



**Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique**

*Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou
Faculté Du Génie De La Construction
Département De Génie Civil
Laboratoire Géo Matériaux Environnement Et Aménagement
(LGEA)*

Mémoire présenté par **Melle IBOUKHOULEF SOUAD**
En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master Recherche
Spécialité : Génie Civil
Option: Géotechnique Et Environnement

THEME

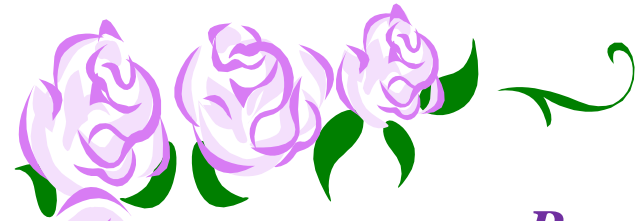
**Etude de la dégradation du sol et du bâti sous l'effet
du glissement de terrain d'Ain El Hammam**

Soutenu le 2 /octobre / 2014

Encadré par :

Mr MELBOUCI BACHIR

Promotion 2013/2014



Remerciements

Je remercie avant tout DIEU, le tout puissant, pour m'avoir guidé durant toutes mes années d'études et de m'avoir donné la volonté et le courage pour terminer ce travail.

A l'issue de cette recherche, je tiens à remercier tout particulièrement, mon promoteur, monsieur MELBOUCI Bachir, professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi ousou, qui a été disponible et attentif à mes nombreuses questions.

Par cette même occasion, que mon promoteur puisse trouver ici l'expression de ma grande reconnaissance et mes plus vifs remerciements pour son engagement, les efforts consentis et le temps qu'il m'a alloué pour achever mon mémoire.

J'exprime ma profonde gratitude aux membres du jury qui ont voulu siéger à cette soutenance Monsieur AIT TAHAR pour m'avoir fait le très grand honneur de présider ce jury. Monsieur HAMZA et Mademoiselle BOUBRIT d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse mes respectueux remerciements à tous mes enseignants qui m'ont encadré pendant toutes mes années d'études et éclairé mon chemin de jeune chercheur.

Je remercie les membres de ma famille qui ont mis à ma disposition tous les moyens matériels et financiers nécessaires.

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements à mon neveu Fouad qui m'a accompagné au site instable et qui a pris d'énormes risques en accédant à des endroits dangereux de ce site.

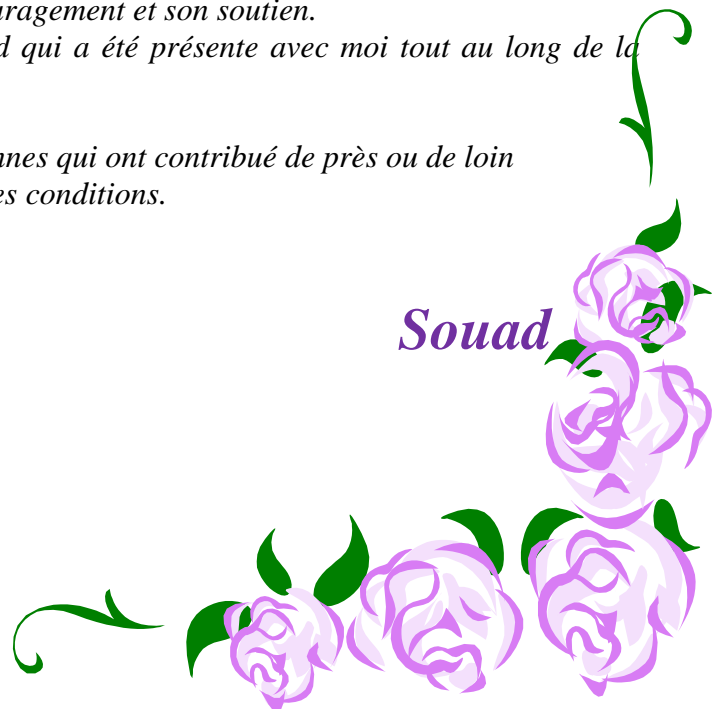
Je remercie tout particulièrement mon fiancé "Belly" pour son soutien et sa compréhension.

Je remercie ma chère Liilich pour son encouragement et son soutien.

Je remercie également ma copine Oumsaad qui a été présente avec moi tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je remercie vivement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse dans de bonnes conditions.

Souad



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A la mémoire de mon père
A ma très chère mère que j'aime et je respecte.
A mes chers frères et sœurs et à tout les membres de
ma famille surtout les petits que j'adore*

" Djafar, Oussama, Lina, Rana, Hssoussou, Haris et Zakaria"

*A mon cher fiancé "**Belly**" et toute sa famille*

*A tous mes Amis (es), surtout:
"Sissy, Souhila, Lilich et kahina"*

*A tous ceux qui j'ai oublié involontairement ainsi que
ceux qui liront ce présent document.*

Souad

Sommaire

Liste des figures	I
Liste des tableaux	VII
Introduction générale	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les mouvements de terrain.

I. Introduction	3
II. Les principaux types de mouvements de terrain	3
II.1 Les mouvements lents et continus	3
II.1.1 retrait-gonflement	4
II.1.2 Les glissements	5
II.1.3 Les affaissements.....	7
II.1.4 Les tassements	8
II.1.5 Le fluage et La solifluxion	9
II.1.5.1 Le fluage.....	9
II.1.5.2 La solifluxion.....	9
II.1.6 Le fauchage	10
II.2 Les mouvements rapides et discontinus	11
II.2.1 Les effondrements des cavités souterraines	12
II.2.2 L'éboulement, chutes de blocs et de pierres	14
II.2.3 Les coulées de débris, de boues et laves torrentielles	16
III. Le processus de glissement	18
III.1 Les types de glissement de terrain	18
III.1.1 Glissements plans ou translationnels	18
III.1.2 Glissements circulaires ou rotationnels	19
III.1.3 Glissements quelconques ou composites	19
III.2 La classification du glissement de terrain	19
III.2.1 Selon la vitesse	19
III.2.1.1 Glissement de terrain permanent	20
III.2.1.2 Glissement de terrain spontané	20
III.2.2 Selon la profondeur	20
III.2.2.1 Le glissement superficiel	20
III.2.2.2 Le glissement semi profond	21
III.2.2.3 Le glissement profond	21

IV. Comment mesure-t-on les glissements de terrain ?	23
IV .1 La cinématique	23
IV .2 La superficie et le volume.....	25
IV.3 L'intensité	26
IV.4 La gravité	28
IV.5 La dynamique du glissement de terrain	28
V. Les facteurs intervenant dans les processus d'instabilité des terrains	30
V.1 Action et influence de l'eau	30
V.2 Action de la pesanteur.....	31
V.3 La nature des terrains	31
V.4 Les actions mécaniques externes	31
V.5 Actions sismiques.....	32
V.6 Action de déboisement	32
V .7 Actions anthropique	32
VI. Conclusion	33

Chapitre II: généralités sur les dégradations et estimation des dommages

I. introduction	34
II. Définition de la fissuration	34
III. Forme des fissures	35
• microfissures	35
• lézardes	36
IV. Le mécanisme qui conduit à l'apparition des fissures	36
• avant fissuration	36
• après fissuration	37
V. causes et interprétation des fissures	37
• la nature du sol	37
• Infiltration d'eau et épisode de gel	38
• Séisme	38
• causes dues à la mauvaise qualité de construction	38
❖ causes des fissures d'après Richard Lapointe 1997	38
• Fissuration du béton plastique	38
• Fissuration du béton durci	39
VI. Estimation des dommages	40
VI.1. Définition des niveaux d'endommagement	40
VI.2. Relation entre le niveau d'endommagement et la variation de longueur du bâtiment ...	42
• Effet de la déformation horizontale du sol sur le bâti	42
• Effet de la courbure du terrain sur le bâti	43

• Effet de la pente du terrain sur le bâti	43
VII. Conclusion	47

Chapitre III : Cas de dégradation du sol causée par le glissement

I. introduction.....	48
II. les différentes dégradations causées par les glissements de terrain	48
II.1 les fissures dans le sol	48
II.2 les affaissements et les effondrements	52
• les affaissements	52
• les effondrements	54
• la karstification	54
• La suffosion	55
II.3 le phénomène de fontis	55
II.4 les éboulements	58
II.5 le retrait gonflement des argiles	58
III. Conclusion	58

Chapitre IV : l'impact du glissement de terrain sur le cadre bâti

I. introduction	59
II. Vulnérabilité des bâtiments au glissement De Terrain	59
II.1 Approche de la vulnérabilité	59
II.1.1 Définition.....	59
II.2. Les différents types de vulnérabilité	60
II.2.1. La vulnérabilité directe.....	60
II.2.2. La vulnérabilité indirecte	60
II.3. Approche analytique ou synthétique de la vulnérabilité	60
II.3.1. La vulnérabilité d'un bien structurel.....	61
II.3.2. La vulnérabilité d'une personne (corporelle)	61
II.3.3. La vulnérabilité fonctionnelle	62
III. Critères de vulnérabilité	64
III.1. Première étape : Typologie du bâtiment	64
III.2. Deuxième étape : Implantation et Structure	64
III.2.1. Implantation du bâtiment	64
III.2.2. Configuration du bâtiment en plan et élévation	65
III.2.2.1. Configuration du bâtiment en plan	65
III.2.2.2. Configuration du bâtiment en élévation	66
III.2.3. Les effets des bâtiments avoisinants	67
III.2.4. Eléments non structuraux.....	67
III.2.5. Définitions des critères de structure.....	67
III.2.5.1. la structure porteuse	67

III.2.5.2. Présence de niveaux " souples"	67
III.2.6. Sol très mou ou hétérogène	68
III.2.7. Les méfaits de l'eau	68
IV. Les méthodes d'évaluation du risque glissement de terrain	69
IV.1. Les Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité	72
IV.1.1. La Méthode fonctionnelle	72
IV.1.2. La méthode d'endommagement.....	72
IV.2. Echelle des dommages.....	75
V. Exemples de dégradation du cadre bâti par le glissement de terrain	77
VI. Conclusion	80

Chapitre V : Application au glissement de terrain d'Ain el hammam

I. introduction.....	81
II. Un aperçu sur le glissement de terrain d'Ain el hammam.....	81
III. les dégradations du sol et du bâti à Ain el hammam	82
III.1. nature des dégradations du sol à Ain el hammam.....	82
III.1.1. Les différentes instabilités qu'on a pu rencontrer dans la zone du glissement.....	83
III.2 nature des dommages du bâti à Ain el hammam.....	93
• la fissuration des murs.....	93
• l'ouverture des joints de rupture	97
• basculements des blocs	98
• fissuration dans les ouvertures	100
• destruction des poutres	102
IV. Comportement du bâti d'Ain el hammam soumis au glissement de terrain	102
IV.1. Le facteur pente	102
IV.1.1 comportement du bâti vis-à-vis de la pente du terrain	103
IV.2. comportement du bâti	104
V. Conclusion	107

Liste Des Figures

Chapitre I

Figure. I. 1 : Schéma Explicatif des phénomènes : Retrait –Gonflement Source: www. Prim.net	4
Figure. I. 2 : Processus de retrait-gonflement des sols argileux	5
Figure. I. 3 : glissement de terrain	6
Figure. I. 4 : glissement de terrain (2014 à Ain el hammam)	7
Figure. I. 5 : Affaissement lié à une exploitation ancienne avec un recouvrement d'une centaine de mètre	8
Figure. I. 6 : Schéma Explicatif des phénomènes : Tassement à MEXICO	9
Figure. I. 7 : Le phénomène de fluage	10
Figure. I. 8 : Phénomène de la Solifluxion	11
Figure. I. 9 : Phénomène de fauchage	12
Figure. I. 10 : Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines. Source: www. Prim.net	13
Figure. I. 11 : Processus de formation d'un effondrement	14
Figure. I. 12 : Eroulements et chutes de blocs	15
Figure. I. 13 : Destruction d'une maison à Lumbin (Isère) en janvier 2002 par un bloc provenant de la falaise surplombant la commune (versant Est du massif de la Chartreuse), <i>S. Gominet (IRMa)</i>	16
Figure. I. 14 : Schéma qui illustre une coulée de boue Source : www.atlas.nrcan.gc.ca/auth/francais/nrcan	17
Figure. I. 15 : Les coulées boueuses (www.encyclopédie.com), (Illilt en mai 2012 Tizi Ouzou)	17
Figure. I. 16 : Glissements rotationnel(A) et translationnel (B) (Modifié d'après Varnes, 1978; USGS, 2004)	19

Figure. I. 17 : Schémas Solifluxion, Glissement superficiel, Source : www.sieng.ch	20
Figure. I. 18 : Glissement superficiel sur la RD 28 sur la commune de Merlas (Isère) à la suite des fortes précipitations du 6 juin 2002, S. Gominet (IRMa)	21
Figure. I. 19 : Glissement profond de Séchilienne	22
Figure. I. 20 : Illustrant la dynamique d'un glissement de terrain	29

Chapitre II

Figure. II. 1 : Microfissures	36
Figure. II. 2 : Lézardes	36
Figure. II. 3 : forme de fissuration de structure fragile fondée sur un sol argileux	37
Figure. II. 4 : Illustration des effets des déformations horizontales du sol sur le bâti	42
Figure. II. 5 : Illustration des effets de l'incurvation du sol sur le bâti	43
Figure. II. 6 : Effets de la mise en pente du terrain sur le bâti (CSTB, 2004)	44

Chapitre III

Figure. III. 1 : Niche d'arrachement et arbres basculés a cause d'un glissement de terrain à Tizirt. source :Djrbal Lynda, janvier 2014	48
Figure. III. 2 : dégradation remarquable suite à l'activation d'un glissement de terrain à Azazga. Source: Djrbal Lynda, mars 2012	49
Figure. III. 3 : bombement sur le trottoir près du centre culturel à Azazga Source: Djrbal Lynda, mars 2012	50
Figure. III. 4 : Bourrelets frontaux d'un glissement rotationnel étendu (Estavannens, Préalpes fribourgeoises).	51
Figure. III. 5 : Zone de rétention d'eau au Villard des Dourbes en 2003. Source BRGM	52
Figure. III. 6 : Affaissement au niveau de la route à Azazga Source: Djrbal Lynda, mars 2012	53
Figure. III. 7 : dégradation et Affaissement de la route à Tizirt. Source: Djrbal Lynda janvier 2014	54

Figure. III. 8 : fontis dans un champ. Source : Philippe lamy	56
Figure. III. 9 : Mécanisme d'un fontis	57

Chapitre IV

Figure. IV. 1 : Les Composants de la vulnérabilité. Source : Frédéric LEONE, M. Jean-Pierre Asté, M. Eric Leroi, 1996	63
Figure. IV. 2 : localisation et l'implantation du bâtiment par rapport à la pente. Source: Garcia Jean-François .2007	64
Figure. IV.3 : Disposition des bâtiments par apport au sens de la pente. Source : Habiter en montagne aujourd'hui. Http : //www.habiter-ici.com/IMG/PDF/fiche_pratique_02_pente.PDF	65
Figure. IV. 4 : La torsion dans l'angle de décrochage. Source: Garcia Jean-François ; 2007 ..	66
Figure. IV. 5 : Les problèmes d'irrégularité des structures. Source: Garcia Jean-François ; 2007.....	66
Figure. IV. 6 : Rupture des poteaux d'un niveau « souple ». Source : GARCIA JEAN-FRANÇOIS ; 2007	68
Figure. IV. 7 : Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités. Source : Frédéric LEONE & Freddy VINET	71
Figure. IV. 8 : La destruction des éléments porteurs (poteaux ; poutres).Source : GARCIA JEAN-FRANÇOIS;2007	77
Figure. IV. 9 : Maison endommagée en pied de glissement de la Valantelle, à Marseille 2001. Source: www.brgm.fr	78
Figure. IV. 10 : Un basculement vers le Nord accompagné d'un étirement vers le coté Est.Cité 185logts; Mila. Source: Faudhil Labiod – Géologue à Mila	97
Figure. IV. 11 : Les fissurations aux niveaux des ouvertures (Le glissement de l'impasse Avalon).Source: Bureau des mines et de l'énergie direction de la géologie et des mines service des mines ; 2008	80

Chapitre V

Figure. V. 1 : Démolition des structures. En mai 2009, source: thèse de kechidi zahia	82
Figure. V. 2 : la pente accentuée du terrain d'Ain el hammam	83
Figure. V. 3 : affaissement du terrain à l'entrée du marché	84
Figure. V. 4 : affaissement important du terrain en dessous du marché	85
Figure. V. 5 : affaissement du terrain qui est à coté de la mosquée d'Ain el hammam	85
Figure. V. 6 : escarpement au niveau du mur de la menuiserie rue colonel amirouche	86
Figure. V. 7 : bombement remarquable au niveau du terrain du marché	86
Figure. V. 8 : bombement de terrain du marché	87
Figure. V. 9 : fissure dans le sol	87
Figure. V. 10 : apparition des rochers à cause du glissement de terrain à Ain el Hammam, terrain qui es en dessous de la ville.	88
Figure. V. 11 : chute de rocher. Terrain à coté du village "lazib ait sidi said "	88
Figure. V. 12 : niche d'arrachement et arbres basculés. Terrain affecté par le glissement	89
Figure. V. 13 : dégradation et affaissement de la route	90
Figure. V. 14 : dégradation de la chaussé, fissures et bombements, route qui mène au village "lazib ait sidi said", mars 2014	91
Figure. V. 15 : Affaissements des gabions bordant la route qui mène vers le village, Lazib ait Sidi Saïd.....	92
Figure. V. 16 : jet anarchique des remblais.Terrain qui se situe en dessous du marché	93
Figure. V. 17 : fissuration du mur - " lézarde "Rue colonel amirouch, mars 2014	94
Figure. V. 18 : Des microfissures verticales au niveau du mur du bâtiment de la citée du marché, mars 2014	95
Figure. V. 19 : fissure oblique au niveau du mur du bâtiment de la citée du marché, 2014.....	95

Figure. V. 20: rupture des longrines de la cage d'escalier de la citée 80 logts à Ain el hammam.....	96
Figure. V. 21 : Des fissures obliques apparentes au niveau du mur de la zone du marché, mars 2014	96
Figure. V. 22 : écartement du joint de jonction entre les deux bâtiments de la citée du marché, mars 2014	97
Figure. V. 23 : basculement des blocs" rue colonel amirouch 2014.....	98
Figure. V. 24 : rupture de joint de dilatation et basculement de bloc, rue colonel amirouche, mars 2014	99
Figure. V. 25 : Des fissures apparentes au niveau des fenêtres " bâtiment de la citée du marché rue colonel amirouche d'Ain el hammam 2014"	100
Figure. V. 26 : des fissures au niveau des ouvertures, bâtiment de la citée du marché rue colonel amirouche. mars 2014	101
Figure. V. 27 : Déformation des poutres et apparition des armatures, la façade de derrière de la construction du marché 2014	102
Figure. V. 28 : Mur de soutènement de la zone du marché. Source djerbal lynda	103
Figure. V. 29 : basculement de l'immeuble APC/CNEP (n° 14 et 15). avril 2009, source: Melle djerbal lynda	104
Figure. V. 30 : Caractéristiques d'une cuvette d'affaissement idéalisée induite par une excavation souterraine	105

Liste Des Tableaux

Chapitre I

Tableau. I. 1 : La classification de glissement de terrain. Source: Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers;2009	23
Tableau. I. 2 : Echelle de vélocité et importance des destructions probables (Cruden and Varnes 1996. Landslide types and processes)	24
Tableau. I. 3 : Classification des glissements selon leur vitesse de déplacement	25
Tableau. I. 4 : Exemple de classement de glissements par niveau d'importance en terme de superficie et de volume mis à contribution.	26
Tableau. I. 5 : Intensité des glissements de terrain en fonction des investissements en structures de protection	27
Tableau. I. 6 : la gravité d'un glissement de terrain a partir des dégâts qu'il peut engendrer ...	28

Chapitre II

Tableau. II. 1 : niveaux d'endommagement en fonction du changement de longueur du bâtiment.....	42
Tableau. II. 2: évaluation de l'endommagement moyen engendré par l'aléa mouvement de terrain en fonction des types de constructions exposée et des caractéristiques des mouvements.....	45
Tableau. II. 3 : échelle conventionnelle des degrés d'endommagement (Inspirée de l'échelle MSK, 1964)	46

Chapitre IV

Tableau. IV. 1 : Echelle de gravité des phénomènes (au plan humain), source : marcel toulemont 1990	62
Tableau. IV. 2 : Echantillon de la typologie des modes d'endommagement des principaux éléments exposés aux mouvements de terrain. Exemple du bâti. Source : Frédéric LEONE, M. Jean-Pierre Asté, M. Eric Leroi, 1996.	73
Tableau. IV. 3 : Echantillon de matrice d'endommagement structurel. Source : Frédéric LEONE, M. Jean-Pierre Asté, M. Eric Leroi, 1996.	74
Tableau. IV. 4 : Echelle des dommages des bâtiments par HAZUS	76

Introduction générale

« Aujourd'hui le monde arabe se caractérise par un extraordinaire essor des villes et par des changements dus à l'urbanisation. Sur une population de 200 millions d'habitants environ, la moitié est constituée de citadins. L'explosion urbaine qui caractérise plusieurs pays arabes se traduit non seulement par une croissance spectaculaire des métropoles et des grands centres régionaux, mais aussi par l'évolution rapide des petites et moyennes villes depuis une vingtaine d'année. Si ces transformations montrent une progression soutenue de la population urbaine du monde arabe, elles donnent lieu à un processus d'urbanisation peu uniforme ». www.UNESCO09/most/kharoufi.htm.

L'Algérie est l'un de ces pays qui connaît des transformations profondes dans le domaine urbain.

À l'instar des villes algériennes, Ain el hammam a connu les mêmes formes de croissance et les mêmes problèmes induits de ce processus d'urbanisation accélérée.

L'urbanisation accélérée accroît sensiblement les risques des glissements de terrains qui constituent sans doute un des problèmes majeurs qui menace la sécurité et le bien être des personnes, ainsi que pour la propriété et les biens.

Le terme « mouvement de terrain » regroupe plusieurs types de phénomènes très différents les uns par rapport aux autres de par leur nature, leur comportement, aussi leurs conséquences pour l'homme. Qu'il s'agisse de glissement de terrain, d'éboulements, d'affaissements ou de coulées boueuses, on est toujours en présence du déplacement gravitaire d'un volume de roche ou de sol déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (forte pluie, cycle gel/dégel, séisme, pente raide,...) ou anthropique (terrassement, déboisement, chargement important...).

Les glissements de terrains évoluent irrégulièrement dans le temps, passant de phases d'évolution lentes à des phases d'accélération parfois brutale, à l'origine de différents désordres au niveau du sol et des constructions (affaissement et bombement des terrains, dégradation des chaussées, fissuration des constructions...etc.)

Les dégâts provoqués par les glissements de terrain sont fortement sous-estimés, car leurs dommages sont inclus dans ceux des phénomènes déclencheurs comme les séismes ou les inondations.

En Algérie le rapport du CNES et du MATE 2003 confirme et mentionne que les mouvements de terrains menacent et affectent plusieurs villes Algériennes.

le mouvement qui a attiré le maximum d'attention, depuis sa réactivation en novembre 2008 est celui qui affecte la ville d'Ain el hammam (une ville montagneuse située à environ 50 km au sud est du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou) en raison de sa localisation en zone fortement urbanisée, en effet le glissement de terrain a pris une grande ampleur dans

l'espace urbain, portant atteinte à l'économie, à la sécurité des habitants et de leurs biens immobiliers (destruction de plusieurs constructions et le relogement de nombreuses familles).

Dans le but de cerner la problématique de notre étude, nous avons procédé comme suit : le mémoire est réparti en cinq chapitres, chacun commence par une introduction et se termine par une conclusion et enfin notre travail se termine par une conclusion générale.

Le chapitre I est consacré à une étude bibliographique sur les différents types de mouvements de terrain et le processus d'un glissement de terrain.

Le chapitre II porte sur les généralités sur les dégradations (fissuration du cadre bâti et mécanisme de la fissuration) et sur l'estimation des dommages.

Le chapitre III porte les dégradations du sol causées par le glissement de terrain avec photos et explication.

Le chapitre IV porte sur l'impact du glissement de terrain sur le cadre bâti, à cet effet nous allons étudier les critères de vulnérabilité du bâtiment et prendre connaissance des méthodes d'évaluation de ce phénomène.

Le chapitre V est une application au glissement de terrain d'Ain el hammam (nature de dégradation du sol et du bâti à Ain el hammam).

Et enfin ce travail se termine par une conclusion générale.

I. Introduction

De nombreuses régions du monde sont confrontées à des phénomènes naturels susceptibles de provoquer des catastrophes. Ces phénomènes sont d'origines très variées: **géophysique** avec le séisme et les éruptions volcaniques, **hydrométéorologique** avec les cyclones et tempêtes, les inondations et les avalanches ou bien encore **géomorphologique** avec les mouvements de terrain. Leurs fréquences et leurs intensités varient d'une région à une autre.

Les mouvements de terrain sont de plus en plus répandus et leurs conséquences ne cessent d'être plus lourdes, entraînant des coûts et des désordres plus au moins importants. L'étude et l'évaluation exactes de cet aléa est très difficile en particulier quand des masses et des volumes très importants sont mis en mouvement.

Ils provoquent mondialement la mort de 800 à 1000 personnes/an et causent des préjudices économiques et des dommages considérables.

De nombreux paramètres, naturels ou anthropiques, conditionnent l'apparition et le développement des mouvements de terrain (géologie, hydrogéologie, urbanisation...etc.).

En 1979, la commission sur les mouvements de terrain de l'association internationale de géologie de l'ingénieur, estimait que 14% des pertes de vie humaine lors des catastrophes naturelles pouvaient être attribuées aux mouvements de terrain.

II. Les principaux types de mouvements de terrain

Le mouvement de terrain a pour caractéristique d'être difficilement prévisible et constitue un danger pour la vie humaine en raison de son intensité, de la soudaineté et du caractère dynamique de son déclenchement.

Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles peuvent être distingués :

II.1. Les mouvements lents et continus

Ils entraînent une déformation progressive des terrains qui ne sont pas toujours perceptibles par l'homme. Il s'agit des affaissements, des tassements, des glissements, de la solifluxion, du retrait-gonflement et du fauchage.

II.1.1 Retrait et gonflement

Le phénomène de retrait-gonflement se manifeste dans les sols argileux et il est lié aux variations en eau du terrain. Lors des périodes de sécheresse, le manque d'eau entraîne un tassement irrégulier du sol en surface : on parle de retrait.

À l'inverse, un nouvel apport d'eau dans ces terrains produit un phénomène de gonflement.

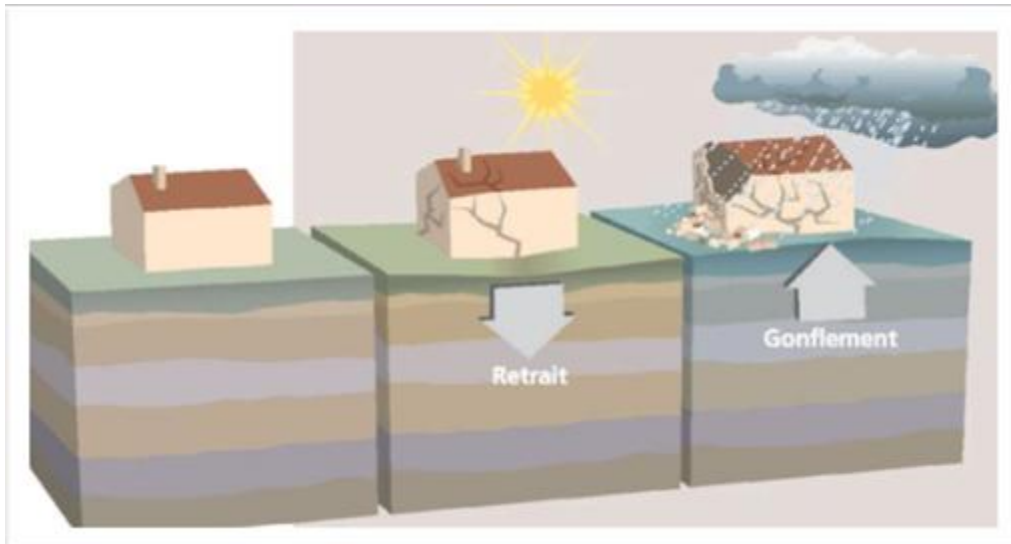


Figure I.1 : Schéma Explicatif des phénomènes : Retrait –Gonflement
Source: [www. Prim.net](http://www.Prim.net)

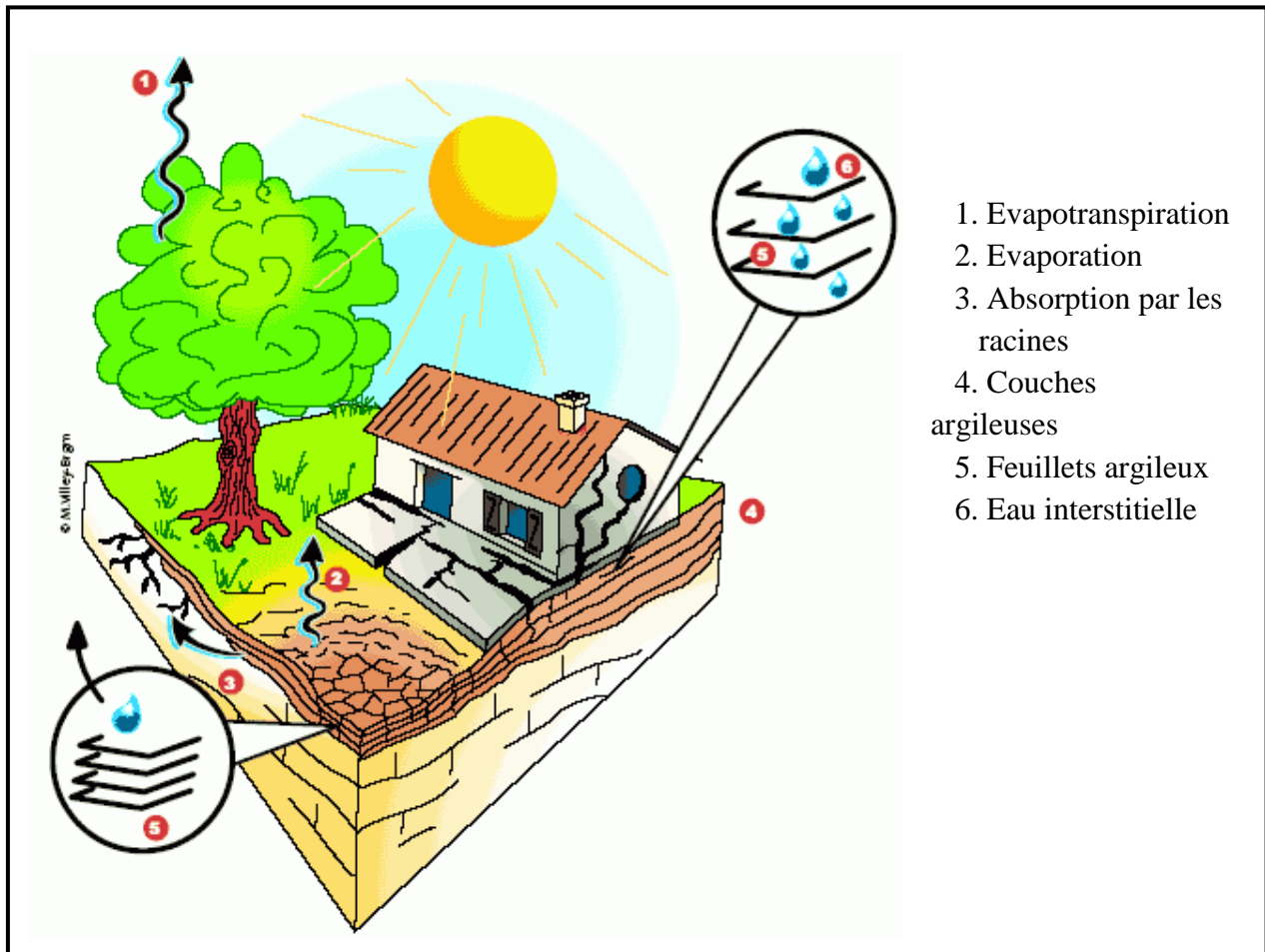


Figure I.2 : Processus de retrait-gonflement des sols argileux

II.1.2 Les glissements

Un glissement de terrain correspond à un déplacement d'une masse de terrain meuble ou rocheux le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement.

Cette surface est généralement courbe (glissement circulaire), mais elle peut aussi se développer à la faveur d'une discontinuité préexistante telle qu'un joint de stratification (glissement plan)

Les profondeurs des surfaces de glissement sont très variables de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, voire la centaine de mètres pour certains glissements de versant.

C'est un phénomène généralement lent, mais (en particulier sur une surface plane liée à une discontinuité) il peut s'accélérer brutalement.

Des indices caractéristiques peuvent être observés dans les glissements de terrains actifs: niches d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zone de rétention d'eau... (Voir figure I.3)

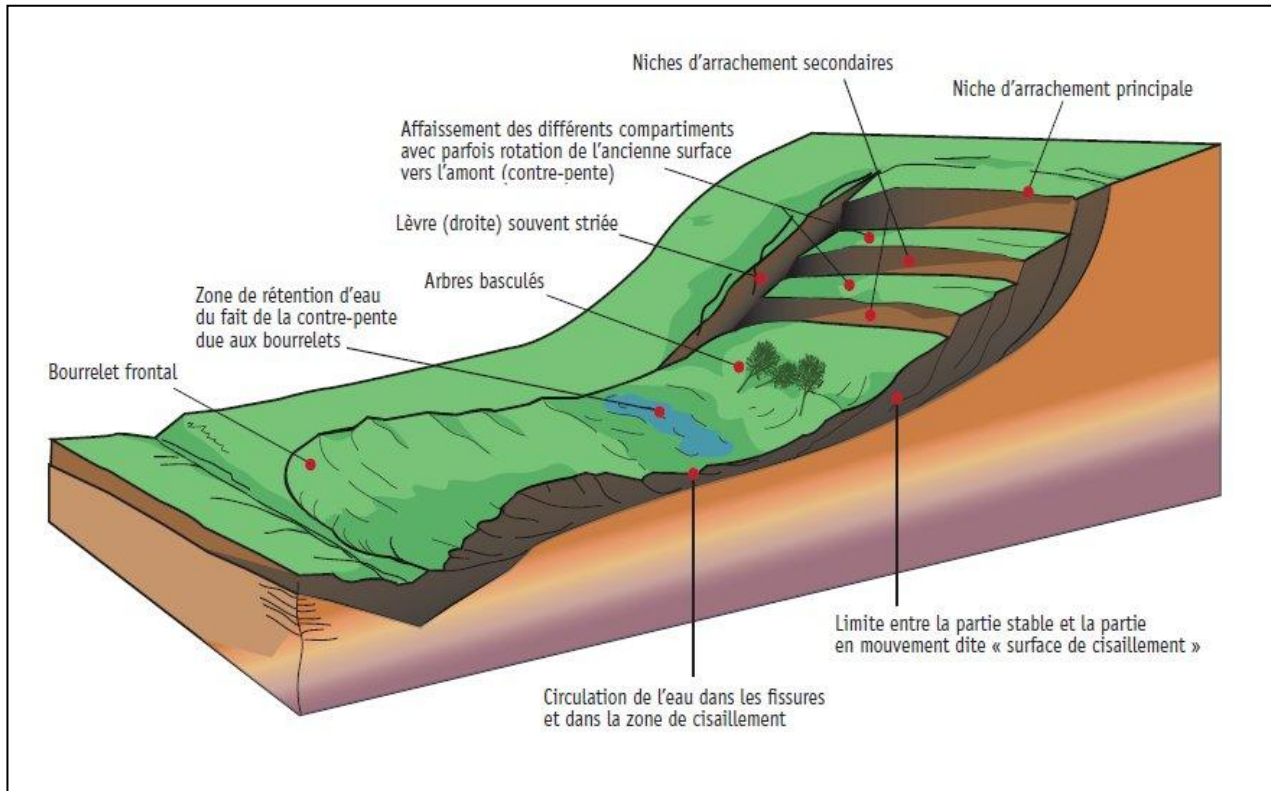


Figure I.3: glissement de terrain



Figure I.4: glissement de terrain (2014 à Ain el hammam)

II.1.3 Les affaissements

L'affaissement c'est une dépression topographique en forme de cuvette à grand rayon de courbure dû au fléchissement lent et progressif du terrain de couverture avec ou sans fractures ouvertes. Dans certains cas, il peut être le signe annonciateur d'effondrement des bâtiments.

Cet affaissement crée un tassement différentiel sur les fondations qui se traduit par des fissures plus ou moins importantes et ouvertes, parfois traversantes, allant de la dégradation du ravalement à la ruine des murs porteurs, en passant par le blocage des portes et fenêtres.

(Plan de prévention du risque mouvements de terrain Chaville ; direction départementale de l'Équipement Hauts-de-Seine ; Atelier Urbanisme et Habitat ; 2005 ; 13p)

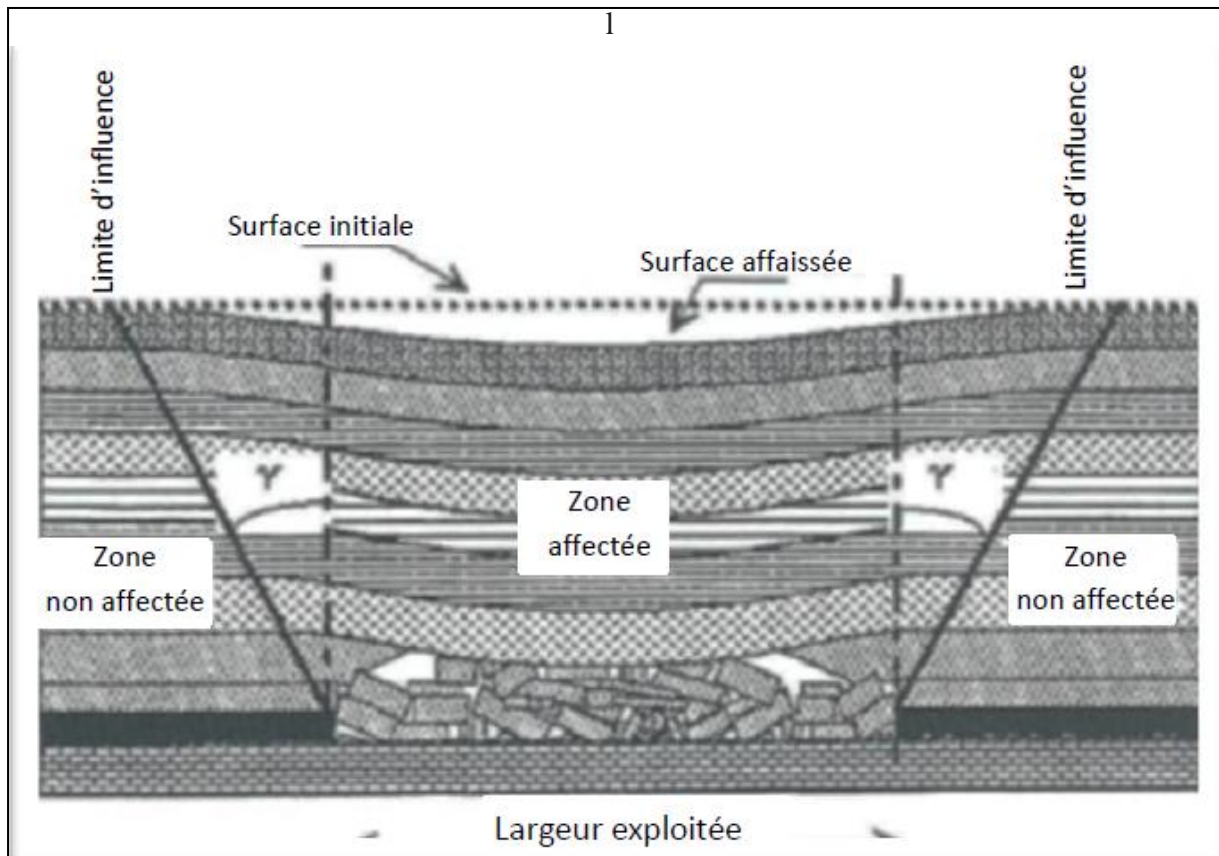


Figure I.5 : Affaissement lié à une exploitation ancienne avec un recouvrement d'une centaine de mètre.

II.1.4 Les tassements

Le tassement c'est une diminution de hauteur de certains sols (vases, tourbes, argiles...etc.), sous l'effet des charges appliquées et de l'assèchement. Ce phénomène peut être de grande extension et affecte des agglomérations entières (Mexico, construite sur des alluvions, s'est tassée de sept mètres depuis le début du siècle par exploitation excessive de la nappe).

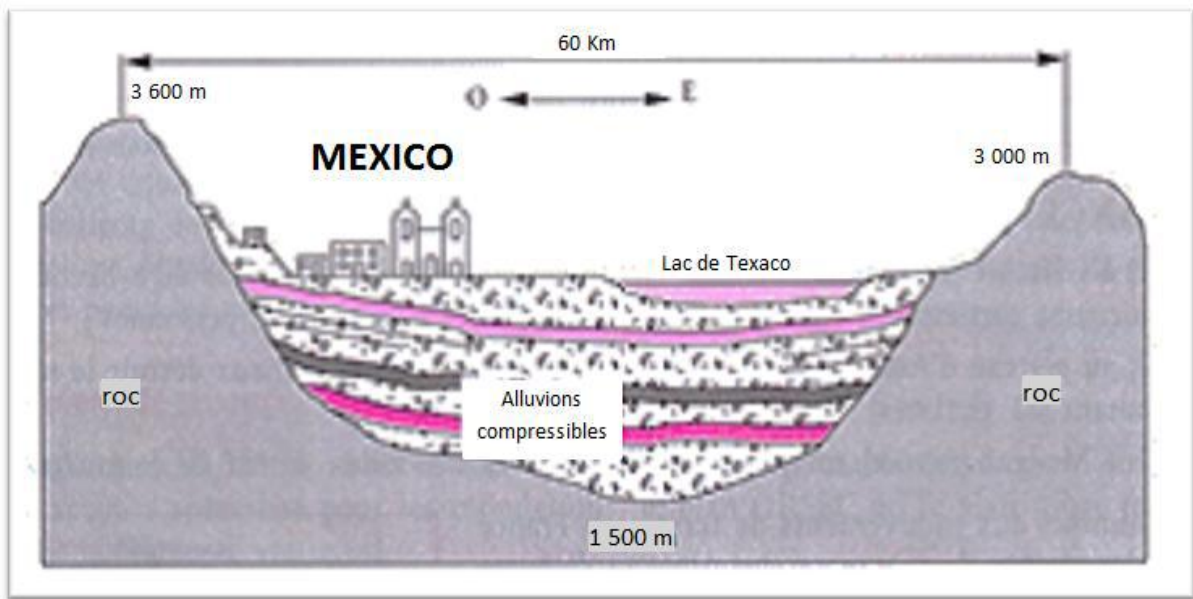


Figure I.6: Schéma Explicatif des phénomènes: Tassement à MEXICO

II.1.5 Le fluage et La solifluxion

II.1.5.1 Le fluage

Le fluage est un mouvement de terrain lent et continu, à vitesse faible sans surface de rupture nette (sauf au stade ultime, à la rupture du sol) et sans variation apparente de sollicitation mécanique ou hydraulique. Le fluage affecte en général certaines pentes naturelles argileuses.

La figure ci-après montre le mécanisme du phénomène de fluage.

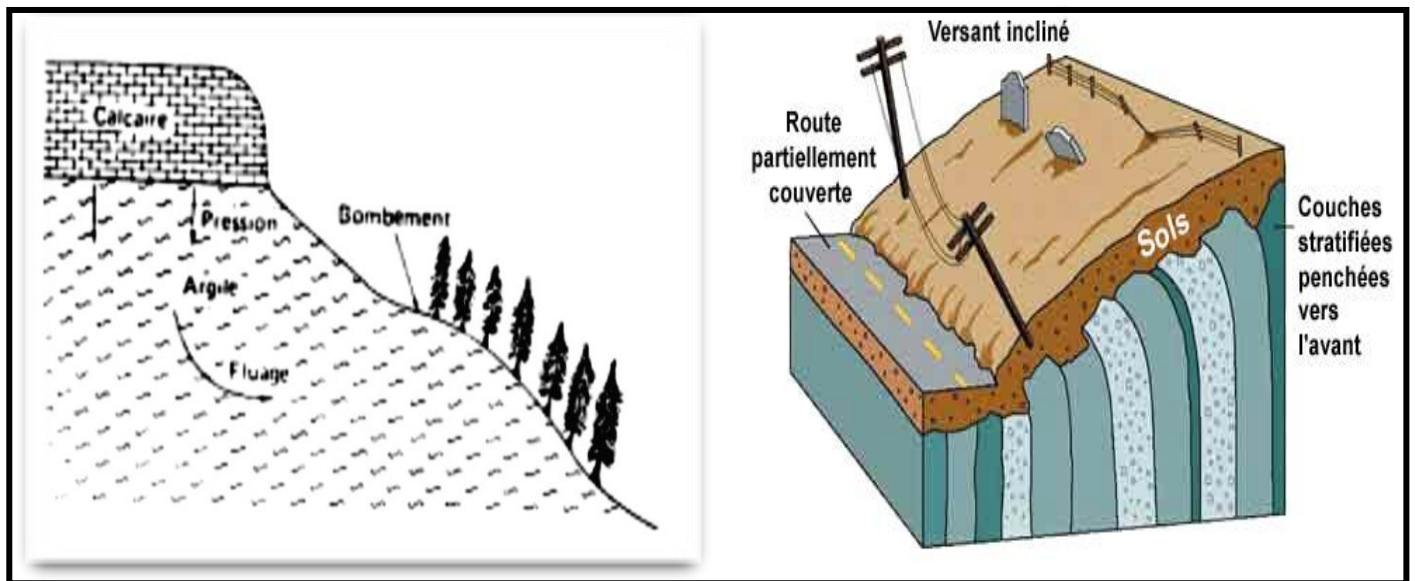


Figure I.7 : Le phénomène de fluage

II.1.5.2 La solifluxion

La solifluxion est un phénomène d'écoulement des sols en surface sur des pentes très faibles. Elle correspond à un mouvement de masse superficiel qui est déclenché.

Lorsque la charge en eau dépasse le seuil de plasticité du matériau. Le sol peut alors fluer dans la pente sur un plan de décollement saturé d'eau.

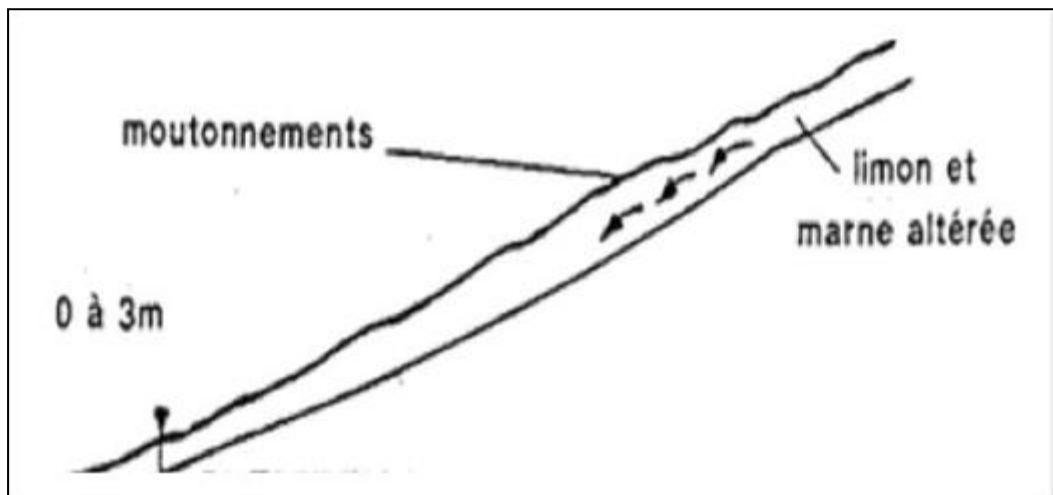


Figure I.8 : Phénomène de la Solifluxion

II.1.6 Le fauchage

Il s'agit d'un processus de basculement d'une unité sur un pivot situé en dessous ou sur une unité inférieure, sous l'action de la gravité et de forces exercées par des blocs adjacents ou des pressions de fluides. C'est une déformation superficielle traduite en mouvement lent qui affecte des roches stratifiées redressées à la verticale, et entraîne un basculement vers l'aval des couches sur une épaisseur très variable.

Des ruptures brutales se produisent et les matériaux se désagrègent et passent à l'état de rochers disloqués puis d'éboulis. **Flageollet, 1989. Les mouvements de terrains et leur prévention**

Le phénomène de fauchage résulte suite à une action conjuguée entre une disposition structurale et une composition lithologique particulière.



Figure I.9 : Phénomène de fauchage

II.2. Les mouvements rapides et discontinus

Ils se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent l'effondrement, les chutes de pierres et de blocs, l'éboulement et les coulées boueuses.

Les mouvements rapides touchent majoritairement les personnes, avec des conséquences souvent dramatiques. Ces mouvements ont des incidences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication...etc.), allant de la dégradation à la ruine totale.

II.2.1 Les effondrements des cavités souterraines

Ce sont des mouvements gravitaires particuliers, sans composante horizontale. Ils résultent soit d'un fléchissement de la surface, sans rupture visible, soit de la rupture brutale du toit d'une cavité souterraine ancienne ou en cours de développement local dans un sol.

la présence des cavités souterraines peut être :

- Soit liées à des mécanismes naturels. comme par exemple
 - ✓ la dissolution de matériaux solubles (calcaire, gypse, sel), c'est le phénomène de **karstification**,
 - ✓ et l'érosion interne dans des sols hétérogènes à granulométrie étalée (entraînement des particules les plus fines par des circulations souterraines), c'est le phénomène de **suffosion**.

- Soit consécutives à des travaux de l'homme, comme les carrières anciennement exploitées puis abandonnées.

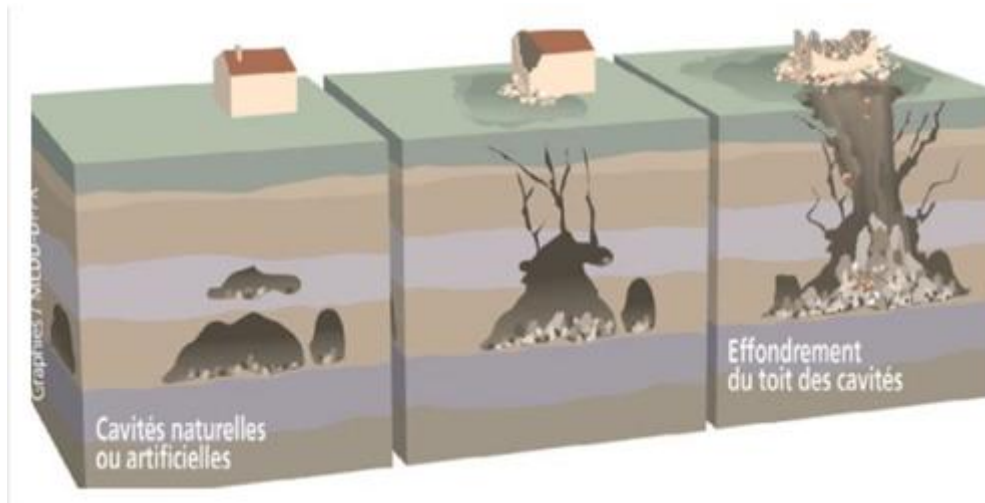


Figure I.10 : Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines.
Source: [www. Prim.net](http://www.Prim.net)

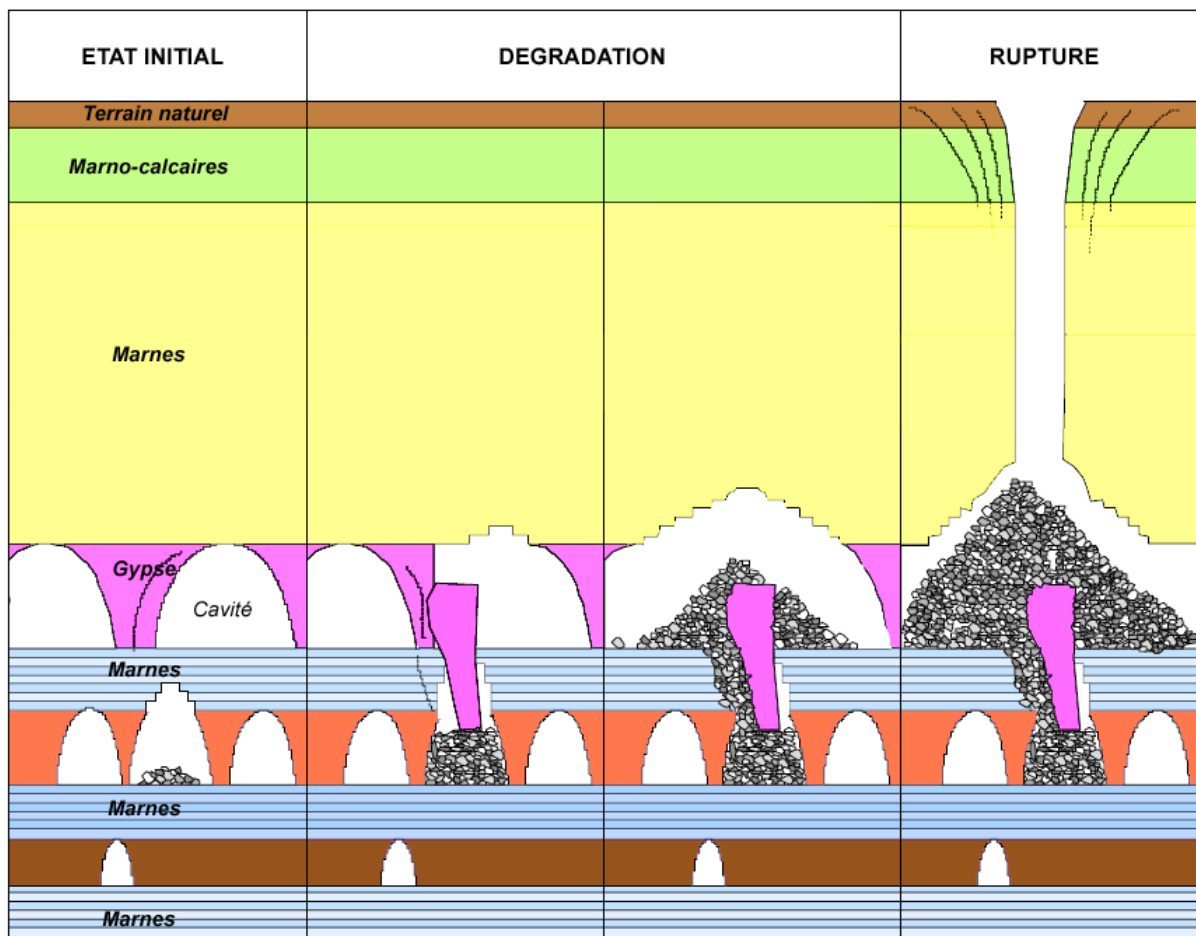


Figure I.11 : Processus de formation d'un effondrement

II.2.2 L'éboulement, chutes de blocs et de pierres

Les mouvements, à partir d'une falaise ou d'un escarpement rocheux, sont brutaux et rapides. Ils peuvent développer leurs effets sur de grandes distances.

Ces phénomènes affectent des roches rigides et fracturées telles que calcaires, grés, roches cristallines...etc.

L'évolution des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres (volume < 1 dm³), des chutes de blocs (volume > 1 dm³), ou des écroulements en masse (volume pouvant atteindre plusieurs millions de m³).

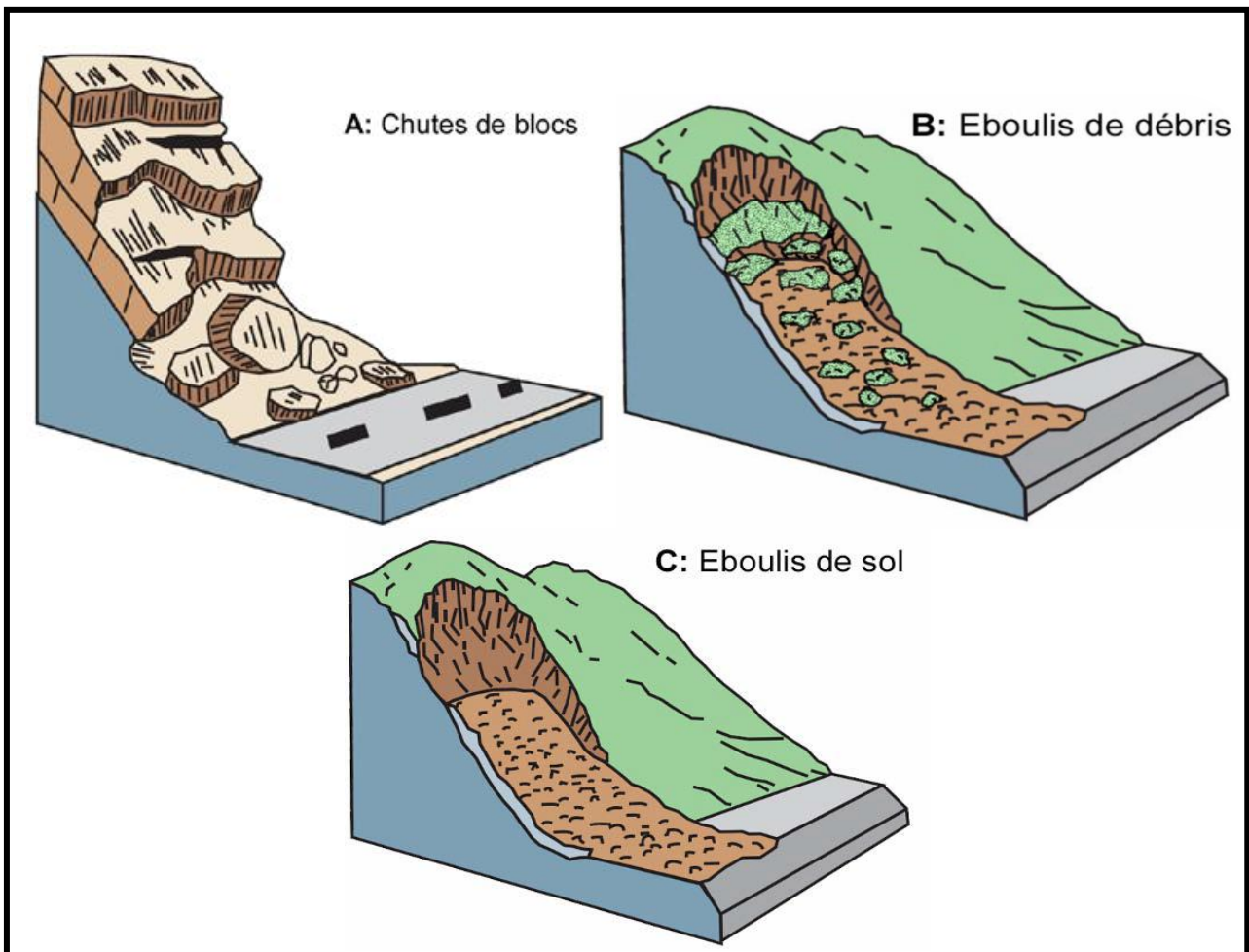


Figure I.12 : Ecoulements et chutes de blocs



Figure I.13 : Destruction d'une maison à Lumbin (Isère) en janvier 2002 par un bloc provenant de la falaise surplombant la commune (versant Est du massif de la Chartreuse) ,
S. Gominet (IRMa)

II.2.3 Les coulées de débris, de boues et laves torrentielles

Lorsque les matériaux meubles d'un versant sont détrempés par des pluies abondantes ou la fonte des neiges, le matériau n'adhère plus à la pente et glisse en masse.

Les caractéristiques principales des coulées boueuses sont : ("**Coulées boueuses. Laves torrentielles**" Bernard SAURET Actuellement. BRGM, Atelier Risque et Génie sismiques, Marseille 1987).

- ✚ Matériel généralement hétérogène emballé dans une matrice fine ;
- ✚ Ecoulement fluide, guidé par les talwegs, sous forme de bouffées successives pouvant durer;
- ✚ Vitesses de propagation généralement élevées ;
- ✚ A partir des zones sources que sont généralement les bassins de réception torrentiels, extension vers l'aval souvent considérable (fréquemment de l'ordre de plusieurs kilomètres, à plusieurs dizaines de kilomètres) sur des pentes faibles ou nulles ;
- ✚ Mobilisation de volumes très importants de matériaux (supérieurs à 10^5 m^3 , de manière courante).

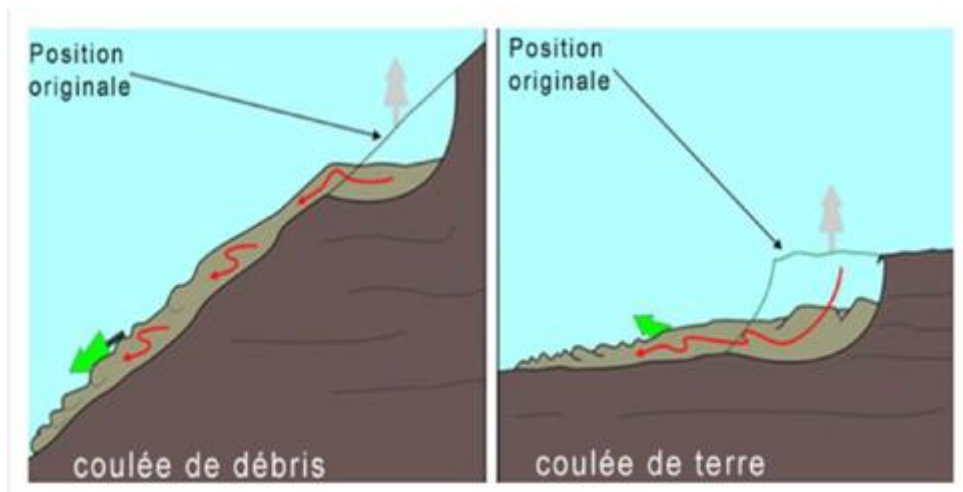


Figure I.14: Schéma qui illustre une coulée de boue - Source: www.atlas.nrcan.gc.ca/auth/francais/nrcan



Figure I.15: Les coulées boueuses (www.encyclopédie.com)
(Illiten en mai 2012 Tizi-Ouzou)

III. Le processus de glissement

On retrouve dans la littérature plusieurs définitions sur les « glissements de terrain » ou « mouvement de masse » dont les plus utilisées sont les suivantes :

- Un glissement de terrain correspond à un : «déplacement d'une masse de terrains meuble ou rocheuse le long d'une surface de rupture par cisaillement qui correspond souvent à une discontinuité préexistante. Le mouvement est engendré par l'action de la gravité, de forces extérieures (hydrauliques ou sismiques) ou d'une modification des conditions aux limites».

(**Cruden, 1991. A Simple Definition of a Landslide. BIAEG**).

- Un "mouvement de masse" s'exprime comme étant tout évènement qui se manifeste par un déplacement sur une pente d'une masse de sol et/ou de roche sous l'influence directe de la gravité. (**Varnes, 1996. Landslide Types and Processes, , National Research Council, Wasington, DC**).

- Un **glissement de terrain** est un phénomène géologique regroupant un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol sur un plan de glissement incliné. Ils résultent le plus souvent d'une rupture par cisaillement à la limite inférieure de la masse en mouvement. Les volumes en jeux sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. L'origine, le déroulement et les effets des mouvements de terrain sont extrêmement hétérogènes. (**Portail de la prévention des risques majeurs en collaboration avec le BRGM e t l'INRS**).

Les glissements de terrain peuvent se produire sur des pentes modérées à raide de 10° à 40° degrés et se différencient selon la nature du sol et l'influence de l'eau. Les mouvements de terrain varient par leur vitesse et par leur forme.

III.1. Les types de glissement de terrain

Selon la géométrie de la surface de rupture, on peut distinguer trois types principaux de glissements :

III.1.1 Glissements plans ou translationnels

Lors de glissements translationnels, quelques horizons de terrain ou un ensemble des couches se déplacent selon une surface de glissement plus ou moins plane.

Les glissements translationnels s'étendent sur des surfaces de taille très variable, allant jusqu'à 30 km². L'épaisseur des masses glissées peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

III.1.2 Glissements circulaires ou rotationnels

Lors de glissements rotationnels, la masse se déplace vers l'aval le long d'une surface de rupture circulaire. Habituellement, les glissements de type rotationnel sont de faible volume et le déplacement des matériaux est limité. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux et silteux.

III.1.3 Glissements quelconques ou composites

La section verticale de la surface de glissement est de forme irrégulière. Il s'agit souvent d'une combinaison des deux cas précédents.

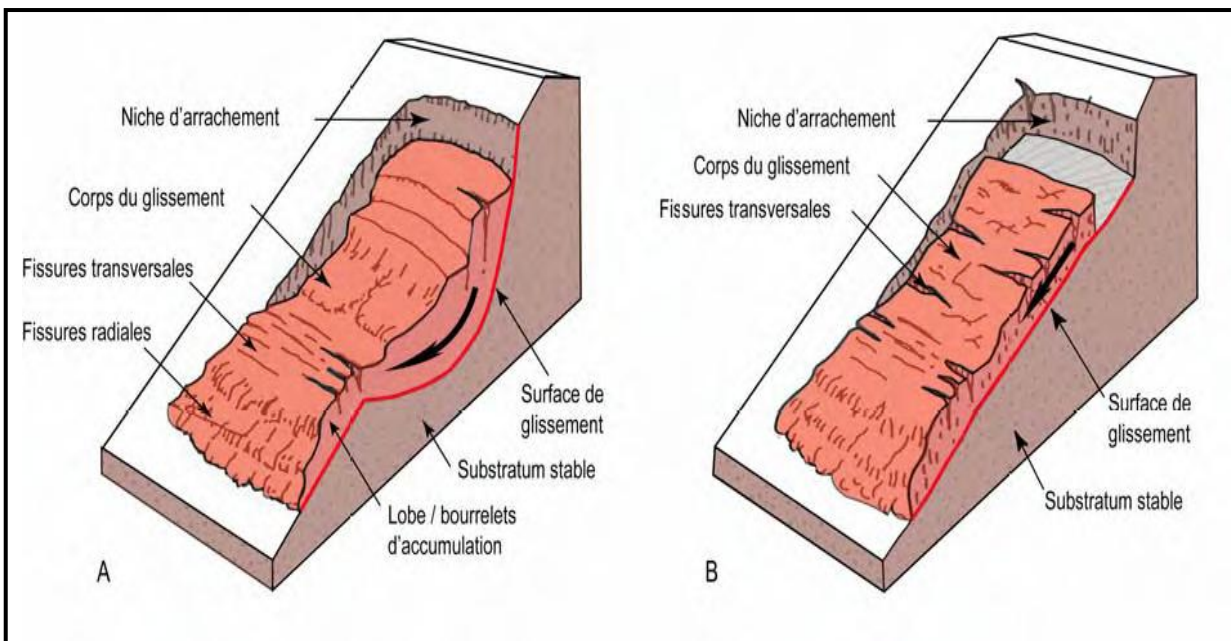


Figure I.16 : Glissements rotationnel(A) et translationnel (B)
(Modifié d'après Varnes, 1978; USGS, 2004)

III.2. La classification du glissement de terrain

Les glissements de terrain peuvent être classés en fonction de la profondeur de leur surface de glissement et de la vitesse moyenne du mouvement.

III.2.1. Selon la vitesse

La vitesse de glissement d'un terrain permet de distinguer les glissements permanents des glissements spontanés.

III.2.1.1 Glissement de terrain permanent

Le mouvement est régulier vers l'aval sur une longue période, la masse se déplace le long d'une surface de glissement existante.

III.2.1.2 Glissement de terrain spontané

Le mouvement terrain meuble et/ou de roche est relativement rapide vers l'aval suite à un déclenchement subit; contrairement au glissement permanent,

le glissement spontané forme toujours une nouvelle surface de glissement ou zone de rupture (coulée de boue par exemple).

III.2.2 Selon la profondeur

Selon la profondeur on distinguera :

III.2.2.1 Le glissement superficiel

Dans les pentes où la couche superficielle se trouve en état d'équilibre limite, une dégradation temporaire de la qualité du sol, par saturation lors de pluies notamment, entraîne soit des écoulements sans limites nettes (solifluxion), soit des glissements avec des arrachements superficiels mettant à nu la surface. La profondeur limite théorique admise entre glissement profond et superficiel est de 2 m.

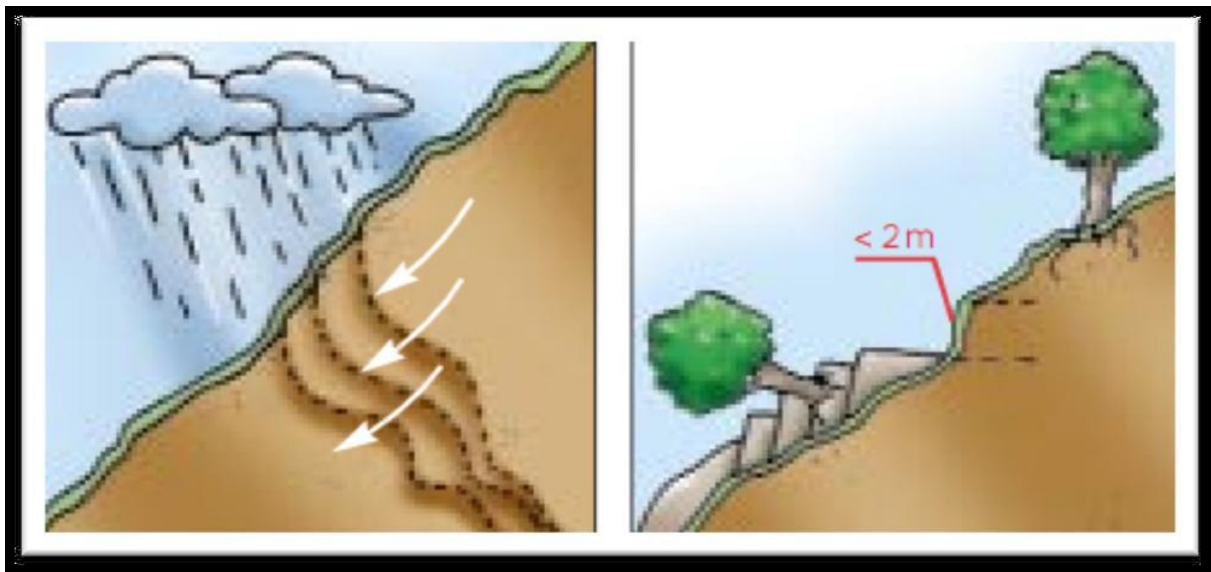


Figure I.17: Schémas Solifluxion, Glissement superficiel

Source : www.sieng.ch

Le glissement superficiel peut être actif ou peu actif. Un glissement superficiel est actif quand il montre un mouvement supérieur à 10 cm/an. et il peut se stabiliser (par réduction

progressive de la pente et colonisation par la végétation par exemple) Par ailleurs, un glissement peu actif, peut par moment entrer dans une phase rapide (rupture soudaine).



Figure I.18 : Glissement superficiel sur la RD 28 sur la commune de Merlas (Isère) à la suite des fortes précipitations du 6 juin 2002
S. Gominet (IRMa)

III.2.2.2 Le glissement semi profond : où la profondeur est comprise entre 2m et 10m.

III.2.2.3. Le glissement profond : où la profondeur est supérieure à 10m.

Le glissement profond est caractérisé par la présence de niches d'arrachement, généralement multiples, bien marquées, avec un déplacement d'une masse de matériaux meubles ou rocheux le long d'une ou de plusieurs surfaces de glissement situées en profondeur et de moindre résistance.



Figure I.19: Glissement profond de Séchilienne

Classification d'après la profondeur de la surface de glissement (en m sous la surface du sol)

Glissement	Surface de glissement
Superficiel	0 – 2 m
Semi-profond	2 – 10 m
Profond	10 -30 m
Très profond	> 30 m

Classification selon l'activité (en fonction de la vitesse moyenne de glissement en cm par an à long terme)

Glissement	Vitesse de glissement
Substabilité, très lent	0 – 2 cm/an
Peu actif, lent	2 – 10 cm/an
Actif (ou lent avec phases rapides)	> 10 cm/an

Tableau I.1 : La classification de glissement de terrain.

Source: Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers;2009.

IV. Comment mesure-t-on les glissements de terrain ?

La magnitude ou l'intensité des glissements de terrain peut être exprimée de manière quantitative et qualitative.

IV. 1. La cinématique

Le degré d'activité des différents mouvements peut également être classé à travers une échelle de vitesse de déplacement de la masse mise à contribution¹⁴. L'intensité du glissement varie alors dans l'espace en allant de l'amont vers l'aval sur l'axe de déplacement du glissement de terrain. Ces paramètres peuvent être exprimés quantitativement, notamment en utilisant une fonction de distribution spatiale, ou en appliquant les classements d'intensité qualitatifs relatifs telles que lent, modéré et rapide, ou faible, modéré et élevé. Le tableau suivant établi par Cruden et Varnes en 1996, tente d'établir une échelle d'intensité des glissements de terrain en tenant compte de la vitesse de déplacement de la masse mise à contribution.

Classe de Vitesse	Description	Vitesse (mm/sec)	Vitesse typique	Destructions significatives probables
1	Extrêmement Lent	$<5 \times 10^{-7}$	<15 mm/an	Imperceptible sans instruments de mesure ; possibilité d'aménagement avec précautions.
2	Très lent	5×10^{-7}	15 mm/an	Résistance de quelques structures aux mouvements de masse.
3	Lent	5×10^{-5}	1.6 m/an	Possibilité d'envisager certaines constructions sur le versant si des travaux réguliers de maintenance sont prévus et si l'amplitude du mouvement n'est pas très importante.
4	Relativement Rapide	5×10^{-3}	13 m/mois	Possibilité de maintenir temporairement quelques structures.
5	Rapide	5×10^{-1}	1.8 m/h	Evacuation possible ; destruction de structures, biens et équipements.
6	Très Rapide	5×10^1	3 m/min	Perte de quelques vies Vitesse de déplacement très importante pour permettre aux gens de s'échapper.
7	Extrêmement Rapide	5×10^3	5 m/s	Catastrophe majeure ; destruction de bâtiments par le déplacement du matériau ; plusieurs morts ; rescapés peu probable.

Tableau I.2. : Echelle de vitesse et importance des destructions probables (Cruden and Varnes 1996. Landslide types and processes)

Une classification plus simplifiée a été établie par le BRGM définissant 5 classes de glissements selon leur cinétique.

Vitesse de déplacement du glissement	Classification
1 mm/an à 12 mm/an	Très lent
1 mm/mois à 50 mm/mois	Lent
1,5 mm/j à 100 mm/j	Moyen
4 mm/h à 10 m/h	Rapide
2,5 m/sec à 10 m/sec	Très rapide

Tableau I.3 : Classification des glissements selon leur vitesse de déplacement

IV.2. La superficie et le volume

Les estimations quantitatives dérivent souvent des estimations relatives au site c'est-à-dire la superficie et/ou le volume mis à contribution dans le phénomène de glissement. Le tableau suivant montre un exemple de la relation entre les évaluations de l'importance et les niveaux quantitatifs en terme de superficie et de volume.

Magnitude	Intervalles quantitatifs	
	Superficie affectée (en ha)	Volume minimum impliqué (en m3)
Très forte	> 5	50 000
Forte	0.50 à 5.00	5 000 à 50 000
Moyenne	0.05 à 0.50	500 à 5 000
Faible	0.005 à 0.05	50 à 500
Très faible	< 0.005	< 50

Tableau I.4 : Exemple de classement de glissements par niveau d'importance en terme de superficie et de volume mis à contribution.

IV.3. L'intensité

L'intensité d'un glissement de terrain est estimée à partir de l'estimation du coût des investissements nécessaires pour mettre en place des éléments de protection passif face au phénomène.

Coût	Intensité
Financièrement supportable pour un particulier (ex: purge de blocs)	Faible
Financièrement supportable pour un groupe de propriétaires (ex: comblement cavité, drainage)	Moyenne
Déborde du cadre parcellaire Coût important et/ou technique difficile (ex: stabilisation glissement, confortement de pan de falaise)	Forte
Pas de parade technique	Majeure

Tableau I.5 : Intensité des glissements de terrain en fonction des investissements en structures de protection

IV.4. La gravité

La gravité d'un glissement de terrain est évaluée à partir des dégâts que ce dernier peut engendrer les enjeux.

Estimation des dégâts	Gravité
Pas d'accident (ex: retrait / gonflement, fluage, glissement lent)	Faible
Accident isolé (ex: glissement à paroxysme rapide)	Moyenne
Quelques victimes (ex: chutes de blocs, laves torrentielles, fontis)	Forte
Quelques dizaines de victimes (ex: éboulement, effondrement généralisé de carrière)	Majeure

Tableau I.6 : la gravité d'un glissement de terrain a partir des dégâts qu'il peut engendrer

IV.5. La dynamique du glissement de terrain

La dynamique des mouvements de terrain peut être représentée par une Fonction du déplacement par le temps, elle est caractérisée par des phases d'activité où les vitesses de déplacement sont élevées, alternées avec des Phases de calme.

K. Terzaghi (1950) propose quatre phases

La phase de préparation

Dans cette phase on remarque une absence d'évolution mesurable ou un mouvement de faible amplitude qui peut conduire à une diminution progressive des caractéristiques du terrain.

✚ La phase de rupture (paroxysme)

C'est une période généralement de courte durée pendant laquelle on observe des déplacements importants. La stabilisation du glissement a lieu généralement après cette phase.

✚ La phase d'amortissement (relaxation)

Elle succède immédiatement à la phase de rupture, c'est la phase la plus couramment rencontrée par le géotechnicien car il est amené à intervenir dans cette phase pour stabiliser ou surveiller le phénomène.

✚ La phase de stabilisation

Le versant est stabilisé pour une durée indéterminée.

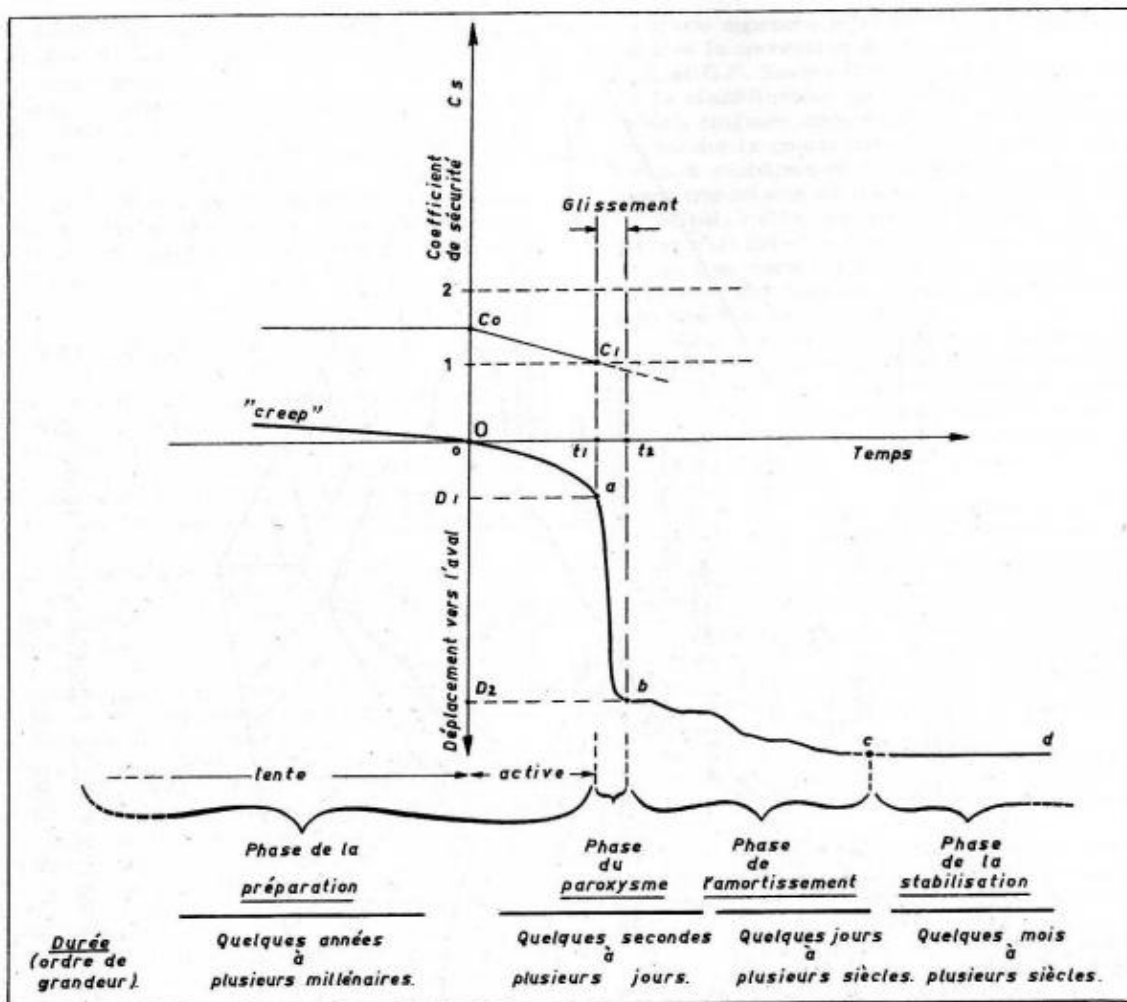


Figure I.20 : Illustrant la dynamique d'un glissement de terrain

Aussi " Vaunat et al." (1994) proposent les quatre phases suivantes.

Pré rupture

Ce phénomène a été décrit pour la première fois par Bjerrum (1967), il est connu sous le nom de rupture progressive.

Rupture

La vitesse de déplacement dans cette phase est relativement élevée, elle peut atteindre quelques dizaines de mètres en quelques heures. Elle correspond au déplacement d'un massif engendré par une rupture du matériau.

Post rupture

Elle succède à la période de rupture, durant cette période les vitesses moyennes de déplacement présentent des pics qui peuvent atteindre plusieurs centimètres par jour.

Réactivation

Elle correspond à un déplacement du massif selon une ligne de rupture préexistante formée par un glissement ancien.

V. Les facteurs intervenant dans les processus d'instabilité des terrains

Le passage de l'état stable à l'état instable est lié à des causes nombreuses et variées qui viennent s'ajouter aux conditions initiales, intrinsèques au terrain. On distingue plusieurs facteurs qui influencent le phénomène du mouvement de terrain.

Ils correspondent à l'action naturelle ou anthropique nécessaire au déclenchement d'un glissement de terrain. Cette action déclenchant peut être liée à un ou plusieurs stimuli externe (pluie intense, séisme,...etc.) Cruden & Varnes 1996.

V.1. Action et influence de l'eau

La variation des conditions hydrauliques est l'une des principales causes de glissement de terrain et son action dans la rupture de l'équilibre se manifeste à travers plusieurs façons et à différents stades. C'est principalement, la pluviométrie que les auteurs s'accordent à considérer comme étant le facteur le plus influent, et plus particulièrement, ils montrent une occurrence entre des mouvements et des pluies de fortes intensités. (Cartier et Delmas, 1984).

V.2. Action de la pesanteur

L'action de la pesanteur est le moteur principal du mouvement. La stabilité d'un bloc est donnée par le rapport entre les forces stabilisantes et les forces déstabilisantes. On parle du facteur de sécurité (F). Si celui-ci est inférieur à 1, il y a rupture de l'équilibre, et s'il est supérieur à 1, il y a conservation de l'équilibre. Si l'on augmente le poids d'un bloc ou d'une portion de terrain, cela engendrera une augmentation des forces déstabilisantes et le rapport F diminuera jusqu'à atteindre le seuil d'équilibre limite avant rupture. L'action de la pesanteur, en tant que facteur de mouvement, est intimement liée à l'action anthropique, car le plus souvent l'homme change les conditions du milieu vers et parfois au-delà de la limite de rupture, soit par surcharge, soit par suppression de la butée en pied. **(Besson, 1996 : « les risques naturels en montagne traitement, prévention, surveillance » Ed : Artès-Publial, Grenoble, 438p).**

V.3. La nature des terrains

La nature des terrains est un des principaux facteurs d'apparition de ce phénomène tout comme l'eau et la pente. La très grande majorité des glissements apparaissent dans des terrains argileux ou dans des formations grenues suffisamment chargées en argile pour que ce matériau impose son comportement. La prédisposition au glissement des terrains fins et argileux tient d'abord au rôle que peut jouer l'eau sous ses diverses formes.

V.4. Les actions mécaniques externes

La pente du versant, les fouilles et les affouillements au pied du versant, le déboisement du site et la surcharge déposée sur une pente, peuvent avoir des conséquences sur la stabilité des terrains.

- Suppression de la butée de pied de versant

La suppression de la butée de pied peut avoir plusieurs origines :

- ✓ Par terrassement ;
- ✓ Par affouillement ou érosion régressive : exemple Bardo ;
- ✓ Par dragage : fouille réalisée sous l'eau.

- Implantation des surcharges sur un versant

Il peut s'agir d'un remblai (route, terrasse...etc.), d'un immeuble fondé superficiellement, d'un mur de soutènement, d'une décharge, d'un stockage, d'un gros engin de chantier...etc.

Lorsqu'elles sont placées en haute ou à mi-pente d'un versant, les surcharges sont fréquemment à l'origine d'un glissement de terrain.

A l'inverse, les surcharges de pied de versant, par le couple stabilisateur qu'elles apportent, accroissent pratiquement toujours la stabilité du site.

V.5. Actions sismiques

Les séismes, par la mise en vibration des éléments du sol et la modification des conditions de pesanteur peuvent être à l'origine de la déstabilisation des masses en place.

Nous avons vu également dans les milieux meubles saturés, un séisme donnant naissance à une pression interstitielle qui peut entraîner la liquéfaction instantanée, partielle ou totale du milieu.

V.6. Action de déboisement

Le déboisement d'un versant entraîne fréquemment, l'apparition de glissement de terrain. Il désorganise le terrain en profondeur et favorise ensuite la pénétration des eaux dans la masse.

Le rôle stabilisateur des arbres tient à plusieurs facteurs :

- L'ancrage par les racines
- Le drainage par évapotranspiration
- La rétention des eaux de pluie : l'eau retenue par des feuilles et la couverture du sous-bois.
- La protection contre l'érosion.

V.7. Actions anthropique

L'action anthropique qui influe sur l'aléa : lors des chantiers de construction, les opérations de terrassement peuvent entraîner la suppression d'une butée de pied stabilisatrice d'une masse de terrain, ou bien augmenter la pente d'un versant composé de matériaux pas assez cohérents pour cette nouvelle topographie. Le remblai engendre une surcharge pouvant déclencher ou aggraver un glissement.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré les deux types de mouvements de terrain qui existent dans la nature et qui sont les mouvements lents et rapides.

Les mouvements lents provoquent des changements progressifs qui peuvent se solder par des conséquences brutales, leurs dommages sont directs et touchent particulièrement les biens et équipements.

Les mouvements rapides se distinguent par contre par leur frappe brusque et immédiate, et sont considérés comme un risque très dangereux pour l'homme.

Le traitement et l'étude de ces différents cas, nécessitent quelques documents à savoir les cartes: topographiques, géologiques, hydrogéologique, en vue de % procéder à une étude détaillée du site instable.

I.Introduction

Toutes les constructions de béton peuvent souffrir de dégradations qui peuvent affecter leur apparence, leur durabilité et même leur performance.

Les causes de ces détériorations sont d'origines physiques, chimiques, biologiques ou structurales.

La fissuration, qui se manifeste sous diverses formes, est l'une des principales causes de dégradation et peut parfois apparaître dès la mise en place du béton.

II.Définition de la fissuration

Le bâtiment est vivant et son ossature bouge, il n'est pas rare de voir apparaître des fissures à la jonction des matériaux différents.

Les fissures se traduisent par une fente qui affecte des éléments de construction tels que les murs, plafonds et planchers. On parle également de brèches, brisures ou déchirures.

Différents types de fissures peuvent être constatés, elles ne sont pas toutes graves mais doivent être surveillées, notamment si elles évoluent.

- **les fissures obliques** traduisent souvent des anomalies dues au sol;
- **les fissures horizontales** se situent souvent au niveau des planchers ou sous la toiture et traduisent généralement un mouvement de la structure sous l'effet de la dilatation;
- **les fissures verticales et parallèles** dans le béton armé (bâtiments construits après 1914) ont souvent pour origine le retrait du matériau. Elles nécessitent un traitement pour éviter la pénétration des eaux et la corrosion des aciers.

Les fissures dues à des charges excessives sont rares, elles s'accompagnent souvent de déformation visibles (appelées "flèches")

Les fissures peuvent être classées selon leur:

[Mailvaganam. 1991]

Orientation:	<ul style="list-style-type: none">- longitudinale;- transversale;- verticale;- diagonale;- aléatoire;
Occurrence:	<ul style="list-style-type: none">- fissures multiples;- fissure unique;
Profondeur:	<ul style="list-style-type: none">- de surface;- profonde;- traverse la membrure au complet;
Ouverture:	<ul style="list-style-type: none">- très fine < 0.5 mm;- fine < 0.5 mm à 1 mm;- moyenne 1 à 2 mm;- large > 2 mm;
État:	<ul style="list-style-type: none">- active (s'ouvre et se referme selon les conditions);- morte (pas d'évolution ou se stabilise avec le temps):- progressive (s'élargit avec le temps);

III. Formes des fissures**III.1 Microfissures.**

Il s'agit d'une forme de fissures étroites, faiblement visibles à l'œil nu et dont la largeur est inférieure à 2/10èmes de mm. La plupart du temps le phénomène de microfissuration se traduit par de fines craquelures à la surface de la peinture ou de l'enduit.



Figure II.1 : Microfissures

III.2 Lézardes

Plus épaisses que les fissures classiques, elles ont une largeur supérieure à 2mm et sont généralement provoquées par des mouvements de sol ou des sollicitations inhabituelles auxquelles ne résiste pas la structure du bâtiment.



Figure II.2 : Lézardes

IV. Le mécanisme qui conduit à l'apparition des fissures

- **Avant fissuration**

La structure se déforme. Des contraintes se développent dans la matière. Les fissures apparaissent lorsque ces contraintes deviennent excessives, et dépassent la capacité de

résistance de la matière. La fissure traduit une rupture du matériau. Il s'agit souvent d'une rupture de "traction". Le béton et les maçonneries résistent mal à ce type de sollicitation.

• **Après fissuration**

Les contraintes se redistribuent et cette redistribution peut conduire à des dépassements de capacités dans d'autres zones qui peuvent se fissurer à leur tour. Des déformations importantes se produisent, elles peuvent entraîner des effondrements, ce qui est assez rare. Le plus souvent, une nouvelle situation d'équilibre est trouvée ; la structure s'est adaptée en quelque sorte aux sollicitations auxquelles elle a été soumise.

V. Causes et interprétation des fissures

Les fissures ont souvent des causes d'ordre géologique. C'est le cas des habitations situées dans des régions à risque. Les sols instables provoquent des tassements différentiels, le bâtiment est fragilisé et des fissures peuvent alors apparaître sur les murs, aux plafonds, sur le carrelage ... etc.

Aussi ces sinistres peuvent trouver leur origine dans la qualité de l'exécution des ouvrages.

• **la nature du sol**

La présence de sols gonflants : en absorbant l'eau de pluie, le sol argileux gonfle. Puis il se déshydrate en période de sécheresse. L'instabilité du terrain provoque des fissures sur les bâtiments existant.

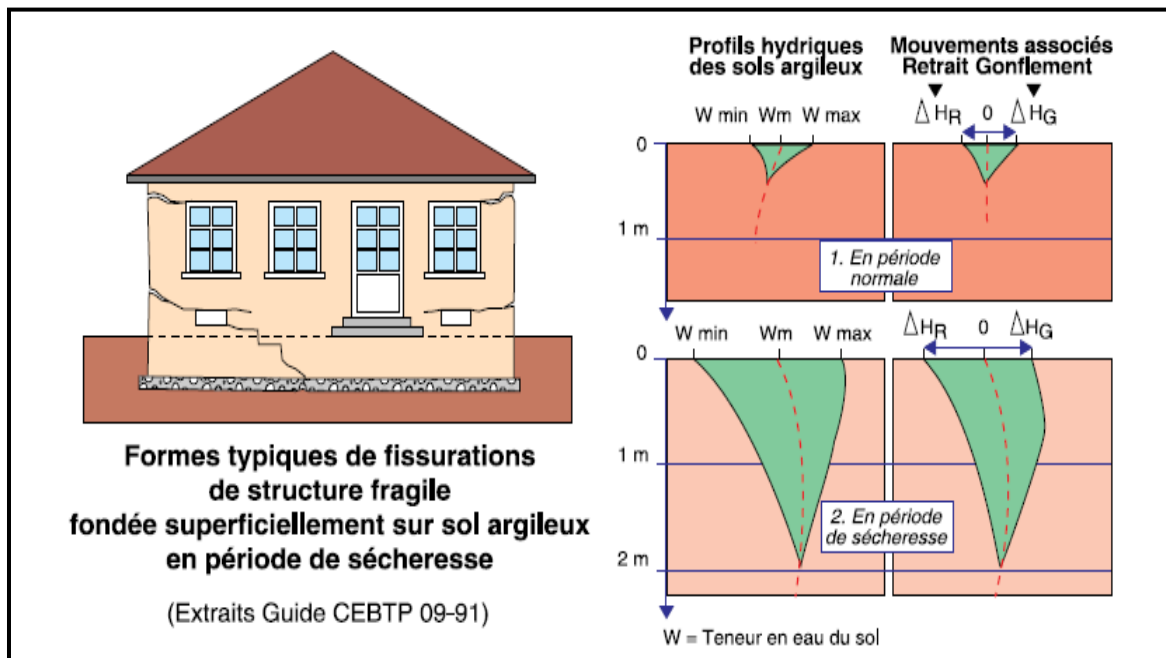


Figure II.3 : forme de fissuration de structure fragile fondée sur un sol argileux

L'instabilité peut aussi venir de la présence d'anciennes carrières oubliées, ainsi les extractions abondantes de la marne, le gypse ou de l'ardoise sont les causes d'affaissement et d'éboulement de terrain et ces mouvements sont à leur tour causes des sinistres dans les habitations.

Donc pour éviter les dégâts, une étude géotechnique est considérée nécessaire avant toute construction.

• **Infiltration d'eau et épisode de gel**

Les infiltrations d'eaux pluviales et les épisodes de gel successifs occasionnent des fissures qui démarrent de l'arase des murs jusqu'à la toiture, elles n'entraînent pas de déplacement relatif des lèvres des fissures et ces dernières sont essentiellement d'orientation verticale (sauf si elles sont déviées par un élément « dur »).

• **Séisme**

Les fissures d'origine sismique sont le fruit de poussées latérales, infligées au bâtiment d'orientations diverses, elles fragilisent les édifices, si ces derniers ne sont pas bâtis dans le respect des normes sismiques.

• **causes dues à la mauvaise qualité de construction**

- **Les armatures** sont en nombre insuffisant dans les fondations, les plans de ferrailage ne sont pas respectés ou sont inexistantes.
- **Les chainages verticaux et horizontaux** sont mal exécutés
- **L'enduit** : ses conditions de mise en œuvre ne sont pas respectées
- **La qualification insuffisante de la main-d'œuvre**
- **L'organisation du chantier** la présence permanente d'un chef de chantier pour assurer le bon suivi des travaux est indispensable

❖ **les causes des fissures d'après Richard Lapointe 1997**

Richard Lapointe a cité dans son mémoire les causes de la fissuration du béton: les fissures apparaissent soit dans la phase plastique du béton ou soit quand celui-ci est durci.

- **Fissuration du béton plastique**

Les fissures par retrait et celles par ségrégation sont différentes, bien qu'elles fassent toutes deux leur apparition dans la phase plastique du béton

Fissures plastiques par retrait [ACI. 1984]

Les fissures plastiques par retrait affectent surtout les éléments de béton ayant une grande aire de surface, comme les dalles ou les planchers.

Ce retrait, qui apparaît avant la finition finale et avant le début du mûrissement, est

Causé par l'évaporation de l'eau à la surface du béton frais trop rapide pour que celle-ci soit compensée par l'eau de ressuage.

Habituellement, ce type de fissure n'affecte que la surface, mais il peut aussi arriver qu'il traverse complètement un élément.

Fissures par ségrégation [CEB, 1991]

Quant aux fissures occasionnées par la ségrégation, elles apparaissent quand le changement de volume, provoqué par le ressuage induit par les particules de béton qui tendent à se déposer sous l'influence de l'attraction gravitationnelle, est restreint soit par l'armature ou par les coffrages. Ces fissures sont longitudinales et se retrouvent surtout sur des éléments épais.

- **Fissuration du béton durci**

Tous les autres types de fissure vont faire leur apparition une fois que le béton commence à durcir.

Fissures par retrait de séchage [ACI, 1984]

Ces fissures sont causées par un retrait résultant d'une perte d'humidité de la pâte de ciment qui est restreint par les autres parties de la structure ou par la base. Le retrait de la pâte de ciment, elle-même, peut atteindre jusqu'à 1 % par unité de longueur, mais les granulats du béton permettent de réduire ce retrait à environ 0.05 %. Dans le cas de structures plus massives. Les contraintes de traction sont engendrées par un retrait différentiel entre la surface et l'intérieur.

Fissures causées par des réactions chimiques [Mehta, 1993]

Cette forme de fissuration est causée par l'expansion des produits de réaction à l'intérieur de la masse de béton durci. Ces produits proviennent des réactions chimiques entre les granulats, le ciment, les adjuvants ou de tous les autres agents entrant en contact avec le béton une fois celui-ci durci.

Ces fissures auront ensuite pour effet d'augmenter la perméabilité du béton, ce qui le rend plus vulnérable.

Fissures causées par les conditions climatiques [ACI, 1984]

Le béton est aussi affecté par les cycles de gel-dégel. La dégradation est occasionnée par le gel de l'eau dans la pâte de ciment, dans les granulats ou même dans les deux à la fois.

Ainsi, les dommages dans la pâte de ciment sont produits par la migration de l'eau vers les sites de gel ou par la formation de cristaux de glace qui crée des contraintes de traction par augmentation de volume. Pour leur part, les granulats, comme ils sont saturés d'eau et comme ils sont enrobés de pâte de ciment qui empêche l'eau de s'échapper, vont prendre de l'expansion durant le gel. Cette expansion peut fissurer soit la pâte ou le granulat.

La fissuration peut aussi être engendrée par des cycles de mouillage-séchage ou par des cyclages thermiques. Ainsi, si le changement de volume qu'ils causent est suffisant, des fissures pourraient apparaître.

Fissures causées par la corrosion de l'armature [ACI. 1984]

Habituellement, l'acier d'armature noyé dans le béton ne se corrode pas puisqu'il est protégé par une couche d'oxyde dans la passivité qu'offre cet environnement très alcalin. Par contre, cette passivité peut être altérée par la carbonatation ou des ions agressifs comme les chlorures. C'est seulement une fois cette passivité altérée que le processus de dégradation peut débuter. Cependant, la corrosion, un procédé électrochimique, requiert la présence d'un agent oxydant de l'eau et d'un flux d'électrons dans le métal pour avoir lieu. C'est ainsi qu'une série de réactions chimiques ont lieu sur ou près de la surface de l'armature d'acier,

Fissures causées par des pratiques douteuses de construction [ACI. 1984]

Des fissures peuvent aussi se former si les règles de l'art de la construction d'ouvrages de béton ne sont pas respectées. La plus douteuse de ces pratiques est l'ajout d'eau au béton pour améliorer la maniabilité. Cette pratique engendre des effets néfastes comme une perte de résistance ou une augmentation du retrait. Si en plus on augmente la quantité de ciment pour contrecarrer ces effets indésirables, il en résultera une différence accrue entre la température à la surface et celle à l'intérieur de la masse de béton, ce gradient de température crée des contraintes de traction pouvant éventuellement faire fissurer le béton.

Il arrive aussi que l'on néglige ou que l'on prenne à la légère le mûrissement. Ceci doit être évité puisque cela entraîne une augmentation du retrait à un moment où la résistance du béton est plutôt faible. Une période de mûrissement inadéquate entraîne une baisse de la résistance à long terme mais aussi une réduction notable de la durabilité.

VI. Estimation des dommages

La détermination des degrés d'endommagement nécessite la combinaison de trois facteurs

- la typologie des constructions exposées
- la nature des mouvements
- l'intensité de ses mouvements

VI.1 Définition des niveaux d'endommagement

Cinq niveaux d'endommagement ont été établis, par ordre croissant de sinistralité (N1 à N5).

Du niveau N1 à N3, les désordres prévisibles ne provoquent aucun effondrement.

A partir du niveau N4, des effondrements sont possibles et menacent la sécurité des occupants. Les caractéristiques du dommage subi sont détaillées ci-après, en fonction du niveau d'endommagement :

Niveau d'endommagement N1''

Désordres prévisibles :

- fissures très légères dans le plâtre
- légères fissures isolées dans le bâtiment, non visible de l'extérieur

Niveau d'endommagement N2

Désordres prévisibles :

- plusieurs fissures légères visibles à l'intérieur de l'immeuble
- les portes et fenêtres peuvent se coincer
- des réparations aux murs et plafonds peuvent être nécessaires

Niveau d'endommagement N3

Désordres prévisibles :

- fissures légères visibles de l'extérieur
- les portes et fenêtres sont coincées
- les canalisations sont rompues

Niveau d'endommagement N4

Désordres prévisibles :

- fissures visibles de l'extérieur
- les portes et fenêtres sont coincées
- les canalisations sont rompues
- parquets et sols en pente
- murs hors d'aplomb ou bombés
- quelques déchaussements dans les poutres
- en cas de compression, chevauchement des joints dans les toits et soulèvement du gros œuvre en maçonnerie, avec crevasses horizontales

Niveau d'endommagement N5

Désordres prévisibles :

- le bâtiment doit être reconstruit partiellement ou complètement
- les poutres de la charpente et des planchers sont déchaussées
- les murs penchent très fort et doivent être étayés
- fenêtres brisées et tordues
- gauchissement et bombement des planchers et des murs en zone de compression

VI.2 Relation entre le niveau d'endommagement et la variation de longueur du bâtiment

Les niveaux d'endommagement peuvent être reliés à la variation de longueur du bâtiment (en %, ou cm/m) par le tableau suivant :

Niveau d'endommagement	Variation de longueur du bâtiment	Importance du dommage
N1	jusqu'à 0,1 %	très léger ou négligeable
N2	0,1 à 0,2 %	Léger
N3	0,2 à 0,3 %	Appréciable
N4	0,3 à 0,4 %	Sévère
N5	au-delà de 0,4 %	très sévère

-Tableau II.1 : niveaux d'endommagement en fonction du changement de longueur du bâtiment.

Les variations de longueur propres à chaque type de bâtiment sont déduites des sollicitations décrites ci-après : déformation, courbure et inclinaison du sol.

- **Effet de la déformation horizontale du sol sur le bâti**

Les déformations horizontales induites par l'affaissement ont été traduites en effort de traction ou de compression sur les fondations.

L'effort maximum de glissement est égal à $F = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot P$. Au-delà, le sol glisse sous les fondations, sans augmentation de F.

μ : coefficient de frottement sol / fondation

P : poids du bâtiment (charge permanente et d'exploitation)

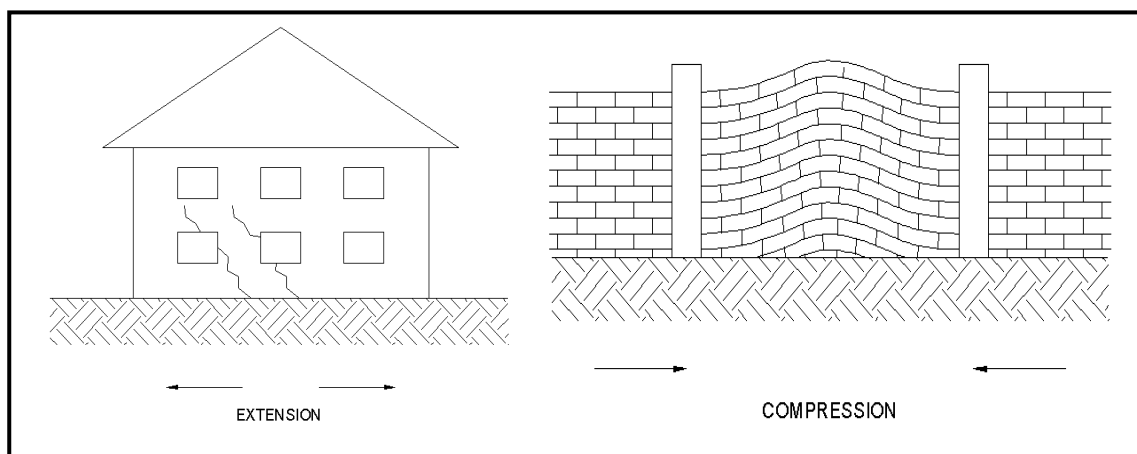


Figure II.4 : Illustration des effets des déformations horizontales du sol sur le bâti

Afin de s'affranchir des efforts dus à la déformation du sol et de maintenir les types de bâtiment en niveau d'endommagement N1, les fondations doivent être dimensionnées et ferrillées afin de résister à la force F.

- **Effet de la courbure du terrain sur le bâti**

L'affaissement du terrain a pour conséquence une incurvation du sol d'assise du bâtiment, et qui provoque des déformations importantes des planchers et des fissures obliques dans les murs intérieurs et façades :

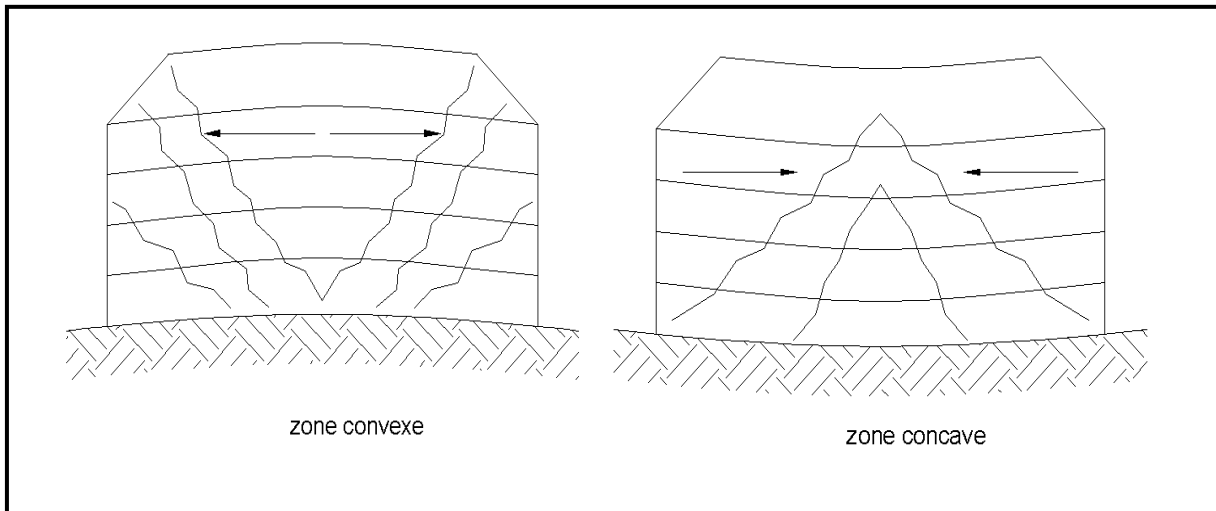


Figure II.5 : Illustration des effets de l'incurvation du sol sur le bâti

- **Effet de la pente du terrain sur le bâti**

L'affaissement du terrain a pour conséquence une inclinaison généralisée du bâtiment, que l'on ne peut pas négliger pour des valeurs de pentes élevées, car elle provoque l'augmentation des contraintes du sol.

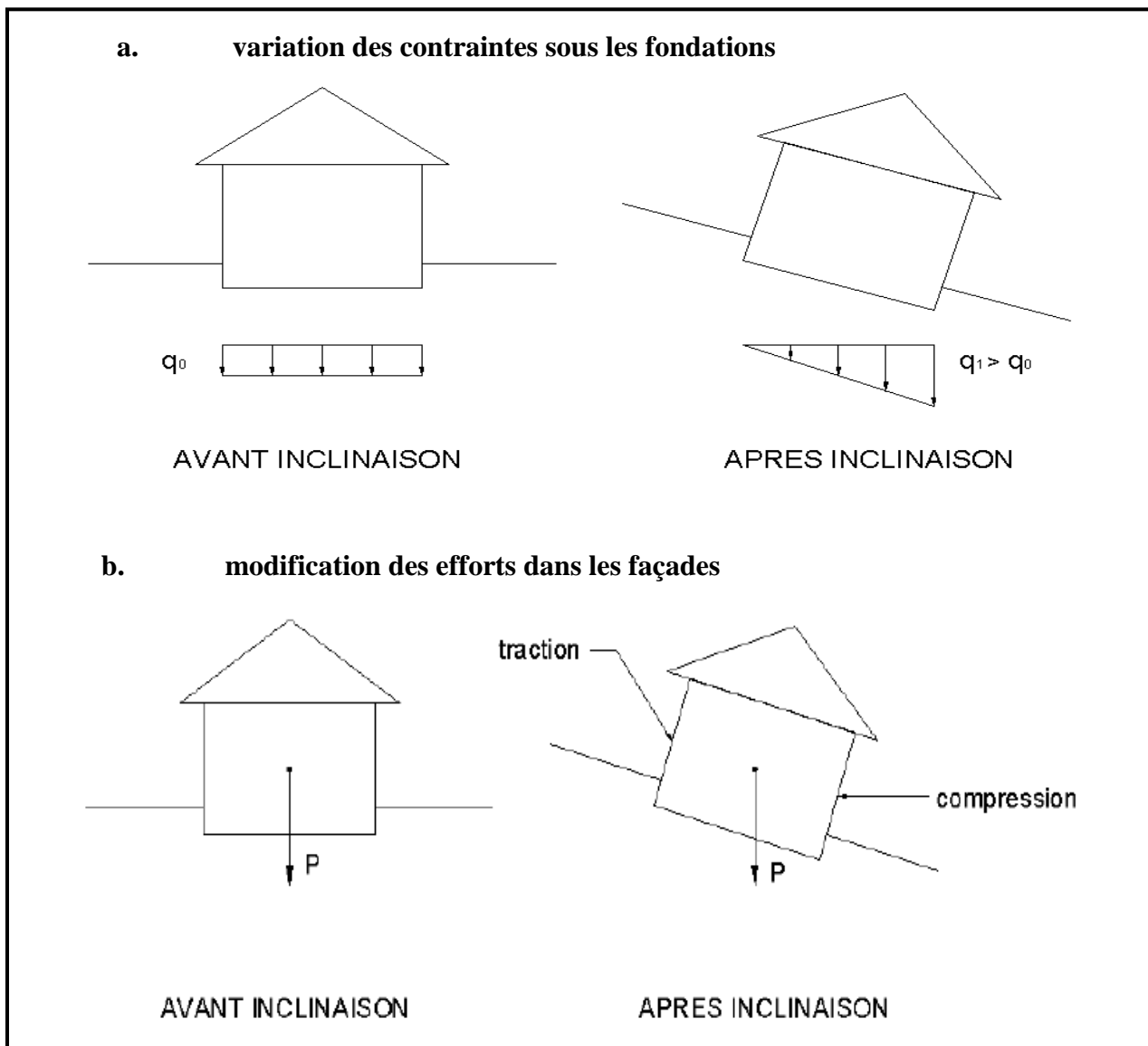


Figure II.6 : Effets de la mise en pente du terrain sur le bâti (CSTB, 2004)

Les tableaux suivants représentent des exemples théoriques d'évaluations des degrés d'endommagement effectués sur la base d'une échelle conventionnelle (tableau n°2) et d'une typologie inspirée de la classification macrosismique M.S.K.1964

Caractéristiques du phénomène aléatoire		Type des constructions exposées				
Intensité	Nature	A	B	C1	C2	D
1	Ef	5	3-4	2-3	1-2	1
	Gl	5	3-4	2	1-2	1
	Co	2-5	1-3	1-2	1	1
	Af	4	2	1-2	1-2	1
	Eb	4-5	3-5	3-5	2-3	/
2	Ef	5	5	4-5	3-4	1-2
	Gl	5	5	4-5	3-5	1-2
	Co	3-5				
	Af	5	4-5	2-5	2-4	1-2
	Eb	5	5	5	4-5	/
3	Ef	5	5	5	4-5	1-3
	Gl	5	5	5	5	1-3
	Co	5	3-5	1-5	1-5	/
	Af	5	5	2-5	2-5	/
	Eb	5	5	5	5	/
4	Ef	5	5	5	5	/
	Gl	5	5	5	5	/
	Co	5	5	5	4-5	/
	Af	/	/	/	/	/
	Eb	5	5	5	5	/

Tableau II.2: évaluation de l'endommagement moyen engendré par l'aléa mouvement de terrain en fonction des types de constructions exposée et des caractéristiques des mouvements.

Légende :

(1) - niveau d'intensité des mouvements de terrain,

Exemple : glissement de terrain

Niveau d'intensité	Gl : Glissement de terrain
1	Fluage ou glissement pelliculaire
2	Glissement localisé
3	Glissement de versant
4	Glissement catastrophique

(2) - Ef = effondrement, Gl = glissement, Co = coulée, AF = affaissement, Eb = éboulement

(3) - typologie des constructions.

- **le type A**, correspond à des constructions vétustes ou de qualité médiocre, sans fondation et sans liaisons structurelles, plus souvent construites hors normes traditionnelles.

- **le type B**, s'applique à des constructions traditionnelles, en maçonnerie, ou préfabriquées légères, sans ossature armée. Il s'agit généralement d'habitations individuelles ou d'immeubles collectifs non récents.

- **le type C**, est réservé aux constructions de bonne qualité, réalisées en matériaux traditionnels, et pourvues de fondations armées.

Ces constructions ont été elles-mêmes réparties en deux sous-types :

- le type C1 correspond à un habitat individuel
- le type C2 correspond à des immeubles collectifs d'au moins trois niveaux, à ossature en béton armé.

- **le type D**, dans la conception de ce type de construction, les risques de mouvements de terrain ont été pris en compte.

(ce type correspondrait, en matière de séisme aux constructions parasismiques) : fondations spéciales, structures renforcées ...

Degré d'endommagement	% de la valeur vénal de la construction (x)	Type de dommages
1	Quelque %	Dommmages légers non structurels (gros œuvre non touché, stabilité non affectée.
2	10-30	Fissuration des murs
3	50-60	Déformation importante, lézardes largement ouvertes, évacuation nécessaire.
4	70-90	Effondrement partiel de plancher ou brèches dans les murs, désolidarisation des parties, évacuation immédiate
5	100	Destruction totale - effondrement de la construction- pas de réhabilitation possible.

Tableau II.3 : échelle conventionnelle des degrés d'endommagement
(Inspirée de l'échelle MSK, 1964)

(x) % estimé à partir du cout de la remise en état ou de la reconstruction (% de la valeur à neuf)

VII. Conclusion

Il n'existe pas de règle simple, à la vue de fissures pour affirmer que les désordres observés sont la conséquence ou non d'un mauvais comportement des fondations. La connaissance des principes de la résistance des matériaux est indispensable.

C'est ainsi qu'il est faux de conclure qu'un tassement s'accompagne toujours de fissures à 45° mais un mur coupé par des fissures à 45° subit presque toujours les effets d'un tassement.

Il faut aussi savoir qu'une simple fissure, très fine, d'apparences banales pourra conduire à des infiltrations d'eau dans un bâtiment et se révélera délicate à réparer.

Ces sinistres trouvent essentiellement leurs origines dans la qualité du sol et l'exécution des ouvrages. Pour éviter et réduire les déformations et les dégradations des bâtiments, une enquête géotechnique est obligatoire avant toute construction car les conséquences d'une méconnaissance des hétérogénéités du niveau d'assise peuvent être lourdes et entraînent à court terme des surcoûts lors de la construction et à plus ou moins long terme des coûts liés aux dommages relatifs à un défaut de portance du sol.

I. Introduction

La pluie, la fonte des neiges, l'augmentation des infiltrations, la modification des circulations souterraines, liée ou non à des travaux sont donc à l'origine de nombreux glissements.

Les indices caractéristiques pouvant être observés dans les glissements de terrain sont généralement la formation d'une niche d'arrachement (ou escarpement), des fissurations, des bourrelets, des arbres basculés ou tordus, des zones de rétention d'eau.

II. les différentes dégradations causées par un glissement de terrain

II.1 Les fissures dans le sol

- les niches d'arrachement



Figure III.1 : Niche d'arrachement et arbres basculés a cause d'un glissement de terrain a tizirt.

Source : djerbal lynda, janvier 2014

- niche d'arrachement, bombement et fissures dans le sol



Figure III.2 : dégradation remarquable suite à l'activation d'un glissement de terrain à azazga. Source: djerbal lynda, mars 2012

- bombement et dégradation du trottoir



Figure III.3 : bombement sur le trottoir près du centre culturel à azazga
Source: djerbal lynda, mars 2012

- les bourrelets



Figure III.4 : Bourrelets frontaux d'un glissement rotationnel étendu (Estavannens, Préalpes fribourgeoises).

- les zones de rétention d'eau



Figure III.5 : Zone de rétention d'eau au Villard des Douibes en 2003.
Source BRGM

II.2 Les affaissements et les effondrements

Ces phénomènes sont liés à la présence de cavités souterraines d'origine naturelle (phénomène de dissolution ou de suffosion) ou anthropique (exploitation souterraine...).

- **Les affaissements** sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture.



Figure III.6 : Affaissement au niveau de la route à azazga
Source: djerbal lynda, mars 2012.



Figure III.7 : dégradation et Affaissement de la route à tizirt. Source: djerbal lynda janvier 2014

- **Les effondrements** résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture. Ce phénomène peut être ponctuel ou généralisé et dans cela peut concerner des superficies de plusieurs hectares. S'il est ponctuel, il se traduit par la création de **fontis** plus ou moins importants, dont le diamètre est généralement inférieur à cinquante mètres.

Il existe deux phénomènes naturels pouvant créer des cavités :
la karstification et la suffosion.

- **La karstification** est le phénomène de dissolution des **calcaires**, du **gypse** ou du **sel** par des eaux chargées en dioxyde de carbone. L'intensité de ce phénomène s'accroît en fonction de la

quantité d'eau, de sa teneur en dioxyde de carbone et de sa basse température. En effet, plus une eau est froide plus la teneur en gaz dissout peut y être élevée et ainsi rendre cette eau plus acide. Ce phénomène permet la mise en place de faciès particuliers que l'on retrouve dans la partie souterraine (endokarst) sous forme de gouffres, grottes ou galeries, et à la surface (exokarst) sous forme de dolines, aven (gouffre) ou lapiaz.

- **La suffosion** est un phénomène mécanique. Elle correspond à l'érosion interne générée par des circulations d'eaux souterraines. Dans les formations sédimentaires meubles, des écoulements d'eaux souterraines peuvent dans certains cas provoquer l'entraînement des particules les plus fines (sables fins et silts). Ce transport de matériaux engendre des instabilités et favorise le développement de vides pouvant parfois atteindre plusieurs mètres cubes. Les matériaux entraînés sont évacués soit par les fissures ouvertes d'un horizon rocheux proche, soit dans une cavité voisine (vide karstique, cave, ouvrage d'assainissement, etc.)

II.3 Le phénomène de fontis

On appelle **fontis** un effondrement localisé de la surface du sol résultant de la remontée d'un éboulement prenant naissance au sein d'une excavation souterraine. Lorsque la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs et résistants au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface. Si l'espace disponible au sein des vieux travaux est suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par « auto-comblement », la voûte peut atteindre la surface du sol.

Les dimensions des fontis varient fortement d'un site à l'autre, en fonction notamment de la dimension des galeries sous-jacentes, de la profondeur d'exploitation ainsi que de la nature des terrains de recouvrement et, en particulier, des terrains de sub-surface. En fonction de ce dernier paramètre, les parois du cratère peuvent, au moment de l'effondrement, être subverticales ou inclinées, donnant ainsi naissance à une forme caractéristique d'entonnoir.

Le diamètre « classique » des fontis varie généralement de quelques mètres à une quinzaine de mètres même si, dans des configurations exceptionnelles, il peut dépasser la cinquantaine de mètres. La profondeur du cratère dépend, quant à elle, principalement de la profondeur et des dimensions des travaux souterrains.

Elle peut atteindre une dizaine de mètres même si, dans la majorité des cas, elle se limite à quelques mètres.



Figure III.8 : fontis dans un champ. Source : **Philippe Lamy**

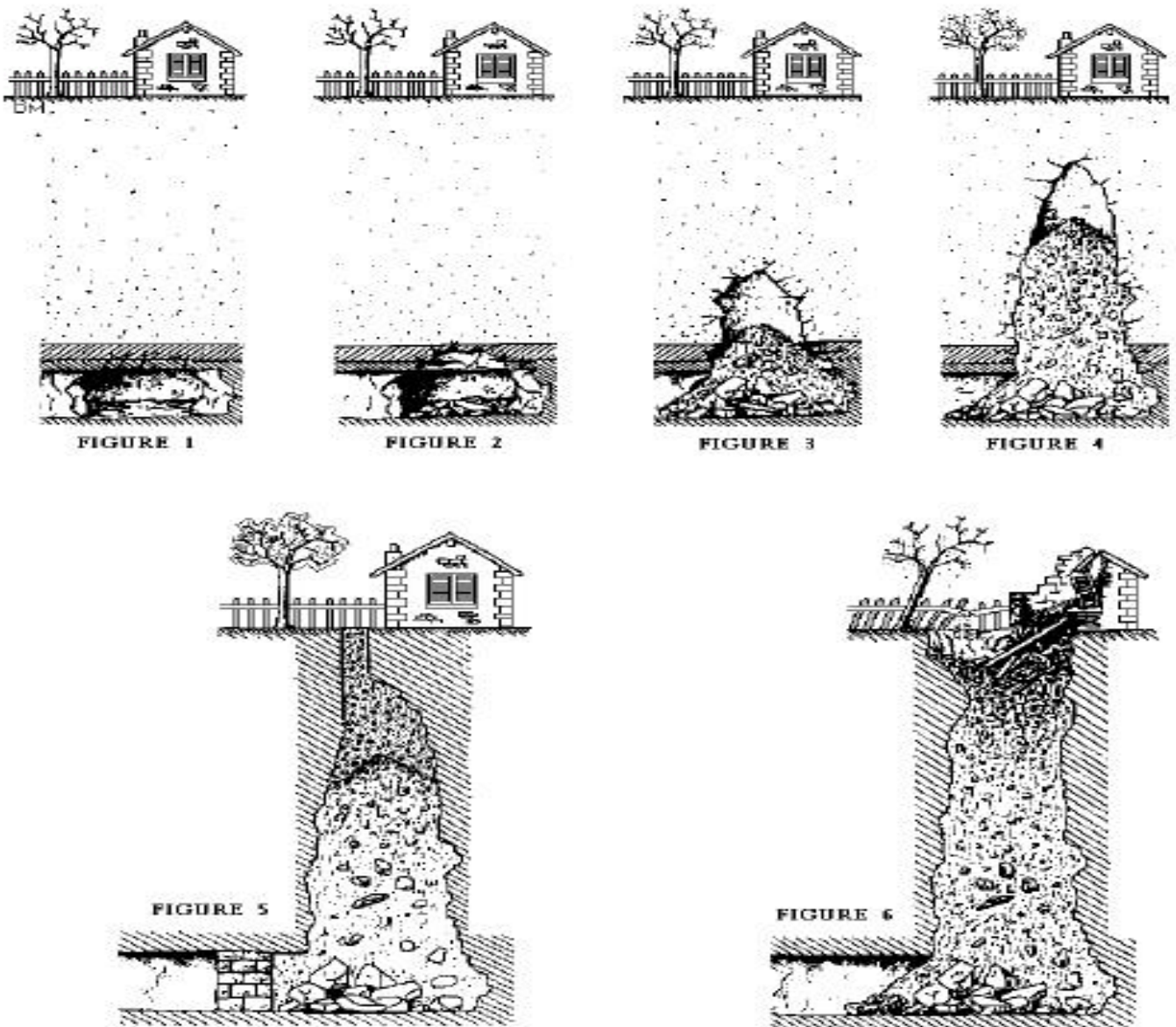


Figure III.9 : Mécanisme d'un fontis

Sur les bâtiments, l'apparition d'un fontis se traduit par la perte de sol de fondation. Si le bâtiment n'a pas de structure rigide des fondations, les murs porteurs cassent entraînant la ruine de tout ou une partie du bâti, en fonction de la taille du fontis et du point de survenance du phénomène.

II.4 Les éboulements

Le danger d'éboulement rocheux en un point donné résulte de deux processus distincts : le détachement d'une masse rocheuse (rupture locale du versant), et la propagation de cette masse sur la pente.

Ils sont des mouvements rapides et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines...etc. Ces chutes se produisent par basculement, rupture de pied, glissement banc sur banc, à partir de falaises, escarpements rocheux, formations meubles à blocs, blocs provisoirement immobilisés dans une pente.

Les distances parcourues sont fonction de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la pente du versant, de la nature du sol, et de la densité de la végétation.

II.5. Le retrait-gonflement des argiles

Il se manifeste dans les sols argileux et est lié aux variations en eau du terrain. Lors des périodes de sécheresse, le manque d'eau entraîne un tassement irrégulier du sol en surface : on parle de retrait. À l'inverse, un nouvel apport d'eau dans ces terrains produit un phénomène de gonflement.

III. Conclusion

Les glissements de terrain comptent parmi les risques géologiques les plus importants ils ont des conséquences sur les ouvrages et le sol (allant de la dégradation à la ruine totale).

I. Introduction

Les glissements de terrain sont parmi les phénomènes géodynamiques les plus fréquents et souvent les plus graves à la surface de la terre. Ils provoquent des déformations à l'intérieur comme à l'extérieur de la croûte terrestre et se produisent dans des circonstances très variées, affectant les ouvrages construits par l'homme (déblais et remblais) ou tout simplement, des pentes naturelles.

Le glissement de terrain est parfois très destructeur, Les victimes humaines directes sont pour la plupart concernées par l'effondrement des bâtiments, et les dommages matériels dépendent de l'amplitude et la durée de ce phénomène.

Il peut s'agir de détérioration des structures (fissurations) ou de destruction (écroulements des bâtiments) dégradation des infrastructures (ponts, routes, voies ferrés,...etc.) Ruptures des conduites d'eau, de gaz, et d'assainissement.

Dans ce quatrième chapitre, avant de procéder à la présentation des dommages causés par un glissement de terrain, la première partie consiste à présenter les critères de vulnérabilité du bâtiment et à prendre connaissance des méthodes d'évaluation de cet aléa.

II. Vulnérabilité des bâtiments au glissement De Terrain

En général, le glissement de terrain se caractérise d'une part par sa variation dans le temps et dans l'espace, il est fonction non seulement de la zone de mouvement et de la densité de la population, mais aussi du développement économique et des moyens pour résister à cette crise.

La vulnérabilité constitue l'instrument de mesure des conséquences dommageables éventuelles, en cas de réalisation d'un évènement aléatoire. Elle peut être utilement comparée au coût des mesures de prévention, afin d'en vérifier l'opportunité économique. Pour en déterminer la valeur, il est nécessaire :

-d'évaluer les différents éléments physiques et humains soumis à l'aléa,

- de connaître, pour chacun de ces éléments, un niveau d'endommagement (ou de "dangerosité") correspondant à une intensité de référence du phénomène aléatoire.

II.1. Approche de la vulnérabilité

II. 1.1 Définition

La littérature scientifique propose de nombreuses définitions de la vulnérabilité, dont Y.Manche (1997) définit la vulnérabilité comme: « *une grandeur qui pouvait être évaluée par le niveau constaté ou potentiel d'endommagement d'un élément exposé donné soumis à l'action d'un phénomène déclaré ou pressenti d'intensité donnée,*

donc elle exprime le niveau de conséquence prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux ».

Les Nations Unies IDNDR (1993), définissent la vulnérabilité comme étant : « *un degré de pertes potentielles de 0 à 1 résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des dommages* », donc la vulnérabilité est le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.

Et Dans le guide général du Plan de prévention du risque (PPR) (MATE/METL) la vulnérabilité est le niveau de conséquence prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.

Donc on peut définir la vulnérabilité en tant que " propension à l'endommagement, ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnés ». **Frederic leone & Freddy vinet**

Elle dépend des caractéristiques physiques et géométriques des bâtiments, et elle représente le comportement intrinsèque de la structure vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain.

II.2. Les différents types de vulnérabilité

Il existe deux types de vulnérabilité qui sont comme suit :

II.2.1 La vulnérabilité directe

Elle est définie à partir des constructions occupant un territoire donnée, décrite en termes spatial et fonctionnel à usage d'habitation, établissement recevant du public, elle doit aussi être décrite en termes de densité et de types d'occupation.

II.2.2 La vulnérabilité indirecte

Tout ce qui concerne les axes de communication, c'est un facteur important de la vulnérabilité indirecte.

En effet les réseaux de la communication sont prépondérants dans le fonctionnement d'un territoire, dont la géographie d'un espace est faite de lieux d'aires et de réseaux (Y.Manche 2002).

II.3. Approche analytique ou synthétique de la vulnérabilité

Une approche analytique envisagera la vulnérabilité par nature d'enjeux et

On définit trois grandes familles d'éléments exposés, susceptibles d'être endommagés qui sont : les biens physiques, les personnes et les activités aux fonctions diverses.

- Structurelle : pour les infrastructures physiques (bâti, réseaux physiques, ouvrages d'arts, etc.) ;
- Corporelle : pour les personnes physiques (dommages corporels) ;
- Fonctionnelle : pour les fonctions et activités diverses (économiques notamment) supportés par les éléments précédents.

II.3.1 La vulnérabilité d'un bien structurel

Elle est fonction de l'intensité d'un phénomène donné et de la sensibilité de ce bien. C'est majoritairement le bâti qui est concerné et en particulier au regard des glissements de terrain.

La détermination des degrés d'endommagement nécessite la combinaison de trois types de facteurs:

- la typologie des constructions exposées au glissement,
- la nature des glissements,
- l'intensité de ces glissements.

L'objectif de ces études est de déterminer les fragilités techniques des bâtiments ou infrastructures face au risque glissement de terrain afin d'en diminuer la vulnérabilité ou celle de leurs occupants en cas de sinistre.

II.3.2 La vulnérabilité d'une personne (corporelle)

Elle est fonction également de l'intensité du phénomène et de facteurs de sensibilité intrinsèques et extrinsèques.

La vulnérabilité corporelle est prise en compte surtout dans le cadre des scénarios mouvement de terrain dont le but est aussi d'estimer les pertes humaines potentielles en fonction du niveau d'endommagement du bâti (vulnérabilité structurel).

Remarque

Les mouvements lents, du type affaissement progressif, glissement, fluage ou **ravinement** n'induisent généralement aucun risque humain (sauf conséquences secondaires) quelque soit leur intensité.

Niveau	Gravité	Préjudices Humains	INT	Nature Des Mouvements
H ₀	Très faible	Accident très improbable (sauf conséquences induites)	1 a 4 (a)	-Glissement classique, fluage, tassement, ... etc.
H ₁	Moyenne	Accident isolé	1 (b)	-chute de pierres ou de blocs isolés
H ₂	Forte	Quelques victimes	2 (b)	-Chute de blocs (Savoie avr 1986, 4 morts) -Eboulement rocheux en masse. -Glissement (Lyon, juil. 1977, 3 morts) -Effondrement poncture de carrière.
H ₃	Majeure	Catastrophe majeure (quelques dizaines de victimes)	3 Et 4 (b)	-Eroulement ou glissement catastrophique $\geq 1.106 \text{ m}^3$. -Laves torrentielles ou coulées de débris (plateau d'Assy 1970, 71 Morts) -Effondrement généralisé de mine ou carrière (Clamart 1961, 21 Morts)

Tableau IV.1 : Echelle de gravité des phénomènes (au plan humain),
source : marcel toulemont 1990

a : mouvements à dynamique lente

b : mouvement à dynamique rapide

INT : intensité des phénomènes

II.3.3 La vulnérabilité fonctionnelle

Elle dépend du niveau d'endommagement des biens et des personnes et des fonctions secondaires assurant l'activité en question.

Elle dépend également de la capacité de la société sinistrée à restaurer cette activité.

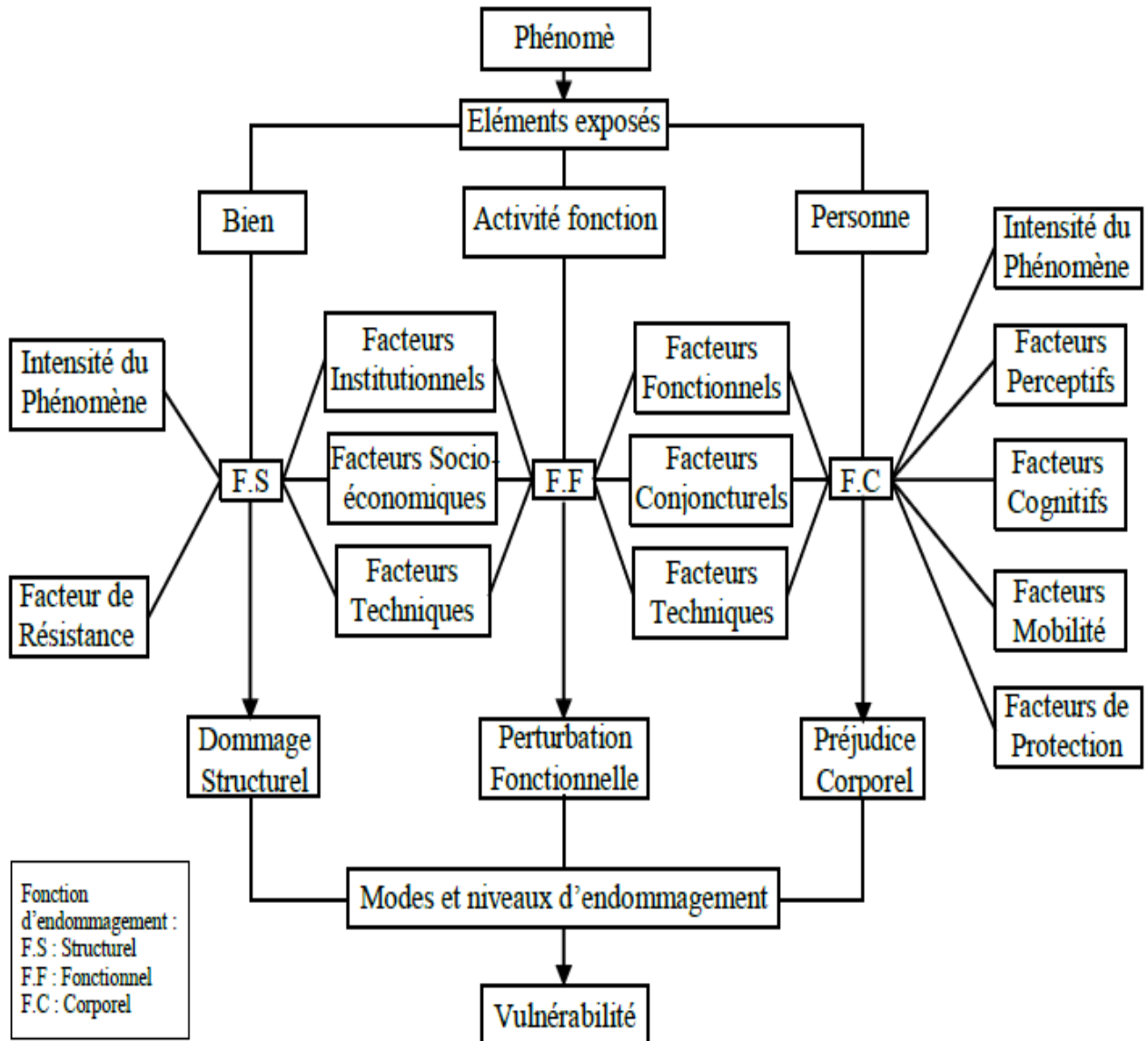


Figure IV. 1 : Les Composants de la vulnérabilité.

Source : Frédéric LEONE, M. Jean-Pierre Asté, M. Eric Leroi, 1996.

III. CRITERES DE VULNERABILITE :

Afin de déterminer les bâtiments et les structures les plus vulnérables vis-à-vis du glissement de terrain au niveau d'une région, ou d'une ville, une méthode, permettant la compréhension et la maîtrise des critères de vulnérabilité est nécessaire. Elle permettra d'évaluer la vulnérabilité du bâti existant. La méthode de vulnérabilité sera divisée en deux étapes faisant intervenir différents critères de vulnérabilité. La première concernera la typologie des bâtiments, la seconde sera plus technique et prendra en compte les concepts structuraux, nécessitant l'avis d'expert afin de bien noter les bâtiments à étudier.

III.1. Première étape : Typologie du bâtiment

En général, une typologie de bâtiment est une classification selon des caractéristiques techniques de ce bâtiment.

Dans le début de diagnostic d'un bâtiment, il faut en premier lieu commencer par connaître sa structure, les types de matériaux utilisés (béton armé, charpente métallique ou en maçonnerie), l'année de construction ainsi que l'état d'entretien de ces matériaux et enfin sa hauteur.

III.2. Deuxième étape : Implantation et Structure

III.2.1. Implantation du bâtiment

Les facteurs essentiels à prendre en compte sont la pente générale du terrain et son chargement.

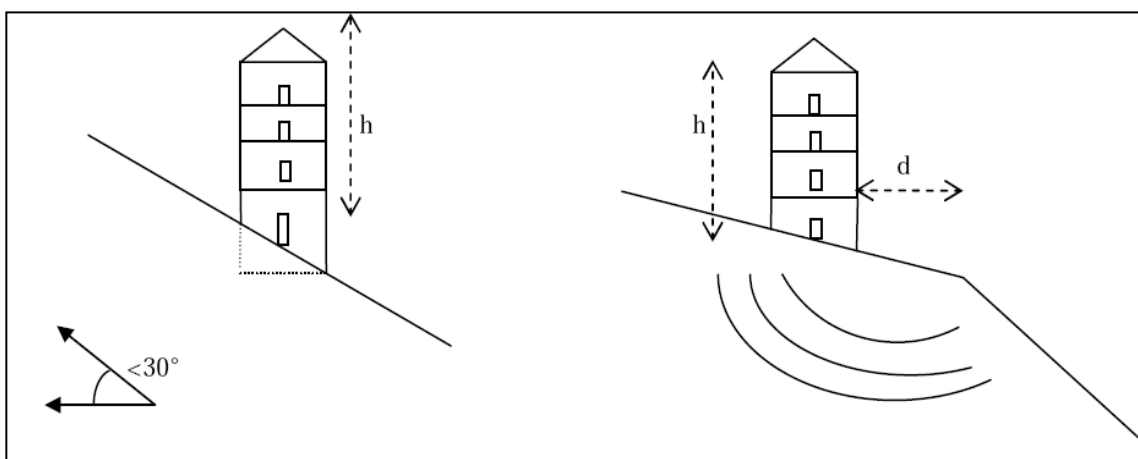


Figure IV.2 : La localisation et l'implantation du bâtiment par rapport à la pente.

Source: GARCIA JEAN-FRANÇOIS .2007.

Les terrains en pente sont soumis à de nombreux phénomènes naturels, tels que : les glissements de terrain.

Le sens du bâtiment peut être parallèle ou perpendiculaire aux courbes de niveau. Dans le cas d'une construction perpendiculaire aux courbes de niveau, l'influence du ruissellement et d'accumulation de neige seront moindres, par rapport aux bâtiments parallèles,

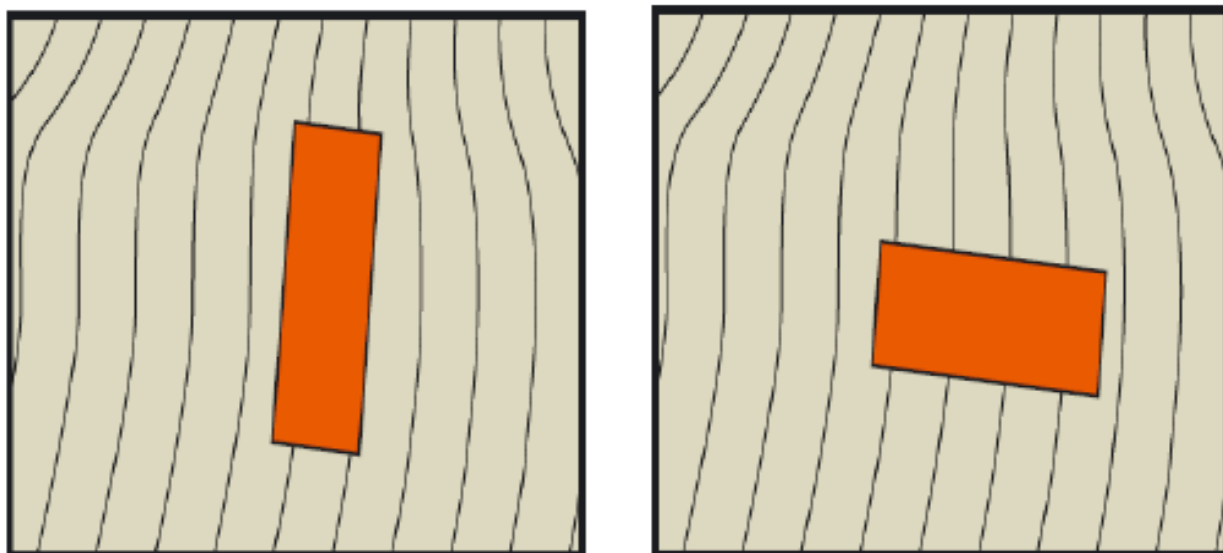


Figure IV. 3 : Disposition des bâtiments par rapport au sens de la pente.

Source : Habiter en montagne aujourd'hui.

[Http : //www.habiter-ici.com/IMG/PDF/fiche_pratique_02_pente.PDF](http://www.habiter-ici.com/IMG/PDF/fiche_pratique_02_pente.PDF)

III.2.2 Configuration du bâtiment en plan et élévation

III.2.2.1 Configuration du bâtiment en plan

La structure du bâtiment doit être disposée en plan de manière approximativement symétrique par rapport à deux directions perpendiculaires du bâtiment.

La configuration en plan doit être compacte en respectant les dimensions recommandées entre les éléments structuraux.



Les formes rectangulaires apparaissent comme étant des formes intéressantes d'où il faut éviter les formes trop élancées. Les parties en décrochage sont des facteurs favorisant les torsions en plan, car elles provoquent une concentration de contraintes au niveau de l'angle droit de décrochage.

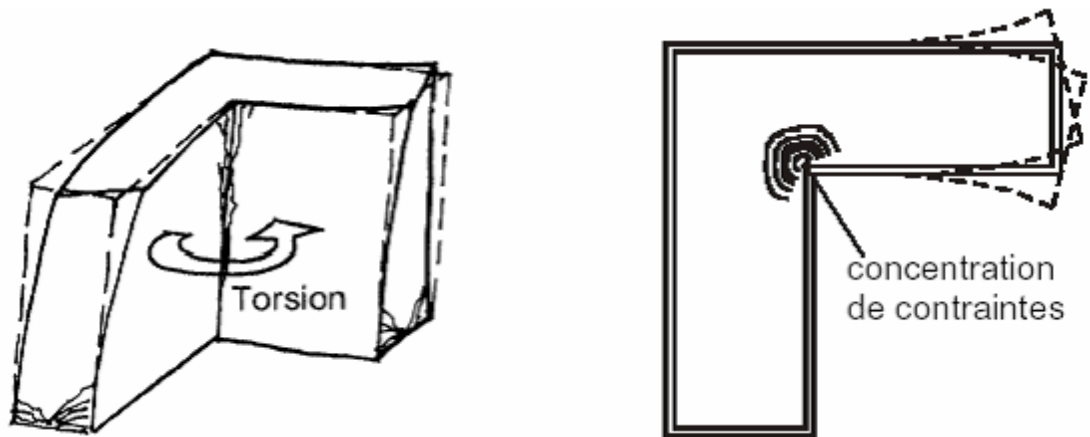


Figure IV. 4 : La torsion dans l'angle de décrochage.
Source: GARCIA JEAN-FRANÇOIS ; 2007.

III.2.2.2 Configuration du bâtiment en élévation

Tous les porteurs verticaux doivent être continus de la fondation jusqu'à la toiture.

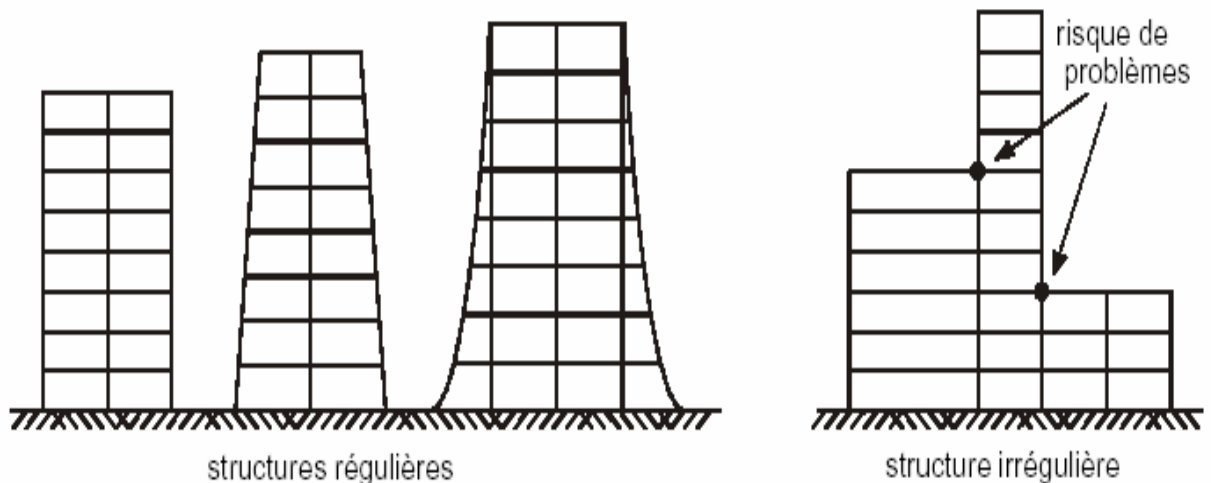
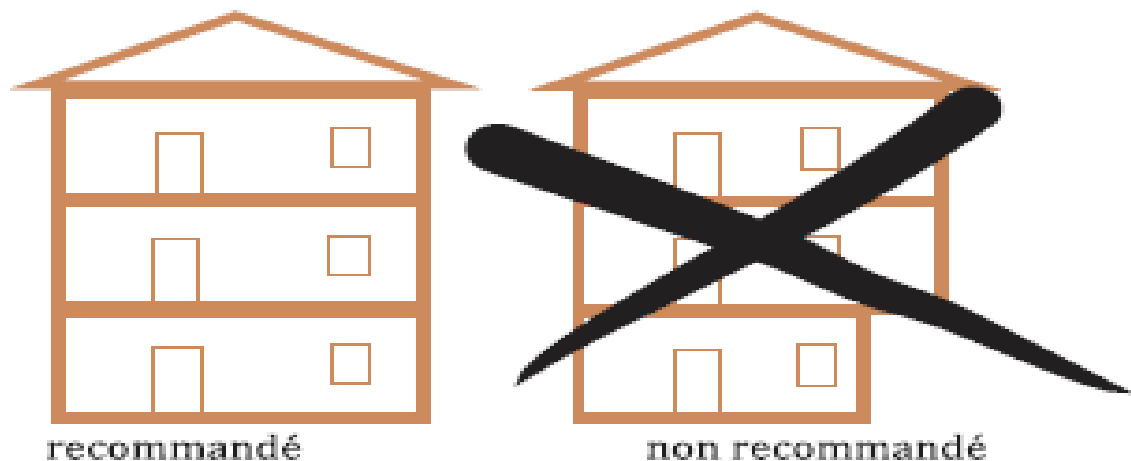


Figure IV. 5 : Les problèmes d'irrégularité des structures.
Source: GARCIA JEAN-FRANÇOIS ; 2007.



III.2.3. Les effets des bâtiments avoisinants

Il s'agit d'indiquer la présence ou non d'un joint de dilatation, la qualité de ce joint, entre le bâtiment diagnostiqué et les bâtiments avoisinants.

Les constructions accolées sont possibles si elles sont liées structurellement entre elles. Dans le cas contraire, une distance minimale égale à la hauteur de la plus grande est à ménager entre les constructions

III.2.4. Eléments non structuraux

Les éléments non structuraux des bâtiments (par exemple: cheminées, panneaux de façade, corniches, vitrages, climatiseurs, cloisons, etc.) peuvent, en cas de chute, exposer les occupants à des risques. Ils peuvent également affecter les structures principales et par la suite la stabilité du bâtiment.

Ils doivent donc faire l'objet de précautions particulières visant à éliminer les risques cités.

III.2.5. Définitions des critères de structure

III.2.5.1 la structure porteuse

La conception et le choix des détails constructifs de la structure porteuse (murs, poteaux, dalles) joue un rôle déterminant dans la tenue des bâtiments (comportement avant la rupture) et leur vulnérabilité face aux glissements de terrain (sensibilité à l'endommagement).

Donc il faut vérifier la continuité des éléments porteurs verticaux et constater qu'ils transmettent directement les efforts qu'ils reprennent jusqu'aux fondations.

III.2.5.2 Présence de niveaux " souples "

Lorsqu'un niveau possède une rigidité horizontale inférieure à celle des autres niveaux, lors d'un mouvement de terrain, il subit des déformations importantes, souvent fatales à la construction car elles conduisent à la rupture des poteaux et à l'écrasement du niveau.

Les niveaux transparents (vitrée) sont très fortement déconseillés dans les zones en mouvement car ils peuvent constituer un niveau à très grande flexibilité, les déformations (déplacements) se concentrent dans ces zones, l'effondrement du bâtiment est rendu fortement inévitable.

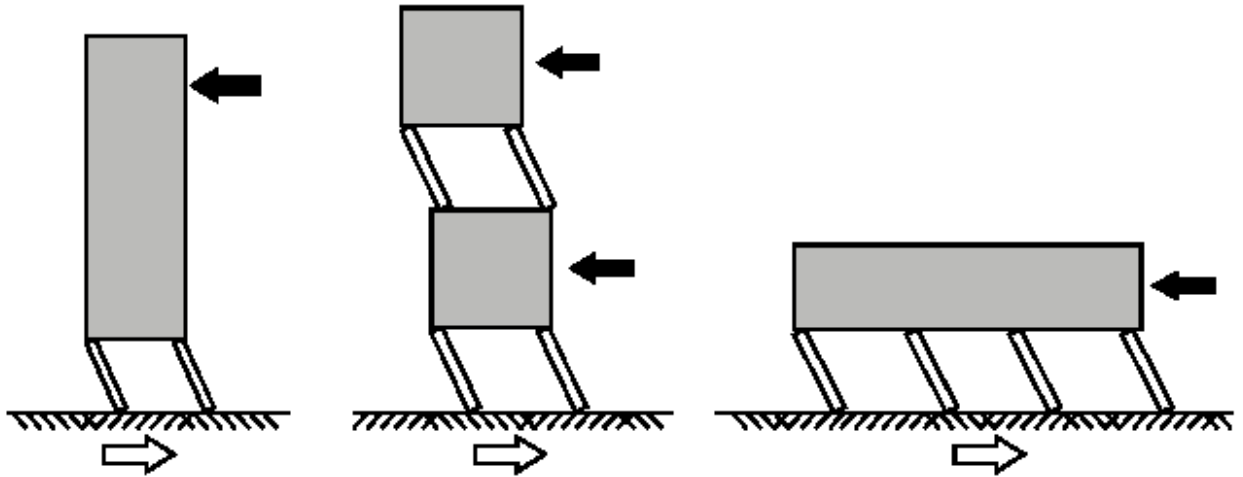


Figure IV. 6: Rupture des poteaux d'un niveau « souple ».

Source : GARCIA JEAN-FRANÇOIS ; 2007.

III.2.6. Sol très mou ou hétérogène

Lorsque les bâtiments sont fondés sur des sols hétérogènes ou de faibles caractéristiques, on observe, que les dommages par le glissement de terrain aux bâtiments sont particulièrement élevés. D'une part, ces sols subissent des mouvements plus importants que les sols fermes et d'autre part, ils donnent souvent lieu à des tassements différentiels non négligeables.

III.2.7. Les méfaits de l'eau

Si un ouvrage a été construit sans savoir le niveau de la nappe phréatique :

- Celles-ci peuvent envahir les sous-sols, en démolissant les dallages trop imperméables par effet de sous pression.
- Elles imprègnent le sol de fondation, détériorant parfois sa force portante et provoquent ainsi des tassements anarchiques.
- Aussi, l'eau de pluie ruisselle sur les pentes et s'infiltré plus ou moins lentement suivant la perméabilité des couches superficielles. On lutte efficacement contre les eaux de ruissellement par un circuit de drainage, à la condition qu'il fonctionne tant tout au long de son parcours qu'à son exutoire.
- Les argiles ont la propriété de pouvoir renfermer des quantités d'eau appréciables qui ont pour effet de modifier leur force portante, mais aussi certaines peuvent gonfler. La dessiccation produit l'effet inverse et peut conduire à des tassements.

IV. LES METHODES D'EVALUATION DU RISQUE GLISSEMENT DE TERRAIN

Il existe différentes approches et méthodes d'évaluation des vulnérabilités aux menaces naturelles, en particulier aux différents types de glissements de terrain.

Deux grandes approches complémentaires sont disponibles: rétrospectives et prospectives.

L'approche rétrospective s'inscrit dans le cadre de retour d'expérience tandis que l'approche prospective est inhérente aux procédures d'évaluation des risques encourus. La première approche complète la seconde lors de l'étude de vulnérabilité, (scénarios d'endommagement, de pertes ou de gestion de crise)

Pour chacune de ces deux grandes approches, qui nous renseignent respectivement sur l'endommagement déclaré, il apparaît que la vulnérabilité peut être évaluée de manière quantitative ou qualitative :

- Soit à travers la sensibilité à l'endommagement ;
- Soit à travers la caractérisation de l'endommagement ;
- Soit à travers la capacité de réponse à l'endommagement.

L'évaluation de la sensibilité à l'endommagement repose généralement sur l'analyse de facteurs intrinsèques ou extrinsèques à l'élément vulnérable et qui peuvent agir soit directement, soit indirectement. Ces facteurs constituent des causes de vulnérabilité pouvant être quantifiés au moyen d'indicateurs (socio-économiques par exemple) ou bien appréciés qualitativement par le biais de diagnostics et d'enquêtes, puis éventuellement pondérés. Cette approche s'inscrit le plus souvent dans une démarche d'évaluation des risques, donc prospective (en cartographie des risques par exemple).

La caractérisation de l'endommagement se traduit par une appréciation des dommages. C'est l'objet même des constats d'endommagement qui peuvent prendre l'aspect de simples descriptions ou bien de quantifications poussées (bilans). Dans le cadre des approches prospectives (scénarios), la caractérisation de l'endommagement revêt un caractère le plus souvent quantitatif de mesure et de prévision des dommages ou des pertes potentielles. La vulnérabilité y est alors exprimée :

- ✚ soit par un taux (coefficient) d'endommagement potentiel (0-1) renvoyant à une échelle d'intensité des dommages (échelles de vulnérabilité) et qui est calculé par rapport à la valeur économique de remplacement (vénale) de l'élément exposé (fonction d'endommagement ou de vulnérabilité). Chaque taux est en général accompagné d'une description des modalités d'endommagement. (Ex. : un taux d'endommagement de 0,1 correspond à un montant économique des dommages équivalents à 10% de la valeur marchande

d'une habitation donnée. Cela peut correspondre à des dégâts structurels légers).

- ✚ soit par un taux de pertes potentielles et relatives (0-100 %) s'appliquant à un stock d'éléments exposés de même nature susceptible d'être affectés par un même taux d'endommagement potentiel (fonction de pertes).

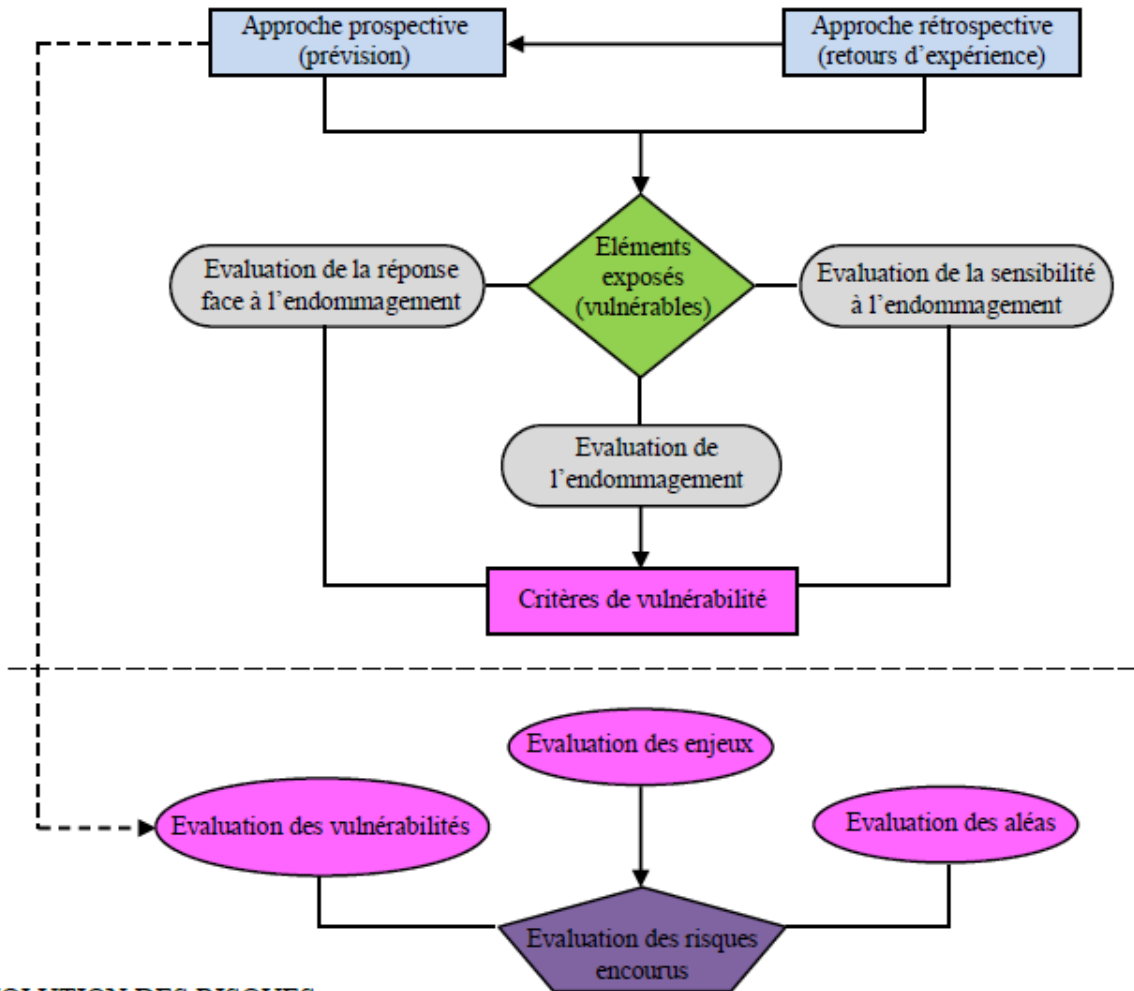
(Ex. : un taux de pertes de 20% correspond à la proportion du bâti concerné par un taux d'endommagement donné).

Le risque correspond alors à l'espérance mathématique du dommage ou des pertes (suivant le type de taux retenu) et son expression analytique est basée sur le produit de la composante temporelle de l'aléa (probabilité d'occurrence), des valeurs des enjeux et de la mesure de leur vulnérabilité (les taux en question). Il va de soi que ces taux d'endommagement ou de pertes dépendent de la nature des éléments exposés (leur résistance ou leur résilience) et de la magnitude des phénomènes naturels impliqués (de leurs effets). Ils sont donnés dans le meilleur des cas par des fonctions dites d'endommagement (de vulnérabilité) ou de pertes (Leone, 1996).

L'évaluation de la capacité de réponse face à l'endommagement passe généralement par l'analyse de l'efficacité des actions et moyens mis en œuvre pour réduire les dommages. Elle s'inscrit donc plutôt dans le cadre de retour d'expérience et est particulièrement adaptée à l'analyse des systèmes et des organisations (institutions) en intégrant à la fois les facteurs aggravant et ceux au contraire limitant la vulnérabilité (analyses de type forces/faiblesses d'un système).

On peut cependant chercher à évaluer la capacité de réponse future d'un système dans le cadre de scénarios de gestion de crise basés sur un diagnostic (approche prospective dans ce cas-là).

EVOLUTION DES VULNERABILITES



EVOLUTION DES RISQUES

	Rétrospective (déclaré)	Prospective (potentiel)
Sensibilité à l'endommagement		Diagnostics de vulnérabilité
Réponse à l'endommagement	Constats d'endommagement	Scénarii de gestion de crise
Caractérisation de l'endommagement	Retours d'expérience	Scénarii d'endommagement

Figure IV. 7 : Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités. Source : Frédéric LEONE & Freddy VINET.

IV.1 Les Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Il n'existe pas de modèle spécifique pour l'évaluation de la vulnérabilité. La plupart du temps, il s'agit d'études de cas qui ne sont pas généralisables. Actuellement l'évaluation de la vulnérabilité se fait par deux méthodes qui sont:

IV.1.1 La Méthode fonctionnelle

C'est la seule méthode véritablement opérationnelle développée par le **cemegref** de Lyon en France, elle concerne l'évaluation du risque d'inondation.

IV.1.2 La méthode d'endommagement

C'est une méthode quantitative issue du génie parasismique, elle se fonde sur l'élément vulnérable pour lequel il s'agit de mesurer les conséquences de la survenance d'un aléa donné (d'Ercole 1994).

La vulnérabilité des glissements de terrain, s'intéresse essentiellement à la fonction d'endommagement structurel et corporel, qui est très difficile à formaliser d'un point de vue analytique compte tenu de la complexité du phénomène, aussi elle intègre les dommages physiques directs et indirects.

L'utilisation de cette méthode permet de définir la capacité de résistance et le niveau d'endommagement d'un élément exposé, soumis à l'action d'un phénomène ressenti ou déclaré d'intensité donnée.

Elle est fréquemment utilisée par les experts de la direction d'urbanisme et de la construction ainsi que du CTC pour identifier le taux d'endommagements du cadre bâti par le risque du glissement de terrain et de l'état des constructions.

Cette matrice (tableau IV.2) permet de représenter le niveau d'endommagement en fonction du phénomène naturel et de l'enjeu.

Eléments Exposés	ID	Modes D'endommagement	D
Bâti			
Réseaux			
Surfaces Naturelles			
Sous- Eléments			
Personnes			
Fonctions			
<p>ID : échelle d'intensité des dommages D : taux de pertes (structurelles, corporelles et fonctionnelles).</p>			
I.	Dommages légères non-structurels (gros œuvre non-touchés). Stabilité non-affectée. Mobilier endommageable		0.01-0.1
II	Fissuration des murs, mais stabilité non-affectée. Réparations non-urgentes		0.2-0.3
III	Déformation importantes, lézardes largement ouvertes, fissuration des structures. Stabilité affectée. Portes et fenêtres inutilisables. Evacuation nécessaire.		0.4-0.6
IV	Fracturation des structures. Désolidarisation des parties. Effondrement partiel du plancher et brèches dans les murs. L'évacuation s'impose. La réhabilitation semble compromise		0.7-0.8
V	Effondrement partiel à total qui nécessite une évacuation du site et compromet toute réhabilitation.		0.9-1
<p>Tableau IV.2 : Echantillon de la typologie des modes d'endommagement des principaux éléments exposés aux mouvements de terrain. Exemple du bâti. Source : Frédéric LEONE, M. Jean-Pierre Asté , M. Eric Leroi,1996.</p>			

Chaque mode d'endommagement a été affecté d'un taux compris entre [0 et 1], ce taux exprime le degré de perte de l'élément affecté.

Lorsque les analyses pathologiques ont été suffisamment bien renseignées, ce taux peut être calculé ou estimé par apport à la valeur intrinsèque d'origine d'élément.

Les valeurs intrinsèques correspondent aux valeurs initiales des éléments exposés au glissement de terrain avant l'endommagement.

A chaque élément exposé structurel (bâti, réseaux, surfaces naturelles), on peut attribuer quatre types de valeur initiale unitaire qui sont:

- la valeur économique vénale (valeur marchande).
- la valeur économique d'usage.
- la valeur fonctionnelle.

- la valeur humaine.

L'application des matrices d'endommagement (structurelle, corporelle et fonctionnelle) permet de donner les correspondances, en termes de taux d'endommagement, entre éléments exposés et sollicitations apportées par le phénomène du mouvement de terrain.

		ELEMENTS EXPOSES				
		B	R	SN	SE	P
SOLLICITATIONS	DL	D				
	DV					
	IM					
	PL					
	ES					
	AC					
	AB					

B : bâti
R : réseaux
SN : surfaces naturelles
SE : sous-éléments
P : personnes hors bâti
D : taux de perte

		Types de bâti			
		B1	B2	B3	B4
Echelles d'intensité de DL	V1	0,3	0,2	0,1	
	V2	0,4	0,3	0,2	
	V3	0,6	0,5	0,4	0,3
	V4	1	0,9	0,8	0,7
	V5	1			

DL : déplacements à composante latérale
DV : déplacements à composante verticale
IM : effet d'impact
PL : poussée latérale
ES : effet de souffle
AC : accumulations
AB : ablations
V : vitesses latérales

Tableau IV.3 : Echantillon de matrice d'endommagement structurel. Source : Frédéric LEONE, M. Jean-Pierre Asté, M. Eric Leroi, 1996.

Enfin on peut dire que la méthode d'évaluation se définit dans un premier temps par la caractérisation des zones uniformément sollicitées de niveau d'intensité donné. Ensuite, en fonction de la nature des différents éléments structurels représentés, de leurs valeurs intrinsèques unitaires et des taux de pertes donnés par les matrices ; on peut calculer pour chaque zone sollicitée, les indices de pertes économiques (directe et indirecte), humaines et fonctionnelles susceptible d'apparaître en cas de manifestation du glissement de terrain.

IV. 2 Echelle des dommages

L'échelle des dommages utilisée par le HAZUS est constituée d'environ 4 niveaux, elle permet de classer et d'organiser les dommages des bâtiments.





Niveau de dommage		Description
	Léger	<ul style="list-style-type: none"> - Occurrence des petites fissures dans le plâtre, - Localisées aux coins des portes et fenêtres et à l'intersection plafond mur, - Des petites fissures dans les cheminées en maçonnerie et le placage sur maçonneries, - De petites fissures sont supposées être visibles avec une largeur maximale inférieure à 1/8 de pouce (les fissures supérieures à 1/8 pouce sont considérées comme des grandes fissures).
	Modéré	<ul style="list-style-type: none"> - Occurrence de grandes fissures dans le plâtre, aux coins des ouvertures, - Apparition des petites fissures diagonales dans les murs de cisaillement, - Larges fissures dans les cheminées de briques, - Renversement de hautes cheminées en maçonnerie.
	Sévère	<ul style="list-style-type: none"> -Des grosses fissures diagonales dans les murs de cisaillement ou -de grandes fissures aux joints des panneaux de contreplaqué, -Mouvements latéraux permanents d'étages et du toit, - Renversement de la plupart des cheminées de briques, - Fissures dans les fondations, - Rupture des seuils en bois et/ou de glissement de l'ouvrage sur ses fondations.
	Très sévère	<ul style="list-style-type: none"> - La structure peut subir de grands déplacements latéraux permanents, ou être en situation d'effondrement en raison de la défaillance des parois porteuses ou de la rupture du système de contreventement, - Certaines structures peuvent glisser et s'effondrer, - En moyenne, 3% de la superficie totale des bâtiments avec des dommages très sévères est effondré

Tableau IV.4 : Echelle des dommages des bâtiments par HAZUS

V. Exemples de dégradation du cadre bâti par le glissement de terrain

Cas des immeubles à ossature poteaux-poutres avec un remplissage en maçonnerie :

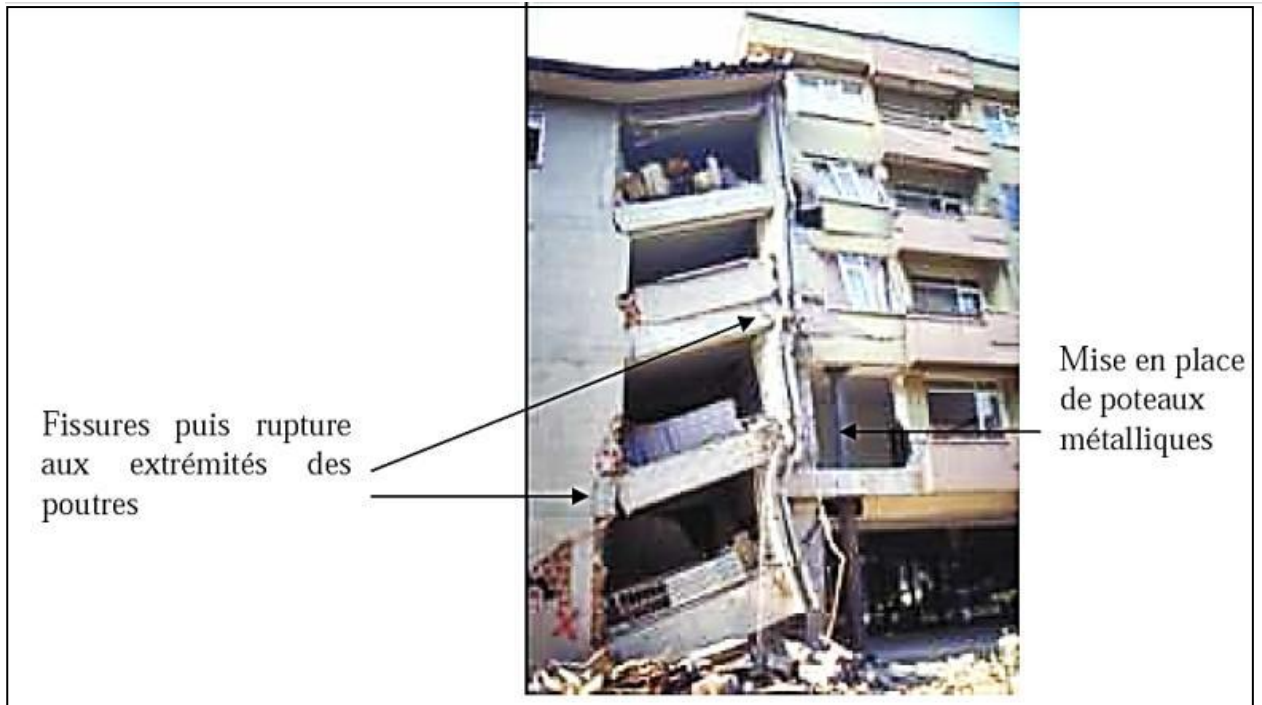


Figure IV. 8 : La destruction des éléments porteurs (poteaux ; poutres). Source : GARCIA JEAN-FRANÇOIS;2007.

Le mouvement de terrain a provoqué la fissuration des extrémités des poutres, et par la suite la rotation de celles-ci, provoquant de ce fait une rotation du plancher.



Figure IV.9 : Maison endommagée en pied de glissement de la Valantelle, à Marseille 2001. Source: www.brgm.fr

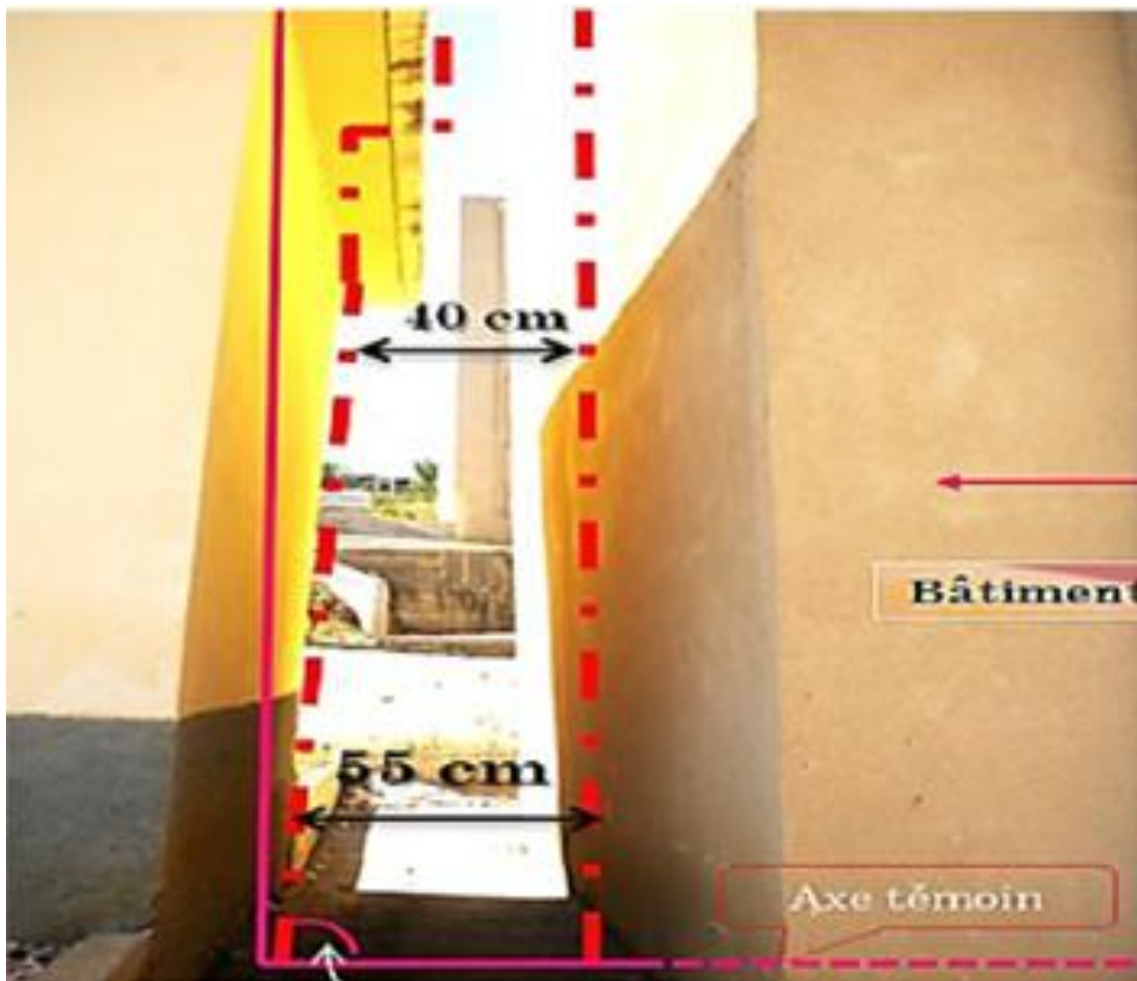


Figure IV.10 : Un basculement vers le Nord accompagné d'un étirement vers le côté Est.Cité 185logts; Mila.

Source: Faudhil Labiod – Géologue à Mila.2009



Figure IV.11 : Les fissurations aux niveaux des ouvertures (Le glissement de l'impassé Avalon). Source: Bureau des mines et de l'énergie direction de la géologie et des mines service des mines ; 2008

VI. Conclusion

On constate que plusieurs critères de construction peuvent jouer un rôle important dans la vulnérabilité face au risque glissement de terrain. L'évaluation de cette vulnérabilité au mouvement de terrain sur le bâti reste une opération difficile, à cause de la complexité du phénomène et nécessite en générale des diagnostics destructifs pour l'estimation quantitative et qualitative des destructions au niveau des éléments exposés au risque, tous cela à travers plusieurs approches dont on peut citer la méthode d'endommagement. Cette dernière est un outil de décision sur les éventuels renforcements à entreprendre.

Afin d'éviter tous ces dégâts matériels, il est indispensable de prévoir les solutions préventives adéquates ou du moins diminuer le degré de vulnérabilité du parc immobilier au risque glissement de terrain, qu'il soit au niveau du sol où au niveau du cadre bâti.

I. Introduction

Les problèmes d'instabilité de terrain ont deux causes principales :

- causes naturelles (topographique, géologique, météorologique),
- causes anthropiques: activités humaines telles que les travaux de terrassement ou déboisement.

Le glissement de terrain qui a marqué la région d'**Ain el hammam** a suscité le maximum d'attention, vu l'étendue et l'ampleur très importantes de ce mouvement.

Dans ce présent chapitre, nous allons étudier la nature des différentes dégradations du sol et du bâti qui affectent cette région, et plus précisément, cette étude est consacrée à la zone du glissement qui est la zone du marché et ses alentours.

II. Un aperçu sur le glissement de terrain d'Ain el hammam

Depuis les années 60, le glissement de terrains de la zone du marché a subi plusieurs phases de réactivation, et a causé divers dégâts dans le sol et le bâti.

En 1969 : les premiers signes d'instabilité ont commencé au mois de décembre, après de fortes pluies, les indices les plus visibles ont été localisés au Nord-Ouest de l'ancienne ville.

Après les années 1990 jusqu'à l'an 2001: des bâtiments (R+5) ont été construits le long du boulevard Colonel Amirouche, des instabilités de terrain avaient été signalées lors de la construction du bâtiment de la BDL où l'école située à l'amont a connu de sérieux désordres dans la structure et dans la maçonnerie.

De l'an 2001 jusqu'à l'an 2006: suite à plusieurs facteurs comme le séisme de 2003 et précipitations abondantes de l'hiver de 2004-2006 (la neige de 2005, forte pluie orageuse de 2006) les désordres réapparaissent et de nouvelles dégradations au niveau du sol et une fissuration de plusieurs bâtiments du boulevard colonel amirouche ont été constatées.

De l'an 2007 jusqu'à ce jour: Une étude géotechnique de glissement et de tassement a été engagée le 25/09/2007]. D'où certaines mesures d'urgence ont été prises.

De fortes pluies ont provoqué une réactivation du mouvement et les déplacements s'amplifient pour atteindre le maximum en mars et avril 2009.

Les désordres de cette période ont été de grande ampleur ce qui a provoqué la crainte d'un glissement brutal entraînant une destruction totale du quartier entre le marché et la rue.

Alors plusieurs immeubles ont été évacués et un ordre de démolition a été lancé en mai 2009 comme le montre la figure ci-dessous.



Figure V.1 : Démolition des structures. en mai 2009
source: thèse de kechidi zahia

III. Les dégradations du sol et du bâti à ain el hammam

III.1 Nature des dégradations du sol à Ain el Hammam

Le versant présente une pente importante avec un angle d'inclinaison de 30° à 60° , ce qui favorise l'apparition des instabilités.



Figure V.2 : la pente accentuée du terrain d'Ain el hammam

III.1.1 Les différentes instabilités qu'on a pu rencontrer dans la zone du glissement

- les affaissements de terrains (figure V- 3, figure V- 4, figure V- 5)
- escarpement (figure V-6)
- des bombements (figure V- 7, figure V- 8)
- fissuration du sol (figure V- 9)
- chute de rocher (figure V- 10, figure V-11)
- niche d'arrachement (figure V - 12)
- dégradation de la chaussée (figure V-13)
- dégradation de la chaussée, fissures et bombements (figure V - 14)
- rupture du mur de soutènement en gabion (Figure V - 15)
- jet anarchique des remblais (figure V.16)

- Les affaissements de terrains qui représentent des déplacements verticaux du sol :



Figure V.3 : affaissement du terrain à l'entrée du marché



Figure V.4 : affaissement important du terrain en dessous du marché



Figure V.5 : affaissement du terrain qui est à coté de la mosquée d'Ain el hammam



Figure V.6 : escarpement au niveau du mur de la menuiserie rue colonel amirouche



Figure V.7 : bombement remarquable au niveau du terrain du marché



Figure V.8 : bombement de terrain du marché



Figure V.9 : fissure dans le sol



Figure V.10 : apparition des rochers à cause du glissement de terrain à Ain el Hammam, terrain qui es en dessous de la ville.



Figure V.11 : chute de rocher. Terrain à coté du village "lazib ait sidi said "



Figure V.12 : niche d'arrachement et arbres basculés.
Terrain affecté par le glissement

➤ **les routes**

La route la plus touchée par le mouvement de versant est la RN 15 qui traverse le boulevard colonel Amirouche.

Elle montrait des signes de glissement : fissuration et affaissement.



Figure V.13 : dégradation et affaissement de la route

La route qui mène vers le village Lazib Ait Sidi Saïd est affectée par le mouvement et a généré la rupture et le cisaillement du gabion (Figure V-14, figure V-15), et un mouvement horizontal qui a décalé la partie cisillée.



Figure V.14 : dégradation de la chaussée, fissures et bombements route qui mène au village "lazib ait sidi said", mars 2014



Figure V. 15 : Affaissements des gabions bordant la route qui mène vers le village Lazib ait Sidi Saïd



Figure V.16 : jet anarchique des remblais.
Terrain qui se situe en dessous du marché, septembre 2014

III.2 Nature des dommages du bâti à Ain el Hammam

A côté des catastrophes naturelles qui ont ébranlé des villes algériennes ces dernières années,

Ain el hammam est également concerné par le phénomène du glissement de terrain.

➤ La fissuration des murs

La fissuration des murs est un phénomène courant dans les ouvrages. Ce type de désordre peut avoir des causes liées à l'environnement, à la conception et à l'exécution.

Les fissures sur les murs à cause du glissement de terrain s'amplifient au fur et à mesure que les longrines et les poteaux se disloquent.

On peut observer plusieurs types :

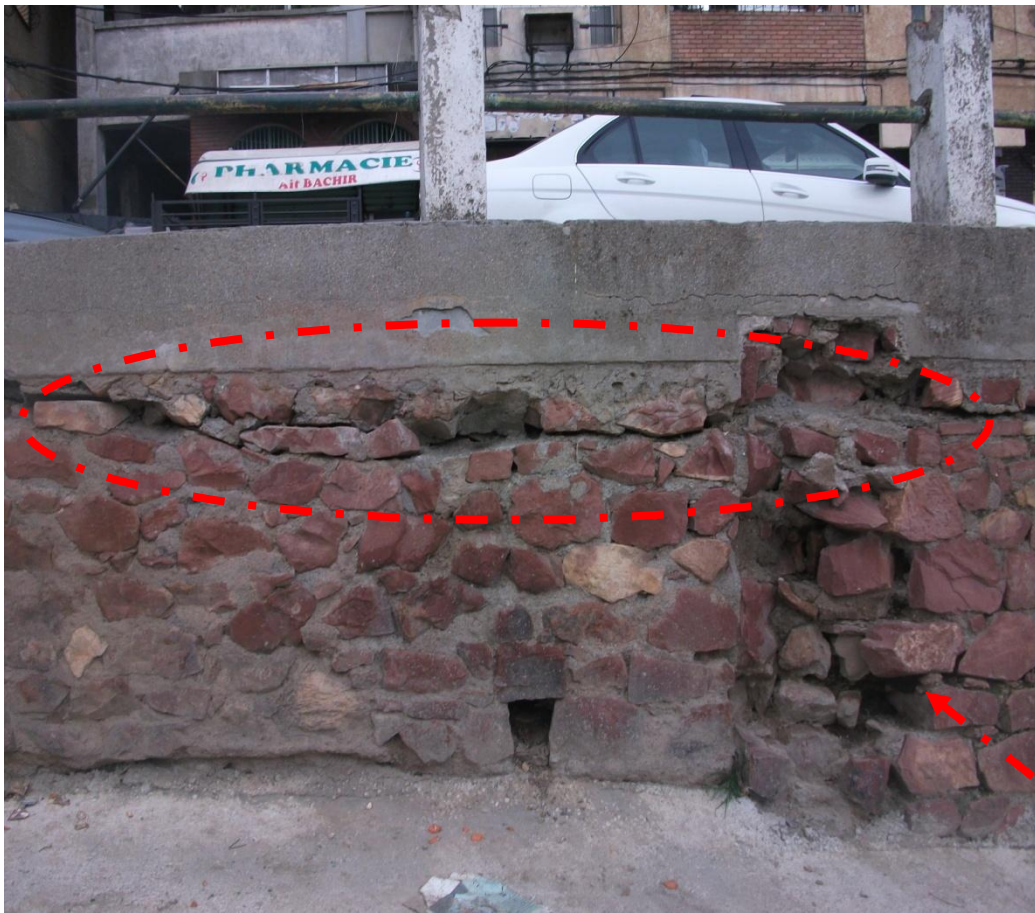


Figure V.17 : - fissuration du mur - " lézarde "
Rue colonel amirouch, mars 2014



Figure V.18 : Des microfissures verticales au niveau du mur du bâtiment de la cité du marché, mars 2014

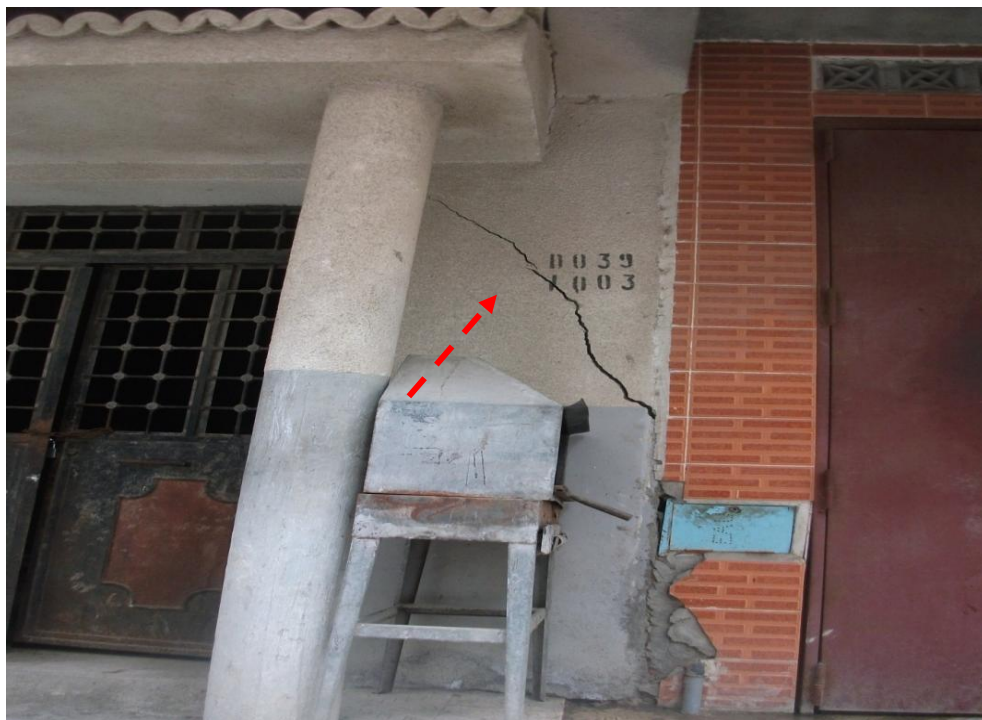


Figure V.19 : fissure oblique au niveau du mur du bâtiment.



Figure V.20 : rupture des longrines de la cage d'escalier de la cité 80 logts à Ain el hammam, 2014



Figure V.21: Des fissures obliques apparentes au niveau du mur de la zone du marché, mars 2014

➤ L'ouverture des joints de rupture

Les joints de jonctions entre deux unités formant un bloc sont complètement emportés et endommagés par le phénomène glissement de terrain. Les photos ci-après illustrent cet état de distorsion et d'étirement.

Un écartement du joints qui apparait, surtout sur la façade sud (du côté du marché). (Figure V.22)



Figure V.22 : écartement du joint de jonction entre les deux bâtiments de la cité du marché, mars 2014

➤ Basculement des blocs

Le basculement des blocs provoqué par l'instabilité de terrain a touché deux blocs avoisinant, comme on voit dans cette photo.



Figure V.23 : "basculement des blocs"
rue colonel amirouch 2014



Figure V.24 : rupture de joint de dilatation et basculement du bloc,
rue colonel amirouche, mars 2014

➤ **Fissuration dans les ouvertures**

Les bâtiments en R+4 de la rue colonel amirouche connaissent des dégradations importantes. Elles montrent des fissures parallèles faisant un angle de 45° par rapport à l'horizontale.



Figure V.25 : Des fissures apparentes au niveau des fenêtres " bâtiment de la cité du marché rue colonel amirouche d'Ain el hammam 2014"



Figure V.26: des fissures au niveau des ouvertures, bâtiment de la citée du marché rue colonel amirouche. mars 2014

Les ouvertures dans une façade constituent de nombreux points de vulnérabilité en cas de mouvement de terrain. Ces zones sont très souvent sujettes à des fissures importantes mettant en jeu la solidité de la structure.

➤ destruction des poutres



Figure V.27 : Déformation des poutres et apparition des armatures, la façade de derrière de la construction du marché 2014.

IV. Comportement du bâti d'Ain el hammam soumis au glissement de terrain

IV.1. Le facteur pente

Il existe une relation entre l'importance des pentes sur un versant donné et le déclenchement du mouvement de terrain sur ce dernier. L'accentuation de la pente favorise le phénomène de glissement de terrain.

Le versant concerné par le glissement de terrain, orienté Nord-Sud, présente des pentes de plus en plus raides en allant de l'amont vers l'aval du versant.

IV.1.1 Comportement du bâti vis-à-vis de la pente du terrain

Comme on'a déjà dit dans le "chapitre 2" l'affaissement du terrain a pour conséquence une inclinaison généralisée du bâtiment, que l'on ne peut pas négliger pour des valeurs de pentes élevées.

Et cette inclinaison engendre deux phénomènes : l'augmentation des contraintes de sol et la mise en traction des façades.

- la structure s'incline, ainsi la descente de charge s'en trouve modifiée. Les éléments porteurs de coté de l'inclinaison trouvent comprimés par rapport à ceux de l'autre coté.

Explication

L'inclinaison d'une charge verticale centrée a pour conséquence une redistribution des contraintes qui sont plus élevées en aval et plus faible en amont. Ceci peut engendrer un poinçonnement du sol qui va encore accroître l'inclinaison du bâtiment. La déformation et le basculement des bâtiments aussi le bombement des murs sont donc envisageables.



Figure V.28 : Mur de soutènement de la zone du marché.
Source djerbal lynda



Figure V.29: basculement de l'immeuble APC/CNEP (n° 14 et 15). avril 2009
source: Melle djerbal lynda

Le poids du bâtiment permet de maintenir les façades comprimées. Lorsque le bâtiment s'incline, les façades sont plus comprimées du côté de l'inclinaison et peuvent être soumises à des tractions du côté opposé.

Les façades n'étant pas dimensionnées pour supporter une traction généralisée, un risque d'effondrement peut apparaître.

IV.2. comportement du bâti

Lors de l'apparition des mouvements de terrain, les bâtis ou autres structures de surface sont en général affectés par des déplacements vertical et horizontal.

Le déplacement vertical (S_v) se produit généralement sous la forme d'une « cuvette d'affaissement ». Le déplacement vertical maximal ($S_{v,max}$) se trouve généralement au voisinage de centre de la cuvette, et l'extension de la cuvette est caractérisée par l'angle d'influence (γ). La dérivée des déplacements verticaux fournit la pente du terrain (p).

Le déplacement horizontal (S_h) se produit de manière que les points de la surface se déplacent vers le centre de la cuvette d'affaissement.

La déformation horizontale du terrain (ε_h) est le différentiel des déplacements horizontaux.

La déformation horizontale du sol et la courbure résultant de la dérivation de la pente sont parmi les causes principales des dommages des structures.

La courbure convexe est accompagnée par une déformation de traction (ε_{ht}), et par une déformation de compression (ε_{hc}) pour la courbure concave. La courbure convexe est séparée de la courbure concave par le point d'inflexion (i) où se trouve la pente maximale (p_{max}) et le déplacement horizontal du terrain (Sh, max).

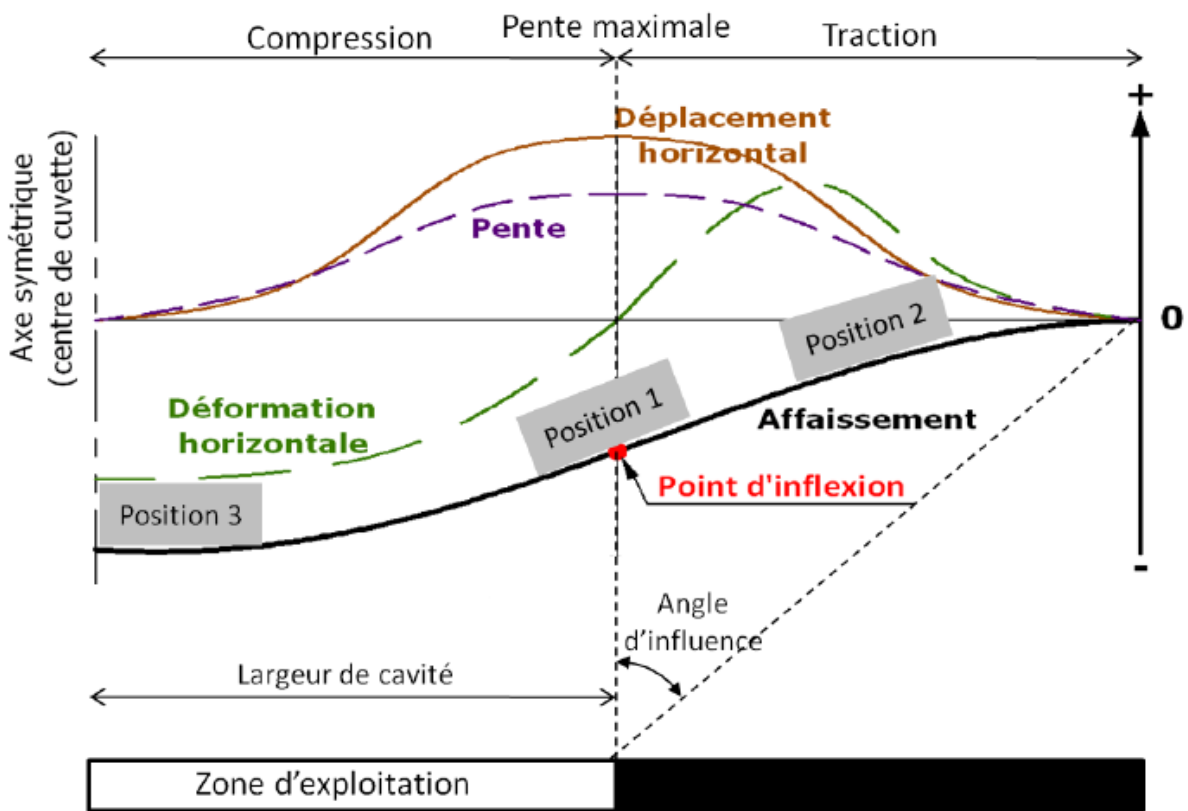


Figure V.30 : Caractéristiques d'une cuvette d'affaissement idéalisée induite par une excavation souterraine

Le bâti sous l'effet du mouvement de terrain peut être soumis à la traction ou à la compression ou bien à la traction et à la compression au même temps.

Les déformations de traction sont plus difficiles à gérer parce que presque tous les éléments du bâti sont moins résistants en extension qu'en compression.

Trois positions du bâti par rapport à la cuvette d'affaissement sont possibles (**Figure V.30**): le bâti se trouve entièrement dans la zone de compression (position 3) ou dans la zone de

traction (position 2) ; et le bâti est en pente maximale (position 1), il est donc à la fois soumis à la compression et à la traction. Les déformations de traction et de compression peuvent causer de dommage au bâti.

La distance entre le point d'inflexion et le centre de la cuvette est donc égale à largeur de cavité (W).

- ✚ La transmission des déformations du sol vers le bâti dépend donc de la configuration et du type de fondation ainsi que de son orientation par rapport à la cuvette d'affaissement. La transmission des déformations dépend également des propriétés du sol sous la fondation
- ✚ La déformation du terrain est susceptible d'engendrer des ruptures du terrain, associées à des phénomènes d'interaction sol-structure, en zone de compression et en zone de traction
- ✚ les dégradations provoquées par les déformations de traction du terrain sont verticales dans la superstructure et concentrées autour des ouvertures qui sont des éléments de faiblesse de l'ouvrage.
- ✚ Les dégradations attendues, provoquées par les déformations de compression sont horizontales dans les soubassements.
- ✚ Lorsque la structure est dégradée, l'orientation des fissures dépend du sens de la courbure. D'une manière générale une courbure concave du terrain génère des fissures inclinées, concentrées vers le bas de l'ouvrage et orientées depuis les extrémités inférieures de l'ouvrage vers son centre. Une courbure convexe à un effet contraire, avec des fissures concentrées dans la partie supérieure de la structure et orientées depuis le centre de l'ouvrage vers ses extrémités supérieures.
- ✚ Si on considère qu'une structure est globalement moins résistante en traction qu'en compression, du fait des propriétés des matériaux de construction, alors la zone de traction (convexe) est la plus susceptible d'entraîner des dégradations dans le bâti.
- ✚ L'inclinaison et la courbure du terrain sont les deux composantes qui affectent de manière importante la répartition des contraintes dans le sol au niveau des fondations.

V. Conclusion

A partir de ces différentes figures, on 'a constaté plusieurs points instables détectés dans le sol et le bâti de la région d'Ain el hammam : fissures dans les murs et les ouvertures des constructions, rupture et écartement des joints de dilatation, basculement et inclinaison des blocs, rupture des mur de soutènement, des affaissement importants, escarpement et bombement des terrains, dégradation des chaussées.

Après l'analyse des différents désordres dans le bâti, les rues et les terrains avoisinants, on peut déduire que le mouvement qui affecte cette partie de la ville (zone du marché), est caractérisé par un mouvement en deux sens qui caractérise deux zones différentes :

- Une zone très urbanisée (place du marché) avec un sens de déplacement principale vers le sud.
- Une zone très peu urbanisée à non urbanisé (vers la sortie Est de la ville), avec un sens de déplacement vers le Sud-ouest.

Conclusion générale

Le cadre bâti de la ville d'Ain el hammam et exactement de la "zone du marché" est très touché par le glissement de terrain qui a affecté cette région ces dernières années. Après le déplacement sur le site du glissement nous avons constaté : de différents types de fissures (horizontales, verticales, obliques ...etc.) au niveau des murs et des ouvertures des bâtiments, basculement et inclinaison des bâtiments avec écartement et rupture des joints de dilatation.

Nous avons aussi constaté des dégradations du sol : des affaissements de terrains, des escarpements et bombements, dégradations des chaussées, fissures dans le sol rupture des murs de soutènements

Les causes principales qui font évoluer ces désordres et permettent au mouvement de s'amplifier sont les suivantes :

Le facteur pente : Le versant concerné par le glissement de terrain, orienté Nord-Sud, présente des pentes de plus en plus raides en allant de l'amont vers l'aval du versant

La lithologie : d'après les études effectuées sur la composition minéralogique du site de glissement, il est formé par des schistes satinés affleurant la surface.

Le réseau de fracturation intense qui caractérise ces schistes, et leurs aspects feuilletés, favorise l'infiltration des eaux (Pluviales et accidentelles), ce qui accentue le phénomène d'altération et diminue leurs résistances mécaniques.

Les précipitations : la région d'Ain El Hammam est l'une des régions les plus arrosées de la Kabylie. Les pluies tombent sous forme d'averses très intenses par exemple, durant le mois de Mars 1974, on a enregistré 224.7mm en une seule journée.

Les mesures et les calculs effectués au niveau de la station de Ain El Hammam, ont ressorti que les années fortement pluvieuses dépassent les 1100mm, tel qu'en 1973 où on a enregistré une moyenne de 1600mm/an. (données ANRH)

Le facteur anthropique : L'action de l'homme, est l'une des causes majeures de l'accentuation du mouvement de terrain dans la zone d'étude, représenté par l'importante surcharge qu'il exécute sur le versant par:

- l'urbanisation récente de la zone de marché et du part et d'autre du boulevard Amirouche, et apparition de constructions à plusieurs étages sans respect de normes génie civile
- le trafic routier important de la RN15.
- Le jet anarchique des remblais de nature hétérogène sur le versant instable

L'activation et /ou réactivation du glissement de terrain d'Ain el hammam est généralement précédée par des événements climatiques caractérisant cette région : comme les fortes précipitations et les chutes importantes de neige et l'eau constitue souvent un facteur déstabilisant des versants et agit négativement sur les caractéristiques mécaniques du sol. Une étude de ce facteur s'avère donc indispensable dans l'analyse de la stabilité des versants de cette région.

Ce travail nous a permis d'avoir une idée générale sur les glissements de terrains, leurs processus et leurs conséquences aussi les méthodes d'évaluation de cet aléa.

Et à découvrir de près les désordres occasionnées par le glissement de terrain qui a affecté la région d'Ain el hammam, et les différentes dégradations au niveau des constructions et du sol de cette ville.

Bibliographie

- **BESSON.L**, « les risques naturels en montagne traitement, prévention, surveillance » Ed : Artès-Publial, Grenoble,(1996).
- **BENKECHKACHE. I**, "Investigation de la dégradation du cadre bâti sous l'effet du glissement de terrain cas de Constantine", mémoire de magister en architectures et urbanisme, Université Mentouri de Constantine, 2012.
- **BOUAZIZ. N**, " Etude de la stabilité d'un glissement de terrain Cas du versant de Tizirt", mémoire de master en génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.
- **BULLETTIN DE LIAISON N° 16**, risque info - "les mouvements de terrain", institut des risques majeurs juin 2005.
- **CSTB - AQC** " la pathologie des façades, diagnostic, réparations et prévention" juin 2011
- **CSTB Marne La Vallée**. Guide de dispositions constructives pour le bâti neuf situé en zone d'alea de type affaissement progressif, 2004.
- **CRUDEN. DM, VARNES. DJ** , "Landslide types and processes". Chap3, InTurner, A.K. Schuster, R.L.(eds), landslide: investigation and mitigation. Transportation research Board- national research council, special report 247, Washington, D.C, national academy press, p 36-75. (1996).
- **CARTIER. G, DELMAS. Ph**. Les mécanismes de mouvements de terrain : nécessité de la mesure des déplacements. Colloque "Mouvements de terrain", Caen. (1984).
- **Département De L'environnement, Direction De La Surveillance Et De La Prévention Des Risques**. " Étude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc, mission 1. " les glissements de terrain" version 1.0 septembre 2008.
- **DIDIER.C, SALMON.R ,INERIS , Parc Technologique ALATA**.
" Evaluation du risque d'apparition d'un fontis en surface : Un Modele Volumetrique Probabiliste." Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur, Lille 2004 (28 - 30 juin).
- **DJERBAL. L**. "Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain El Hammam", mémoire de master en génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2010.

- **DJERBAL. L** "analyse des mécanismes de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain el Hammam", thèse de doctorat en génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2013.
- **ERCOLE:** la vulnérabilité des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, mode d'analyse, revue. Géographie Alpine n°4,1994
- **ETIENNE.D**" Evaluation quantitative et cartographie du risque "glissement de terrain" Application au Bassin de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence - France)", Septembre 2007.
- **FREDERIC LEONE, M. JEAN-PIERRE ASTE, M. ERIC LEROI** : L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains : pour une meilleure quantification du risque/ The evaluation of vulnerability to mass movements : towards a better quantification of landslide risks In: Revue de géographie alpine. 1996, Tome 84 N°1. pp. 35-46.
- **FLAGEOLLET, JEAN CLAUD**, « Les mouvements de terrain et leur prévention » Ed : Masson, Paris, Milan, Barcelone(Géographie), 1989.
- **GHENIFI. O**, " Etude géologique et géotechnique du glissement de terrain d'AIN EL HAMMAM Wilaya de TIZI-OUZOU", mémoire de master en géologie, université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2011.
- **GARCIA Jean-François**. Rapport final de PFE " Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments " Mars-Juillet 2007
- **HOR.Boramy**, " Evaluation et Réduction des Conséquences des Mouvements de Terrains sur le Bâti : Approches Expérimentale et Numérique" thèse doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon, France, 2012.
- **Hor.B, Emeriault.F, Caudron.M ,Al Heib.M, Université de Lyon, INSA-Lyon, LGCIE, Villeurbanne, France. INERIS, Direction des Risques du Sol et du Sous-sol, Verneuil en Halatte, France.**"Analyse expérimentale de l'impact de mouvements de terrain sur le bâti de surface", Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2010 -Grenoble 7-9 juillet 2010
- **HANTZ.D , DUSSAUGE-PEISSER.C , JEANNIN.M ,VENGEON . J-M.** "Danger d'éboulements rocheux : de l'opinion d'expert à une évaluation quantitative", Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 2002.
- **INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Programme EAT-DRS-06, Rapport d'étude "Méthodologie de surveillance du risque de fontis en cavité souterraine par méthode acoustique" 04/11/2013.
- **KECHIDI. Z**, "Application des analyses minéralogiques et géotechniques des schistes au glissement de terrain d'Ain el Hammam ", mémoire de master en génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2010.

- **LEUTWILER. A**, "glissement de terrain processus " office fédéral de l'environnement (OFEV) division prévention des dangers. septembre 2009.
- **LASHEB. M**, " caractérisations géotechnique de la couche superficielle du glissement de tala n'tgana", mémoire de master en génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013.
- **LAPOINTE.R** " Contribution à l'étude des méthodes d'injection des fissures dans le béton"
Département de génie civil et mécanique appliquée Université McGill Montréal, Canada.
mai 1997.
- **LAMY.PH**, "livre blanc, fissures, mieux comprendre les fissures"
- **LEONE.F , VINET.F** " la vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles " université paul - valéry, montpellier III , février 2005.
- **LABIODH. F** : conséquences socio-économiques, étude quantitative et qualitative de trois sites instables à Mila, 2009.
- **LEONE. E**, Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Thèse de doctorat, Université J. E Fourier, Grenoble et Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Marseille (1996).
- **MARIE.Pierre Jouan**, "les fissurations des façades maçonnées", qualité construction N° 97 juillet - aout 2006.
- **MATE/METL**, Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR): Guide général.
Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, (MATE), Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (METL). La Documentation Française, Paris. 1997
- **MANCHE.Y** , propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles, In Revue de géographie Alpine, Vol.85, n°2, pp49-62. 1997
- **MEZHOUD. L**, "La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine", mémoire de magister, université Mentouri Constantine,
- **Plan de prévention du risque mouvements de terrain Chaville** ; direction départementale de l'Équipement Hauts-de-Seine, Atelier Urbanisme et Habitat, 2005.
- **Plan de Prévention des Risques Naturels de Glissement de Terrain**. De la Côte d'Ile-de-France Secteur Vallée de la Marne, avril 2003.

- **Société Suisse de Géomorphologie (SSGm)** En partenariat avec les **Instituts de Géographie des Universités de Fribourg (IGUF)** et de **Lausanne (IGUL)**. " Mouvements gravitaires ", Fiche 4.2.4 – Géomorphologie de la montagne – Août 2009.
- **SAURET. B**, actuellement BRGM, atelier risque et génie sismique, Marseille " coulées boueuses. Laves torrentielles " Bull.Liaison labo P et Ch, 150/151 juil.aout / sept.oct 1987 Ref 3203 f.
- **TOULEMONT.M** qualification de l'aléa," mouvement de terrain " dans le cadre des études préalables a la cartographie réglementaire des risques naturels prévisibles. Géologie alpine, Mém. h.s N° 15, 1990.

Sites internet :

www.prim.net

http://www.habiter-ici.com/IMG/PDF/fiche_pratique_02_pente.PDF

www.encyclopédie.com

<http://www.sieng.ch>

<http://www.brgm.fr>