012)** « Législation et droit de la construction », Cours photocopié pour post graduation, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, (Algérie).
5. **BREYSSE, D., (2009)**, « Introduction à la problématique des risques en Génie Civil », Cour photocopié, Université Bordeaux I et d'UNIT, (France).
6. **CALVINO A., (2004)**, « Méthodologie de caractérisation de l'aléa (éboulement) sur itinéraire », Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nice, (France).
7. **DURVILLE J. L., (2004)**, « Quelques remarques sur l'emploi des probabilités dans le domaine des risques naturels Cas des mouvements de terrain », Centre d'Etudes Techniques de l'équipement de Lyon, (France).
8. **FAVRE J. L., (2004)**, « Modalisation de l'incertain, fiabilité, analyse des risques », Edition Ellipses.
9. **FELLAHI W. (2012)** « Caractérisation et résilience des risques géotechniques dans un projet routier » Mémoire de master en Génie civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).
10. **HAMMA W. (2011)** « Intervention sur le patrimoine urbain ; acteurs et outils Le cas de la ville historique de Tlemcen » Mémoire de magister en Architecture, Département de Architecture, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).
11. **Houti F. B., (2011)** « Elément de la cartographie », Cours photocopié chapitre-5-, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, (Algérie).
12. **LADGHEM C. F., (2009)**, « Prévention du risque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètres géotechniques », Mémoire de Magister en Génie Civil, Université de M'sila, (Algérie).
13. **Lakermi A. (2013)** « Management des risques géotechniques dans un projet routier par la méthode AMDEC et MADS-MOSAR ; cas de la bretelle principale « A » de l'échangeur de la RN02 » Mémoire de master en Génie civil, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen (Algérie).

14. MEZHOUD L., (2007), « La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine », Mémoire de magister en Sciences de la terre, Université de Constantine, (Algérie).

15. Nedjai F. (2012) « Les instruments d'urbanisme entre propriétaire foncier et application cas d'étude : la ville de Batna » Mémoire de magister en Architecture, Département d'architecture, Faculté de Science et de la Technologie, Université Mohamed khider Biskra (Algérie).

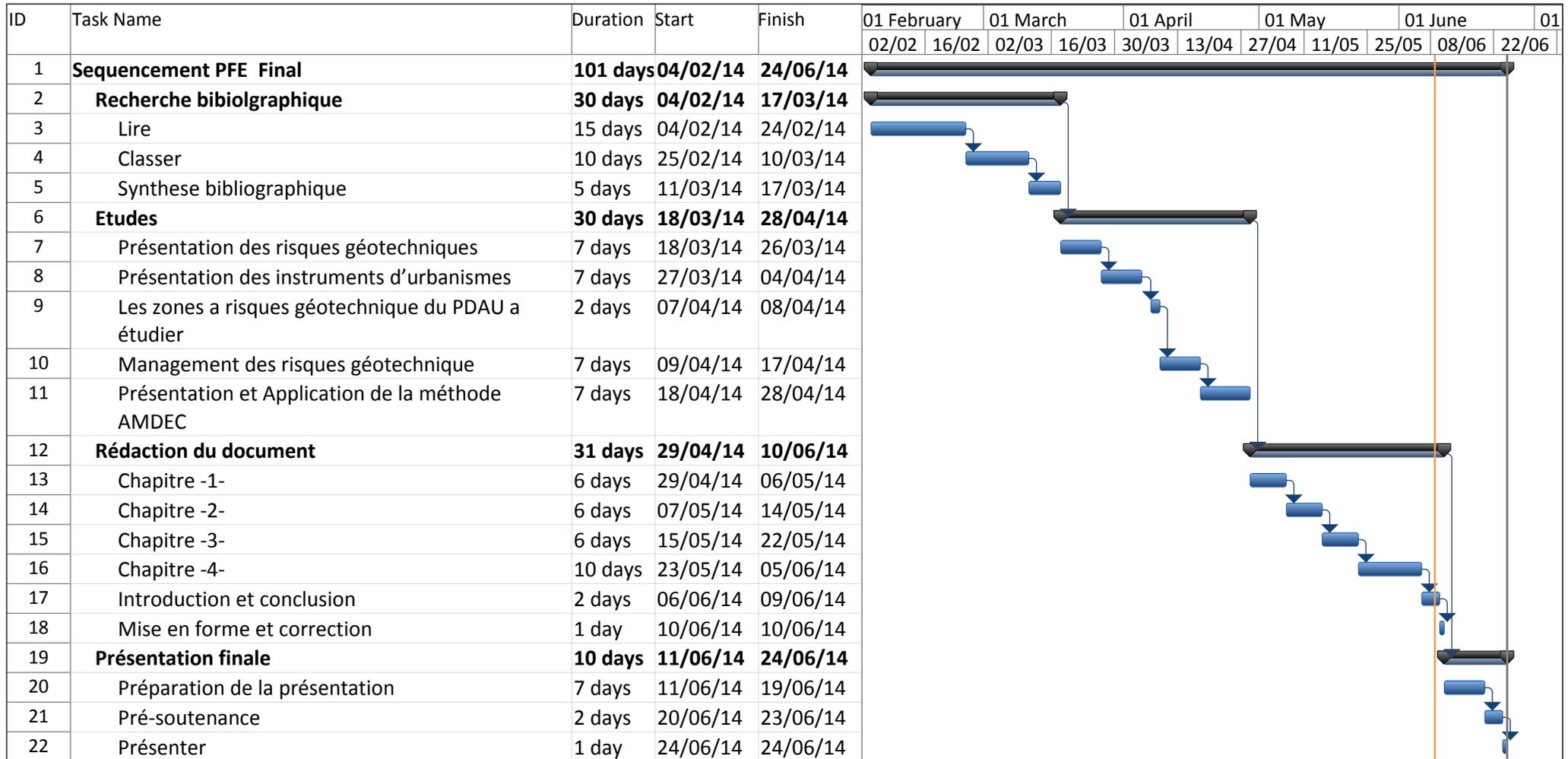
16. PIERRE MARTIN (2007) « Ces risques que l'in dit naturels », EYROLLES, (France).

17. 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).

18. YVES MORTUREUX (2012) « Arbres de défaillance, des causes et d'événement », Techniques de l'Ingénieur [se4050], (France).

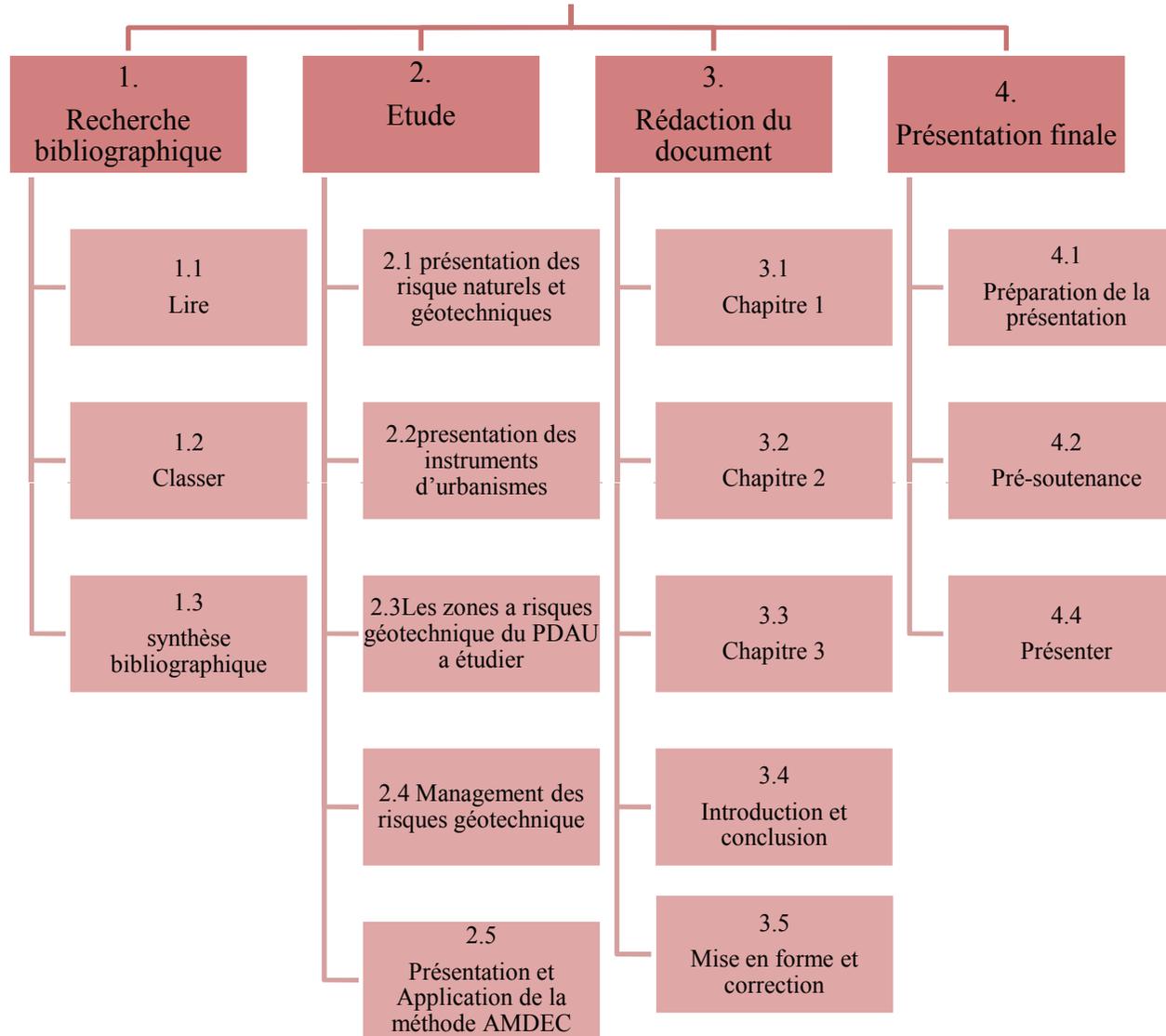
19. YVES MORTUREUX « AMDE (C) », Techniques de l'Ingénieur [se4040], (France).

ANNEXE



| | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|--|--------------------|--|-----------------------|--|
| Project: msproj11 Date: 09/06/14 | Task | | External Milestone | | Manual Summary Rollup | |
| | Split | | Inactive Task | | Manual Summary | |
| | Milestone | | Inactive Milestone | | Start-only | |
| | Summary | | Inactive Summary | | Finish-only | |
| | Project Summary | | Manual Task | | Deadline | |
| | External Tasks | | Duration-only | | Progress | |

Management des risques géotechniques par la méthode AMDEC dans l'aménagement urbain et la construction: PDAU au projet de bâtiment.



MATRICE DE CADRAGE / FAISABILITÉ :

| | |
|--|--|
| <p>Énoncé Titre de projet où les mots clés doivent apparaître</p> | <p>Projet fin d'étude « Master-2- C.E.M » Management des risques géotechniques par la méthode « AMDEC » dans l'aménagement urbain et la construction : PDAU au projet de bâtiment.</p> |
| <p>Idée/ besoin Facteurs déclencheurs du projet</p> | <p>Obtention d'un diplôme Master-2- option C.E.M</p> |
| <p>Objectifs Décrire en quelques mots la finalité du projet ; utiliser des mots précis et compréhensibles</p> | <p>-Avoir le diplôme. -Apprentissage et application de la méthode « AMDEC » dans le domaine construction.</p> |
| <p>COUTS</p> | <p>10.000,00 DA</p> |
| <p>Délais</p> | <p>04 mois</p> |
| <p>Caractéristiques essentielles</p> | <p>Le projet est constitué d'un :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compte-rendu Qui contient le travail dans sont entité (recherche bibliographie, web graphie, rédaction) -Présentation Un document power point avec le quelle les étudiant présente l'essentiel de leur travail. |
| <p>Faisabilité technique</p> | <p>Moyen disponible : notre propre financement</p> |
| <p>Parties prenantes (stakeholders)</p> | <p>*Les encadreurs : Mr. ALLA AMINE Mme. HAKIKI KAMILA *Les étudiants : Mr. CHERKI Saad Mr. HEMAHMI Radwan *L'administration: Chef department.</p> |

| | |
|--|---|
| Contexte politique et stratégie | Swot analysis. |
| Faisabilité économique | Moyen disponibles : notre propre financement |
| Études d'impact | -Apprentissage de la méthode « AMDEC ». -Apporter plus d'information au niveau de la bibliothèque pour les promos qui suivent. |
| Risques principaux | -Conflit entre les intervenants du projet. -L'indisponibilité des encadreurs. -Cas de maladies des étudiants ou des encadreurs. -Perte de documentation. |

MATRICE DES PRIORITES :

| | Temps | Couts | Performance (contenu) |
|--------------------|----------|----------|-----------------------|
| Contraintes | X | | X |
| À améliorer | | | |
| acceptation | | X | |