°

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵏ ⵓⵙⵎⵓⵜⵜⴳ ⴰⵍⵉ ⴰⵎⵓⵃⴰⵏⴷ ⵓⵍⵃⴰⵊ - ⴱⵡⵉⵔⴰ -
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج
- البويرة -
كلية العلوم والعلوم التطبيقية

DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

AZRARAK SAIDA
CHACHOUA AHMED

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en **:**

Filière : GENIE CIVIL
Option : Structures

Thème

Techniques d'évaluation d'un glissement de terrain

Devant le jury composé de :

OMRACI KAMEL	MCA	UAMOB	Président
BELMIHOUB HACENE	MAA	UAMOB	Encadreur
SAOUDI NACIRA	MCB	UAMOB	Examinateur

Année Universitaire 2020/2021

REMERCIMENTS

Tout d'abord, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté d'élaborer ce travail.

J'adresse mes remerciements, à mon promoteur ; pour le suivi et l'encadrement qu'il ma apporté et de savoir-faire.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches

Je remercie les membres de jury, d'avoir acceptés d'évaluer ce travail.

Bien sûr ma profonde reconnaissance va pour ma chère maman Dalila, mon frère Mohamed Amine, ma sœur Mounia , mon fiancé Hakim que Dieu les bénisse, et à tous les membres de ma famille, pour leurs soutiens et encouragements tout au long de ce travail.

Je tiens aussi a remercie mes amis Loubna, Nadia, Zahira, Rania, Nora et Farida qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Pour finir, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude pour toute personne ayant contribué, de prés ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE ……..…….……1

PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Généralité sur les risques ……..3

I.1 Introduction ……...3

I.2 Le risque ……...3

I.2.1 Risques naturel …….....3

I.2.2 Risques sanitaires…….....3

I.2.3 Risques technologiques……..4

I.3 Triptyque du Risque……..4

I.3.1 Aléa…….....4

I.3.2 Vulnérabilité…….....4

I.3.3 Enjeu……...4

I.4 Risque majeur……5

I.5 Conclusion……6

CHAPITRE II : Généralité sur les mouvements de terrain ……7

II.2 Introduction …… 7

II.2 Définition ……7

II.3 Les principaux types de mouvements de terrain ……7

II.3.1 Les mouvements lents ……..…7

II.3.1.1 Affaissement et effondrement ……..…7

II.3.1.2 Le Retrait-gonflement …….....9

II.3.1.3 Le glissement de terrain ……9

II.3.2 Les mouvements rapides ……11

II.3.2.1 Eboulement et chute de pierres ……11

II.4 Comment se produisent les mouvements de terrain ……..13

II.4.1 Les mouvements lents ……13

II.4.2 Les mouvements rapides ……14

II.5 Les effets des mouvements de terrain ……...14

II.5.1 Les effets sur les personnes ……....14

I.5.2 Les effets économiques ……....14

II.5.3 Les effets sur l'environnement ……...15

II.6 Les causes des mouvements de terrain ……..15

II.6.1 Affaissement et effondrement ……....15
II.6.2 Eboulement et chutes de pierres ……16
II.6.3 Le glissement ……...……16
II.7 Les mesures préventives contre les mouvements de terrain ……17
II.7.1 Affaissement et effondrement ……17
II.7.2 Eboulement et chutes de pierres ……18
II.7.3 Retrait-gonflement ……..…19
II.7.4 Le glissement ……..20
II.8 Les enjeux et conséquences des mouvement de terrain ……21
II.8.1 Glissement de terrain ……...21
II.8.2Chutes de blocs et éboulement ……22
II.8.3Effondrement ……22
II.8.4 Coulées de boue ……..22
II.9 Les comportments face aux movements de terrain…….....22
II.10 Conclusion ……...23
CHAPITRE III : Glissement de terrain ……..24
III.1 Introduction.……..24
III.2 Définition du glissement de terrain ……..24
III.3 Les types de glissement de terrain ……...25
III.3.1 selon la forme ……....25
II.3.1.1 Glissements rotationnels ……..25
III.3.1.2 Glissements plans …….....26
III.3.2 selon la vitesse ……..26
III.3.2.1 Glissement de terrain permanant ……26
III.3.2.2 Glissement de terrain spontané …….....26
III.4 classification des glissements de terrain ……..27
III.5 processus de glissement de terrain ……...30
III.6 Les causes de glissement des terrains ……..30
III.6.1 Les causes naturelles ……30
III.6.2 Les causes humaines ……31
III.7 Les facteurs intervenant dans les processus d'instabilité des terrains ……32
III.7.1. Les facteurs de prédisposition ……32
III.7.2 Les facteurs aggravants ……32
III.7.3 Les facteurs déclenchant …….....32

III.8 Les phases des glissements ……..33
III.9 Les causes d'instabilité ……34
III.9.1 Les facteurs passifs ou invariables ……34
III.9.2 Les facteurs actifs ou variables …….35
III.10 Morphologie des glissements de terrain …….36
III.10.1 Éléments d'un glissement …….....36
III.10.2 Dimensions d'un glissement …….....38
III.11 Les conséquences des glissement de terrain sur les personnes et les biens ……..39
III.12 Quelques exemples de glissement de terrain …….39
III.12.1 En Algérie …….....39
III.12.1.1 Bejaia ……...39
III.12.1.2 Constantine …….....40
III.12.1.3 Tizi ouzou (Azazga) …….41
III.12.1.4 La rocade d'Alger ……....42
III.12.2 A travers le monde ……..42
III.12.2.1 Cas de Salvador …….....42
III.12.2.2 Cas de la Clapiers (France) ……. 43
III.13 Conclusion ……46
DEUXIEME PARTIE : TECHNIQUES D'EVALUATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN
CHAPITRE IV : Techniques d'évaluation d'un glissement de terrain ……47
IV.1 Introduction ……..47
IV.2 Techniques d'évaluation du risque de glissement de terrain ……..……48
IV.2.1Nécessité des techniques ……..……...48
IV.2.2 Etude et évaluation détaillées du risque de glissements de terrain ….…….……48
IV.2.2.1 Evaluation du potentiel de risque par exploitation géophysique ……...49
IV.2.2.2 Evaluation du potentiel de risque par forage et sondage ……..……51
IV.2.2.3 Evaluation du potentiel de risque par analyse de la stabilité des pentes ……53
IV.2.3 Etude et évaluation générales du risque des glissements de terrain ……..57
IV.2.3.1 Recherches sur les catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain …….58
IV.2.3.2 Interprétation des pentes susceptibles de glissements de terrain à partir de photographies aériennes …….……..62
IV.2.3.3 Interprétation des pentes susceptibles de glissements de terrain à partir d'images par satellites …….…….……...……...65

IV.2.3.4 Développement d'une carte de risque de glissements de terrain sur une large zone en utilisant les données GIS ……..……...……..65
IV.2.3.5 Evaluation du risque des glissements de terrain par un système de classification ……..……..…….71
IV.2.3.6 Développement d'une carte de risque de glissements de terrain pour la gestion des grandes routes ……..……..……...78
IV.3 Techniques de contrôle et systèmes d'avertissement …….....….83
IV.3.1 Nécessité des techniques ……..……..…….83
IV.3.2 Techniques de contrôle et d'évaluation ……..……84
IV.3.2.1 Contrôle par inspection ……..……..……84
IV.3.2.2 Contrôle et évaluation par les appareils de mesure ……85
IV.3.2.3 Systèmes automatiques de contrôle des pentes ……..……89
IV.4 CONCLUSION ……..……..……92
CONCLUSION GENERALE ……...93
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....94

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1 : illustration des composants du risque……..4
Fig. I.2 : la courbe de Farmer…….5
Fig. II.1 : Affaissement et effondrement miniers……8
Fig. II.2 : effondrement d'une canalisation à l'origine de l'affaissement de ben aknoun, 2016……...8
Fig. II.3 : effondrement minier à Elura, Sydney, Australie, 1970……8
Fig.II.4 : Mécanisme du Retrait-gonflement…….....9
Fig.II.5 : Glissement de terrain……10
Fig.II.6 : Glissement de terrain à el Glissement de terrain à el Mouradia janvier 2019……..11
Fig.II.7 : Glissement de terrain à Saint Jude Juin 2014……...11
Fig.II.8 : Illustration de chute de blocs ……...12
Fig.II.9 : Illustration de chute de blocs……12
Fig.II.10 : Chute de pierres à Aokas, Bejaïa 2015 ……...12
Fig.II.11 : organigramme sur les types des mouvements de terrain……..…13
Fig.II.12 : Les différents types de réduction de l'aléa effondrement de cavité souterraine….17
Fig.II.13 : Les différents types de réduction de la vulnérabilité face au risque d'effondrement de cavité Souterraine.……..……...18
Fig.II.14 : Principe de la protection par un merlon.……19
Fig.II.15 : Principe de la protection par ancrage du rocher……..19
Fig.II.16 : Les différents types de réduction de l'aléa retrait gonflement……..20
Fig.II.17 : Murs de soutènement pour stabiliser les versants et limiter les glissements de terrain…….……...20
Fig.III.1 : schéma explicatif de glissement de terrain.……25
Fig.III.2 : Structure d'un glissement de terrain rotationnel.……25
Fig.III.3 : Schéma d'une couche d'argile en plan de glissement……..26
Fig.III.4 : Degré d'activité en fonction des vitesses de déplacement……...27
Fig.III.5 : Classification des mouvements de terrain d'après Meunier (1991)…….28
Fig.III.6 : Illustration schématique de l'évolution du facteur de sécurité (Fs) en fonction du temps des phénomènes d'instabilité qui se développent aujourd'hui……...33
Fig.III.7 : Éléments d'un glissement (Cruden and Varnes, 1992)……...36
Fig.III.8 : Dimensions d'un glissement (Cruden and Varnes ; 1992) ……38
Fig.III.9 : Fissures longitudinales dans la routé affecté par le glissement……..40
Fig.III.10 : Glissement de terrain quartier Boudraa Constantine……41

Fig.III.11 : Glissement de terrain à Azazga……41
Fig.III.12 : Glissement de terrain a la rocade d'Alger……42
Fig.III.13 : Glissement de terrain la Leona.……..…43
Fig.III.14 : Glissement de terrain las Colinas.……..…43
Fig.III.15 : Evolution de glissement de la Clapiers.……44
Fig.IV.1 Vitesse de propagation d'onde de choc et gradient de pente ……50
Fig.IV.2 Coefficient de fissure et gradient de pente ……50
Fig.IV.3 Exemple d'étude de forage réel **……**52
Fig.IV.4 Schéma illustrative sur l'évaluation du potentiel de risque par analyse de la stabilité des pentes……..57
Fig.IV.5 schéma illustrative sur la Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain……..60
Fig.IV.6 schéma illustrative sur la Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain……..61
Fig.IV.7 Topographie type d'un glissement de terrain ……64
Fig.IV.8 Carte de risque (France) (Échelle d'origine 1:25 000) ……67
Fig.IV.9 Carte de risque détaillée (France) (Echelle d'origine 1:5.000). …….....67
Fig.IV.10 Schéma illustrative sur le développement d'une carte des risques de glissements de terrain sur une large zone en utilisant les données GIS……70
Fig.IV.11 Schéma illustrative sur le développement d'une carte des risques de glissements de terrain sur une large zone en utilisant les données GIS……76
Fig.IV.12 Schéma illustrative sur le développement d'une carte de risque de glissements de terrain pour la gestion des grandes routes……80
Fig .IV.13 Carte de risque de glissements de terrain du Brésil ……..81
Fig.IV.14 Carte de risque de glissements de terrain (France) …….....82
Fig.IV.15 Carte de risque de glissements de terrain au Japon (échelle d'origine 1:5 000) ….83
Fig.IV.16 Schéma illustrative sur le Contrôle et évaluation par les appareils de mesure……86
Fig.IV.17 Méthodes de détection de chutes rocheuses ……...88
Fig.IV.18 Système de contrôle des glissements de terrain (Préf. de Oita) au Japon ……...91
Fig.IV.19 Système de contrôle des glissements de terrain (LCPC) en France ……91
Fig.IV.20 Variation du relevé d'extensomètre, niveau d'eau souterraine et hauteur pluviométrique ……92

LISTE DES TABLEAUX

Tab.III.1 : Classification des glissements de terrain en fonction de leur vitesse de déplacement Vd……28

Tab.III.2 : Classification typologique des glissements de terrain……...29

Tab.III.3 : Classification des glissements de terrain en fonction de leur surface……30

Tab.III.4 : Glissements de terrain dans le monde avec une brève description…….....44

Tab.IV.1 Classification des méthodes d'analyse de la stabilité des pentes ……56

Tab.IV.2 Classification simplifiée des mouvements et symboles ……..64

Tab.IV.3 Exemple de fiche d'étude de stabilité ……..73

Tab.IV.4 Fiche récapitulative du système de classification du risque de chute de roches. …78

Tab.IV.5 Valeurs de contrôle pour l'évaluation ……89

RESUME

Les glissements de terrain sont des phénomènes géologiques et géotechniques dangereux pour les constructions et pour les personnes. Quelques mètres cube suffisent complètement à déstabiliser une ou plusieurs habitations, plusieurs milliers de mètre cube peuvent engloutir un village ou un quartier.

Bien connaître les aléas, c'est connaître les risques auxquels on s'expose. Il ne faut pas les ignorer mais il faut savoir vivre avec eux (s'adapter). Des cas pathologiques montrent l'importance des effets de glissement pouvant engendrer des dégâts humains et matériels peuvent être estimer en plusieurs millions de Dinars dont les gouvernements doivent réserver beaucoup d'importance et d'attention. Pour cela, il faut tenir compte des dangers de ces phénomènes et prendre les précautions convenables pour détecter les zones instables afin de trouver les meilleures solutions de protections ou de traitements.

Pour réduire les désordres des constructions et des risques de pertes en vie humaine, une étude approfondie est plus qu'indispensable. Pour cela on doit étudier et analyser les différents mécanismes de glissement de terrain, leurs causes, les techniques de prévision et de surveillance de leurs instabilités.

On peut évaluer un glissement de terrain avec plusieurs techniques, il ya trois d'entre eux qui sont les plus fréquemment utiliser qui sont basées sur des résultats d'un questionnaire préparé par le C12 et autres documents correspondants. Pour ce faire nos recommandations ont été proposées en espérant qu'elles seront prises en considération par les décideurs, les concepteurs et les urbanistes.

ABSTRACT

Landslides are geological and geotechnical phenomena dangerous for buildings and people. A few cubic meters are enough to destabilize one or several houses; several thousand cubic meters can engulf a village or a district.

To know the hazards well is to know the risks to which one is exposed. We must not ignore them but we must know how to live with them (adapt). Pathological cases show the importance of the effects of landslides that can generate human and material damages that can be estimated in several millions of Dinars for which the governments must reserve much importance and attention. For that, it is necessary to take into account the dangers of these phenomena and to take the suitable precautions to detect the unstable zones in order to find the best solutions of protections or treatments.

To reduce the disorders of the constructions and the risks of loss of human life, a thorough study is more than essential. For this purpose, it is necessary to study and analyse the different mechanisms of landslides, their causes, the techniques of prediction and monitoring of their instabilities.

A landslide can be evaluated with several techniques; there are three of them that are the most frequently used which are based on the results of a questionnaire prepared by the C12 and other corresponding documents. For this purpose our recommendations have been proposed in the hope that they will be taken into consideration by decision makers, designers and planners.

ملخص

الانهيارات الأرضية ظاهرة جيولوجية خطيرة للمباني وللناس. بضعة أمتار مكعبة كافية لزعزعة استقرار المنزل تمامًا. ويمكن لآلاف الأمتار المكعبة أن تبتلع قرية بأكملها.

إن معرفة المخاطر جيدًا يعني معرفة المخاطر التي نتعرض لها. لا يجب أن تتجاهلهم ، لكن عليك أن تعرف كيف تتعايش معهم.

تظهر الحالات المرضية أهمية الانزلاق الذي يمكن أن يؤدي إلى أضرار بشرية ومادية يمكن أن تصل إلى عدة ملايين من الدنانير ، والتي يجب على الحكومات أن توليها الكثير من الاهتمام.

لذلك من الضروري مراعاة هذه الظواهر ومخاطرها ، واتخاذ الاحتياطات المناسبة لكشف المناطق غير المستقرة من أجل إيجاد أفضل حلول الحماية أو العلاج.

لتقليل الأضرار التي تلحق بالمباني وخطر فقدان الأرواح البشرية ، من الضروري إجراء دراسة متعمقة. للقيام بذلك ، يجب أن نعرف وندرس آليات الانهيارات الأرضية المختلفة وأسبابها وتقنيات التنبؤ ومراقبة عدم استقرارها.

يمكن تقييم الانهيار الأرضي بالعديد من التقنيات باستثناء أن هناك ثلاثة منها هي الأكثر شيوعًا ، بناءً على نتائج الاستبيان الذي أعدته س ١٢ والوثائق الأخرى المقابلة.

للقيام بذلك ، تم اقتراح توصياتنا على أمل أن يأخذها صناع القرار والمصممين والمخططين بعين الاعتبار.

INTRODUCTION GENERALE

L'homme et son environnement ont toujours été les victimes des catastrophes naturelles. Dernièrement, par l'augmentation de la population les gens installent leurs constructions sur des zones à de multiple danger, disant inconstructible, ce qui augmente le taux de danger. L'homme donc vit avec le risque, pour cela on doit s'adapter à ces contraintes en intégrant des éléments de protection dans nos projets et tenir compte de ces vulnérabilités lors des aménagements des territoires.

En Algérie, plusieurs risques ont été recensés, dont le glissement de terrain qui menace la plupart de ces villes. La géomorphologie du nord de l'Algérie est caractérisée essentiellement par des pentes raides et abruptes, affectées souvent par des mouvements de terrain plus au moins importants. Ce risque constitue l'un des phénomènes naturels les plus répondus dans cette région du pays. En effet, ces mouvements sont observés dans plusieurs wilayas : Alger, Constantine, Mila, Médéa, Tizi-Ouzou,... qui sont affectés par des mouvements de terrain très actifs ces dernières années [1].

Le glissement de terrain est un phénomène qui représente un grand danger, il a des effets dommageables, imprévus ou mal prévenus, sur les aménagements, les ouvrages, et les personnes, les enjeux plus ou moins graves, voir catastrophiques selon leur vulnérabilités. De nombreux investissements dans divers domaines (habitats, travaux publics) ont été compromis à causes de l'instabilité des terrains, où cette dernière n'a pas été détectée avant le début des travaux. Ces problèmes d'instabilité de terrain sont dus aux causes naturelles (topographique, géologique), et aux activités humaines telles que les travaux de terrassement.

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 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, ce mouvement est très actif et ne cesse d'engendrer des désordres et des coûts importants.

Pour la réduction des désordres de ces constructions et des risques de pertes en vie humaine, une étude approfondie de ce phénomène est indispensable. Pour cela on doit connaître et étudier les différents mécanismes de glissement de terrain, leurs causes et les techniques de prévision et de surveillance de leurs instabilités.

Le mémoire est réparti en deux parties :

La première partie est une partie bibliographique dont on a définit les risques en général puis on a cité les différents types des mouvements de terrain et enfin on a parlé des glissements de

terrain.

La deuxième parie on l'a consacré pour parler sur les techniques d'évaluation des glissement de terrain.

PREMIERE PARTIE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

I.1 Introduction

Nos sociétés actuelles sont fortement exposées aux risques qu'ils soient d'origine naturelle ou technologique. Le problème des risques majeurs évolue dans le temps.

Les facteurs favorisant cette évolution sont nombreux. Ils peuvent être d'ordre environnemental, démographique, ou socio-économique.

La vie de l'être humain est particulièrement liée aux phénomènes naturels, en particulier les glissements de terrains qui influencent son mode de vie et sa civilisation.

I.2 Le risque

Le risque est une notion difficile à cerner mais de façon générale, on peut dire que c'est une contingence indésirable, appréhendée, relativement anodine et peu probable [2].

- Par appréhendée, on entend par là que le risque est connu au préalable. L'exposition au risque résulte donc souvent d'une démarche consciente, appelée prise de risque. En ce sens le risque se distingue par exemple de l'aléa ou de l'incident, qui survient en général de façon imprévue.
- Le risque est généralement anodin, mais tout de même suffisamment nuisible pour être indésirable. En ce sens il se distingue notamment du danger, qui suppose la possibilité d'un dommage grave (notamment la mort). On dira par exemple de quelqu'un qui sort tête nue par temps froid qu'il court le risque d'attraper un rhume, tandis qu'on dira qu'il se met en danger s'il traverse une rue sans regarder.
- Un risque est une contingence peu probable, ce qui constitue une autre différence par rapport au danger. On parle en effet de danger lorsque la probabilité d'occurrence et les conséquences sont importantes, tandis que le risque existe dès lors que sa probabilité d'occurrence n'est pas nulle. On dira à minima que le risque est faible.
- L'appréciation de ces différents critères est hautement subjective, ce qui peut justifier que dans les domaines scientifiques et techniques une définition quantifiable et plus rigoureuse du risque a été recherchée.

I.2.1 Risques naturels

Il s'agit d'un événement qui a pour origine un phénomène "naturel", par opposition à un événement provoqué par une action humaine. C'est donc un événement à probabilité non nulle qui a sa source d'origine et se développe initialement dans un milieu naturel (air, sol, eau).[3]

I.2.2 Risques sanitaires

Un risque sanitaire désigne un risque, immédiat ou à long terme, plus ou moins probable auquel la santé publique est exposée. L'identification et l'analyse des risques liés à un

phénomène (inondation, contamination, ...) permettent généralement de prévoir l'impact d'un risque sanitaire sur la santé publique. (Pollution microbiologique, par amiante, plomb, benzène ou autres matières dangereuses, épidémies : grippe aviaire, "vache folle" etc.).

I.2.3 Risques technologiques

Tout risque d'origine anthropique, regroupant les risques industriels, nucléaires, biologiques. Industriels, nucléaires, énergétiques, de stockage et de transport des hydrocarbures, des matières dangereuses, de céréales, des accidents de transport aérien, maritime, ferroviaire, etc.).

I.3 Triptyque du Risque

Le risque (c'est à dire le danger) combine ces trois éléments et peut ainsi être défini de la façon suivante :

RISQUE = ALEA * ENJEUX * VULNÉRABILITÉ

I.3.1. Aléa

Correspond à la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel dangereux donné, dans un lieu donné avec une intensité donnée. Il représente la menace.

I.3.2 Vulnérabilité

Traduit la fragilité ou la capacité de résistance des éléments exposés, vis-à-vis d'un phénomène donné.

I.3.3 Enjeu

Représente la nature et l'importance des éléments exposés à l'aléa (Les constructions, les personnes). La valeur des éléments est pécuniaire, patrimoniale ou stratégique et prend également en compte les vies humaines exposées. Ainsi un hôpital représente un enjeu plus important qu'un bâtiment d'habitation collective qui lui-même représente un plus fort enjeu qu'une habitation individuelle.

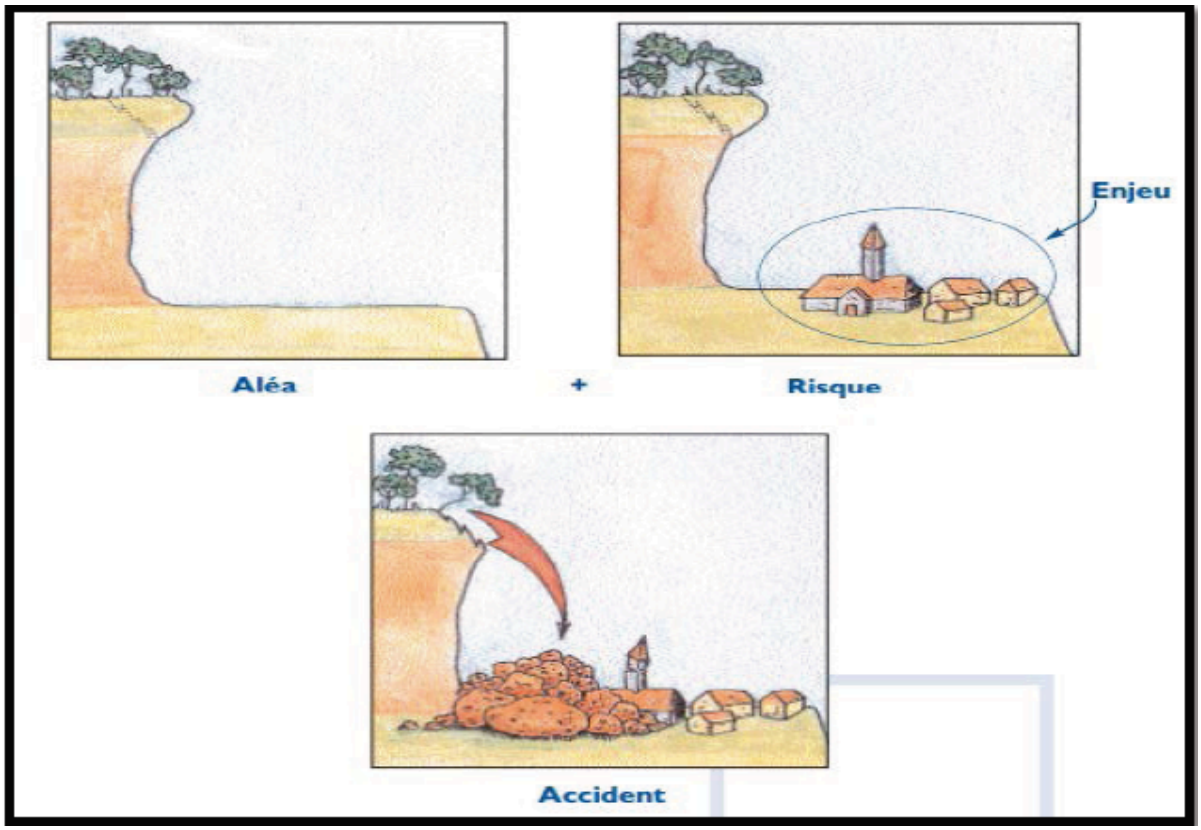


Fig.I.1 : illustration des composants du risque [4].

Cela signifie par exemple que sur une île déserte où l'aléa inondation serait très élevé, le risque serait nul (pas d'enjeu). Ou encore, pour un même niveau d'aléa, le risque est plus élevé pour un habitat précaire que pour des édifices bien construits.

I.4 Risque majeur

C'est la menace d'un événement qui cause de très graves dommages à un grand nombre de personnes, aux biens ou à l'environnement. Ces dommages peuvent être immédiats ou différés. C'est un événement d'une telle gravité qu'il déclenche une situation de crise : l'organisation des secours demande une très importante mobilisation d'hommes et de moyens exceptionnels. Ce qui caractérise le risque majeur, s'il survient, c'est l'ampleur du phénomène.

On peut classer en fonction de la fréquence de leur apparition et de leur gravité tous les risques. Les travaux de Farmer mettent en corrélation ces 2 critères "fréquence" et "gravité" pour caractériser un risque [4].

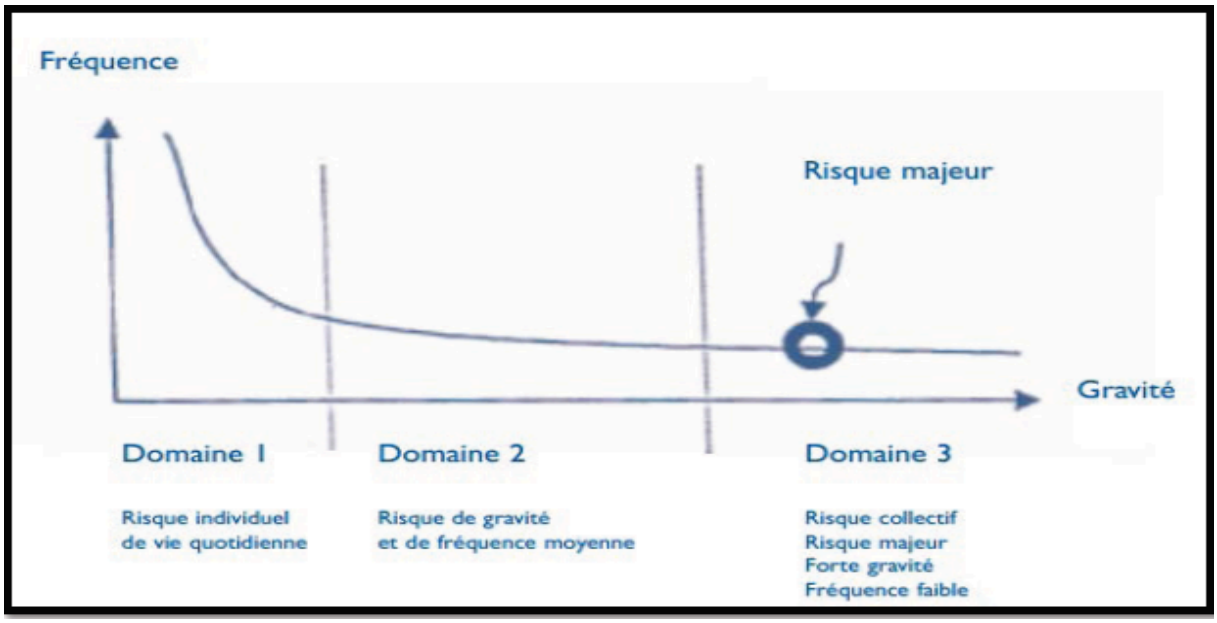


Fig.I.2 : la courbe de Farmer [4].

On définira le risque majeur comme un événement à fréquence faible et de grande gravité. Le risque majeur correspondra à la situation suivante :

- Dans un seul accident de très nombreuses victimes.
- Et/ou des dommages importants pour les biens.
- Et/ou des dommages à l'environnement. Alors, l'organisation des secours demande une très grande mobilisation des hommes et des systèmes…

Plusieurs définitions du risque majeur font appel à la notion de développement immédiat ou différé pour l'homme ou à un événement déstabilisant pour une collectivité donnée.

I.5 Conclusion

Bien connaître les aléas, c'est connaître les risques auxquels on s'expose. Il ne faut pas les ignorer, il faut savoir vivre avec eux.

"Il est de notre devoir d'informer les habitants sur les risques qu'ils ont couru ceci afin de prévenir les prochaines catastrophes qui ne manqueront pas de survenir"[5].

Chapitre II

II.1 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 répondus et leurs conséquences ne cessent d'être plus lourdes, entrainant des coûts et des désordres plus au moins importants.

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

II.2 Définition

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur, séisme, etc.) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.). Ce phénomène comprend diverses manifestations, lentes ou rapides.

Il recouvre des formes très diverses qui résultent de la multiplicité des mécanismes initiateurs, eux-mêmes liés à la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités et des conditions de gisement.

II.3 Les principaux types de mouvements de terrain

Les mouvements de terrain recouvrent des formes très diverses. Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles de mouvements de terrains peuvent être distingués :

II.3.1 Les mouvements lents

Qui entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'humain et peut être accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale.

Ils regroupent principalement les affaissements, les tassements, les glissements, le retrait gonflement.

II.3.1.1 Affaissement et effondrement

Ces risques sont liés à la présence de cavités souterraines. Celles-ci peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Les cavités souterraines naturelles sont le fait de la circulation de l'eau dans des matériaux solubles tels le calcaire ou le gypse.

Les cavités souterraines d'origine anthropique sont issues de l'exploitation du sous-sol ou de son aménagement. Il peut s'agir de mines, de carrières, de marnières, de sapes.

Un affaissement est issu d'un fléchissement lent et progressif du sol situé au-dessus d'une cavité souterraine. En surface il se manifeste par une dépression du sol, ou cuvette.

Un **effondrement** est issu d'une rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine. Cette rupture se propage vers la surface plus ou moins brutalement. Si ce phénomène est ponctuel, il se forme alors en surface un fontis aux dimensions limitées (moins de 50 m). S'il est généralisé, il peut concerner des superficies de plusieurs hectares.

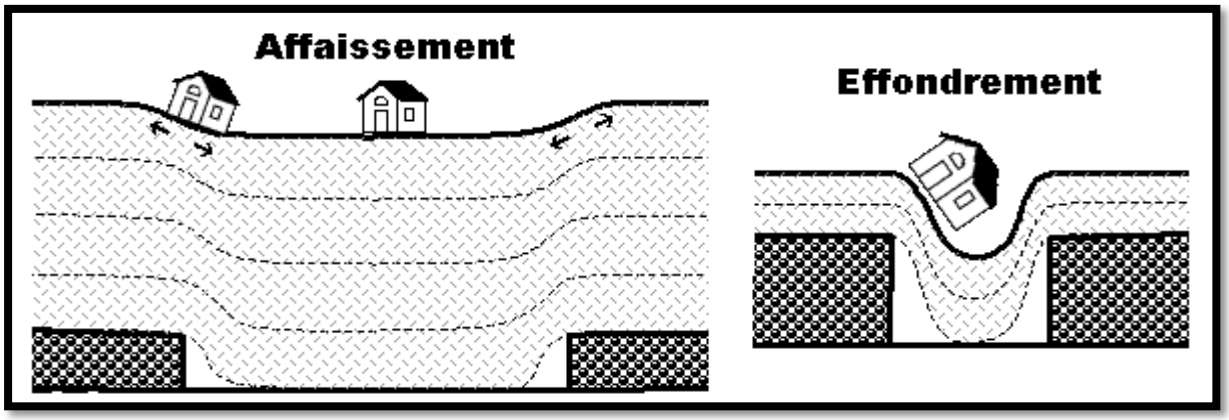


Fig.II.1 : Affaissement et effondrement miniers**.**

Fig.II.2 : effondrement d'une canalisation à l'origine de l'affaissement de ben aknoun, 2016

Fig.II.3 : effondrement minier à Elura,Sydney, Australie, 1970.

II.3.1.2 Le Retrait-gonflement

Il a pour origine la variation de la teneur en eau d'un sol particulier. Une baisse de la teneur en eau de ce sol (suite à une sécheresse) entraîne un tassement de celui-ci, on parle alors de **retrait**. A l'inverse une augmentation de la teneur en eau (suite à une pluie) entraîne un **gonflement**. Ce phénomène se manifeste principalement dans les sols argileux mais aussi dans la tourbe, la vase, les lœss, les sables liquéfiables…

Ce phénomène est très lent et de faible amplitude. Il ne menace donc pas la vie des hommes. Cependant, les bâtiments peuvent se fissurer lorsque le sol qui les supporte se tasse irrégulièrement et gonfle à nouveau.

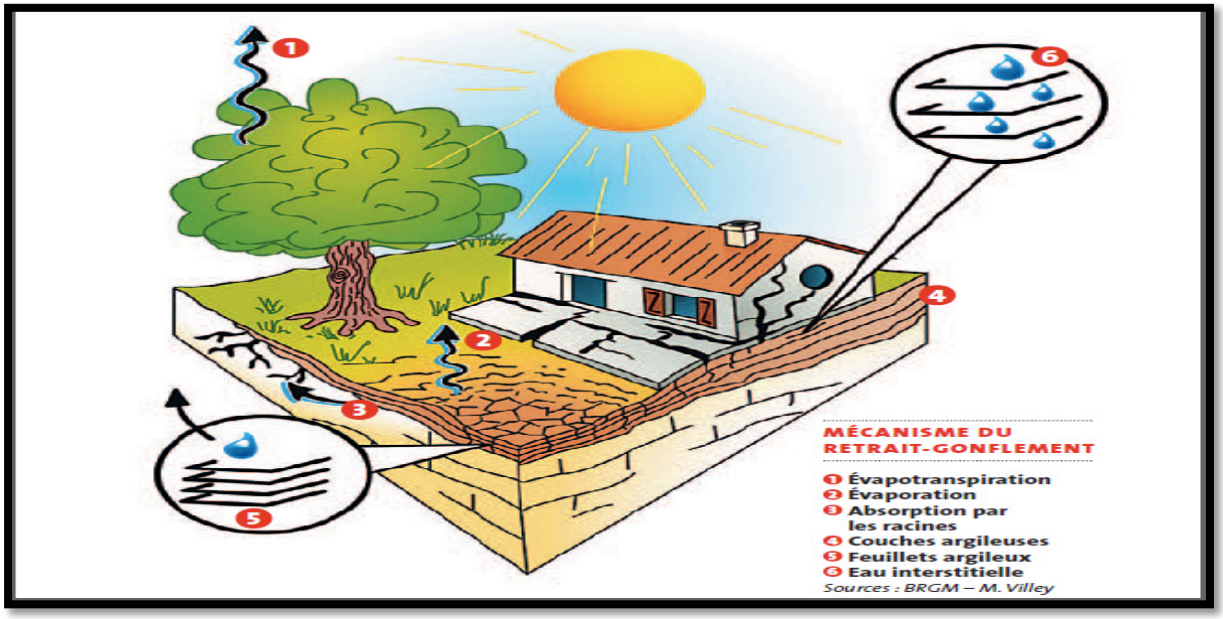


Fig.II.4 : Mécanisme du Retrait-gonflement.

II.3.1.3 Le glissement de terrain

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent (de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables : quelques mètres cubes dans le cas du simple glissement de talus ponctuel à quelques millions de mètres cubes dans le cas d'un mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant.

Généralement lents, les glissements de terrain ne présentent pas de danger pour les vies humaines. S'il y a rupture (le mouvement devenant alors rapide voire soudain) ou si le mouvement est étendu, le nombre de victimes peut être très important. Qu'il soit rapide ou

lent, un glissement de terrain peut fissurer les infrastructures et les bâtiments voire les ruiner complètement.

Les facteurs de risque de glissement de terrain :

- **La géologie**: les caractéristiques mécaniques d'un matériau, sa perméabilité, son état d'altération conditionnent la pente limite d'équilibre et l'occurrence du mouvement.
- **La géomorphologie**: certains types de glissements se développent selon la pente du terrain. Le rôle de la couverture végétale peut être néfaste en raison de la prise au vent qui, par effet de levier, ouvre les brèches dans le sol et favorise les infiltrations d'eau. Inversement, les racines renforcent la cohésion du sol.
- **L'hydrogéologie**: hormis l'infiltration, les circulations d'eau en surface contribuent à l'instabilité des sols par entraînement des matériaux.
- **Les séismes**: la mise en vibration des éléments du sol et la modification des conditions de pesanteur provoquent la déstabilisation des masses en place.
- **Actions humaines**: la modification de l'hydrologie ou du relief peut créer de nouvelles zones à risques. Lors de chantiers de constructions, une butée stabilisatrice peut être éliminée ou la pente d'un versant composée de matériaux manquant de cohérence peut être augmentée. Les remblais diminuent la perméabilité des sols et génèrent des tassements par surcharge.

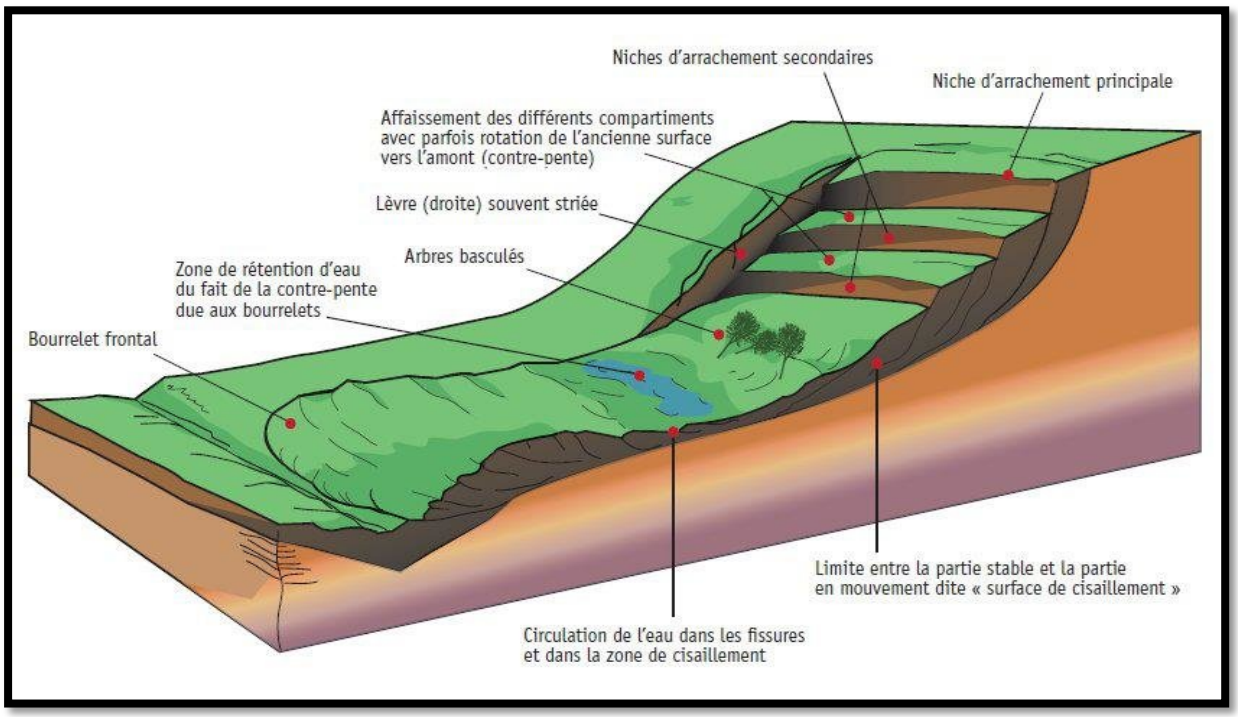


Fig.II.5 : Glissement de terrain.

Fig.II.6 : Glissement de terrain à el Mouradia janvier 2019.

Fig.II.7 : Glissement de terrain à Saint Jude Juin 2014.

II.3.2 Les mouvements rapides

Se propagent de manière brutale et soudaine, ils peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux, en masse, ou à l'état remanié.

Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierre et de blocs, les éboulements et les coulées boueuses.

Des phénomènes d'avancées dunaires peuvent également se produire sous l'effet du vent, entraînant l'avancée du front de dunes vers l'intérieur des terres. C'est un phénomène très lent qui menace essentiellement d'ensevelissement les constructions ou les équipements.

II.3.2.1 Eboulement et chute de pierres

Les falaises et les versants rocheux sont par nature instables du fait de leur déclivité. Leur évolution naturelle engendre des chutes de pierres et blocs ou des éboulements en masse.

Dans le cas d'un **versant rocheux**, les pierres ou blocs isolés roulent et rebondissent. Dans le cas d'une **falaise**, elles peuvent aussi chuter au pied de celle-ci et rebondir plus ou moins loin. Lors d'un éboulement en masse, les pierres et blocs ne sont plus isolés mais s'écroulent ensemble et donc interagissent. Le mouvement qui en résulte peut être très rapide et porter sur une très grande distance. Ce type de mouvement de terrain possède un caractère soudain.

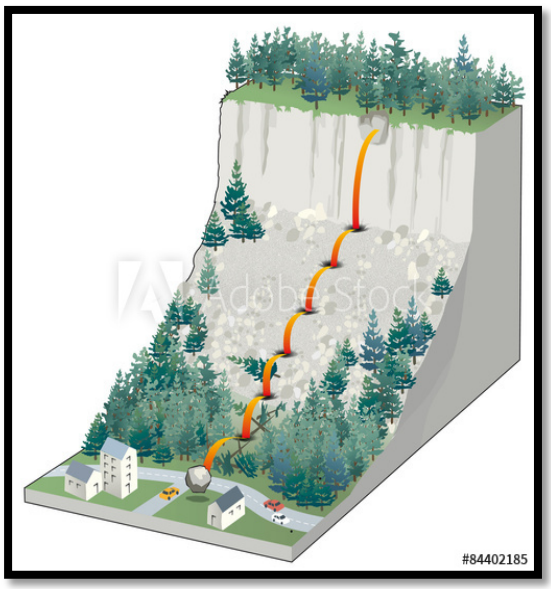


Fig.II.8 : Illustration de chute de blocs.

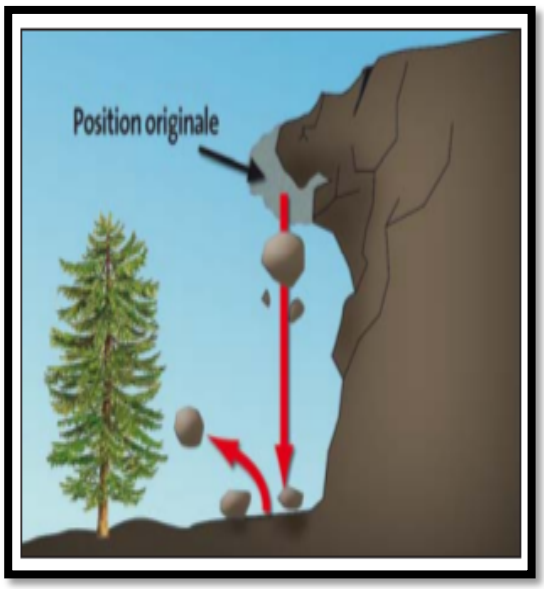


Fig.II.9 : Illustration de chute de blocs.

Fig.II.10 : Chute de pierres à Aokas, Bejaïa 2015.

II.3.2.1.1 Les facteurs d'instabilité de la falaise littorale

1. **Facteurs liés à la nature de la roche** : suivant le type de craie (plus ou moins argileuse, présence de silex) celle-ci est plus ou moins sensible aux agents d'érosion.
2. **Facteurs liés à la structure du massif** :
   - Fréquence et dimension des discontinuités.
   - Orientation des plans de fracture.
   - État de surface des plans de fracture et présence ou non de remplissage des fractures.

3. **Facteurs morphologiques** :
    - Orientation de la côte par rapport à la houle.
    - Orientation de la côte par rapport aux vents dominants.
    - Présence d'un cordon de galets protecteurs.
4. **Actions marines** :
    - Houle : une vague de 4 à 5 m de haut libère l'équivalent d'énergie d'une masse de 10 tonnes percutant la falaise à 100 km/h par mètre linéaire de falaise.
    - Courants de marée.
5. **Actions continentales** : eaux de ruissellement et d'infiltration, gel, vent, végétation.
6. **Actions chimiques** : dissolution de la craie par les eaux d'infiltration.
7. **Actions humaines** : extraction de matériaux, rejet d'eaux, construction d'ouvrages.

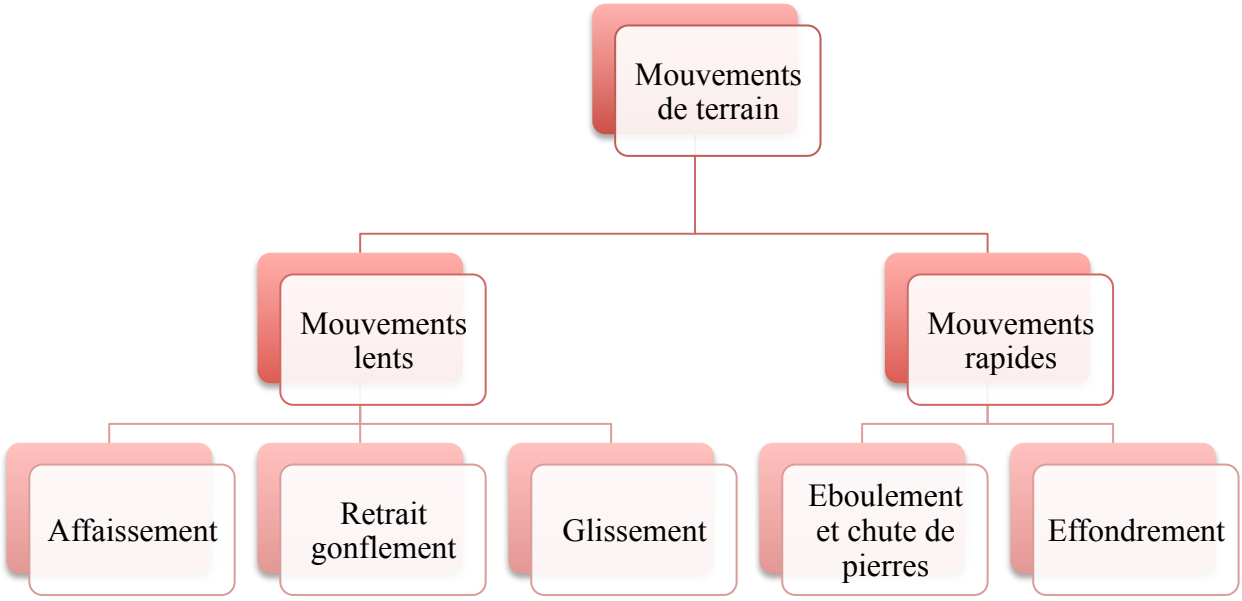


Fig.II.11 : organigramme sur les types des mouvements de terrain**.**

II.4 Comment se produisent les mouvements de terrain

II.4.1 Les mouvements lents

- **Les tassements et les affaissements** : certains sols compressibles peuvent se tasser sous l'effet de surcharges (constructions, remblais, circulation d'engins) ou en cas d'assèchement (drainage, pompage). Ce phénomène est à l'origine de l'affaissement de sept mètres de la ville de Mexico et du basculement de la tour de Pise.

- **Le retrait-gonflement des argiles** : les variations de la quantité d'eau dans certains terrains argileux produisent des gonflements (période humide) et des tassements (période sèche).
- **Les glissements de terrain** : ils se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau. Ils peuvent mobiliser des volumes considérables de terre, qui se déplacent le long d'une pente.

II.4.2 Les mouvements rapides

- **Les effondrements de cavités souterraines :** l'évolution des cavités souterraines naturelles (dissolution de gypse) ou artificielles (carrières et ouvrages souterrains) peut entraîner l'effondrement du toit de la cavité et provoquer en surface une dépression généralement visible, le plus souvent comme un trou de forme circulaire.
- **Les écroulements (ou éboulements) et les chutes de blocs :** l'évolution des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres (volume inférieur à 1 dm3), des chutes de blocs (volume supérieur à 1 dm3) ou des écroulements en masse (volume de centaines de m3 et pouvant atteindre plusieurs millions de m3). Les blocs isolés rebondissent ou roulent sur le versant, tandis que dans le cas des écroulements en masse, les matériaux "s'écoulent" à grande vitesse sur une très grande distance (cas de l'écroulement du Mont Granier en Savoie dont les matériaux calcaires ont parcouru une distance horizontale de 7 km, et se sont étalés sur une surface de 20 km2 environ).
- **Les coulées boueuses :** sont caractérisées par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide. Elles se produisent sur des pentes, par dégénérescence de certains glissements avec afflux d'eau.

II.5 Les effets des mouvements de terrain

II.5.1 Les effets sur les personnes

Les personnes sont touchées de manière variable selon le type de mouvement de terrain. Cela peut aller d'une route impraticable momentanément (N1 à la Réunion), à l'expropriation (quartier pavillonnaire du François en Martinique, village de Criel-sur-Mer en Haute-Normandie ou ville de Moutiers en Lorraine).

Le caractère soudain des chutes de pierres et de blocs ou la grande quantité de matériaux déplacée lors d'un glissement de terrain sont les caractéristiques des aléas les plus mortifères, surtout si les enjeux sont urbains comme à Lyon en 1932 (2 glissements à 6 mois d'intervalle, totalisant 70 victimes).

II.5.2 Les effets économiques

Les biens individuels ou collectifs peuvent être détériorés voire détruits par les mouvements de terrain : bâtiments fissurés (un peu partout en France en cas de retraits-gonflements), ensevelis ou emportés par les matériaux dans les autres types de phénomènes. Le coût direct est souvent considérable : 150 000 € en moyenne pour un mouvement de terrain selon la caisse centrale de réassurance.

L'envahissement de la ville de Modane par une coulée boueuse en 1987 a coûté 6 millions €. Entre 1989 et 1992, les dommages dus au retrait sur l'ensemble du territoire ont coûté 2 milliards €. Les dysfonctionnements de la vie socio-économique (établissements fermés, chômage), les communications réduites (téléphone, routes impraticables) sur des sites souvent d'accès naturellement limité (montagne) s'ajoutent au coût direct.

II.5.3 Les effets sur l'environnement

Les mouvements de terrain ont un effet le plus souvent dommageable sur le milieu naturel.

Des dommages, voire une destruction de la végétation et de la faune (par déport, isolement ou étouffement) est causée par les éboulements ou les effondrements. Des cours d'eau peuvent être retenus par obstruction du lit majeur. Leur libération, par fragilisation du barrage de matériaux et effet de chasse, provoque une arrivée massive d'eau, pouvant entraîner un sur accident dans un espace urbanisé, industriel ou technologique sensible.

La destruction de zones boisées accélère la fragilisation du couvert végétal face aux intempéries futures et provoquent une accélération de l'érosion.

II.6 Les causes des mouvements de terrain

Les causes des mouvements de terrain diffère d'un type a l'autre on site quelques causes :

II.6.1 Affaissement et effondrement

La présence de cavités souterraines est la cause essentielle d'apparition des effondrements de terrain.

Les vides souterrains peuvent être :

- Consécutifs aux travaux de l'homme (carrières abandonnées, sapes de guerres, etc).
- Liés uniquement à des causes naturelles : il s'agit essentiellement de la dissolution de matériaux solubles (calcaire, gypse, sel) conduisant au phénomène de karstification.

Le déclenchement des effondrements de terrain dus aux carrières souterraines résulte souvent de facteurs naturels (eau, séisme, affaiblissement des caractéristiques mécaniques des matériaux des éléments porteurs, etc.).

Les effondrements dus à la dissolution de matériau soluble se produisent dans les terrains sableux ou gypseux et peuvent s'accélérer en présence d'eaux agressives : on a pu constater l'apparition de vides d'ampleur dangereuse en quelques dizaines d'années. En terrain calcaire, la dissolution est bien plus lente et n'évolue guère à l'échelle humaine.

II.6.2 Eboulement et chutes de pierres

Les éboulements et chutes de blocs se produisent à partir de falaises, d'escarpements rocheux, de formations meubles à blocs (moraines par exemple) ou de blocs provisoirement immobilisés sur une pente.

La densité, l'orientation des discontinuités, la structure du massif rocheux et la présence de cavités constituent des facteurs de prédisposition à l'instabilité.

La phase de préparation, caractérisée par l'altération et l'endommagement progressifs du matériau et accompagnée d'ouvertures limitées des fractures difficiles à déceler, peut être longue.

Les principaux facteurs naturels susceptibles de déclencher éboulements et chutes de blocs sont :

- Les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges.
- L'alternance gel/dégel.
- La croissance de la végétation.
- Les secousses sismiques.
- L'affouillement ou le sapement de la falaise.

II.6.3 Le glissement

Les conditions d'apparition du phénomène sont liées à la nature et à la structure des terrains, à la morphologie du site, à la pente topographique et à la présence d’eau.

Les facteurs à même de déclencher un glissement de terrain peuvent être d'origine naturelle ou anthropique.

Parmi les facteurs d'origine naturelle, on identifie :

- Les fortes pluies et la fonte des neiges.
- L’affouillement des berges.

- L'effondrement de cavités sous minant le versant.
- Le séisme.

Les facteurs d'origine anthropique sont généralement les suites de travaux d'aménagement : surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejets d'eau, pratique culturale, déboisement, etc.

II.7 Les mesures préventives contre les mouvements de terrain

II.7.1 Affaissement et effondrement

Il existe différents moyens techniques pour réduire le risque d'effondrement. Cependant, il y a deux méthodes particulières pour procéder. Soit on agit sur la cavité elle-même pour la consolider ou la combler afin de réduire l'aléa effondrement. Soit on agit sur les aménagements déjà présents (bâtiments, réseaux), à l'aplomb ou aux abords des cavités souterraines, afin de réduire leur vulnérabilité.

L'alliance des deux méthodes est souvent la solution la plus pérenne et efficace.

Pour réduire l'aléa, on peut :

- consolider la cavité :
  - en ancrant ou boulonnant le toit et les piliers, pour maintenir sa cohérence et éviter sa dislocation.
  - en réalisant des éléments de maçonnerie de soutènement pour limiter les déformations des parois et du toit.
  - en créant de nouveaux piliers artificiels pour consolider certains piliers délabrés ou en complément de ces derniers.
- combler la cavité.

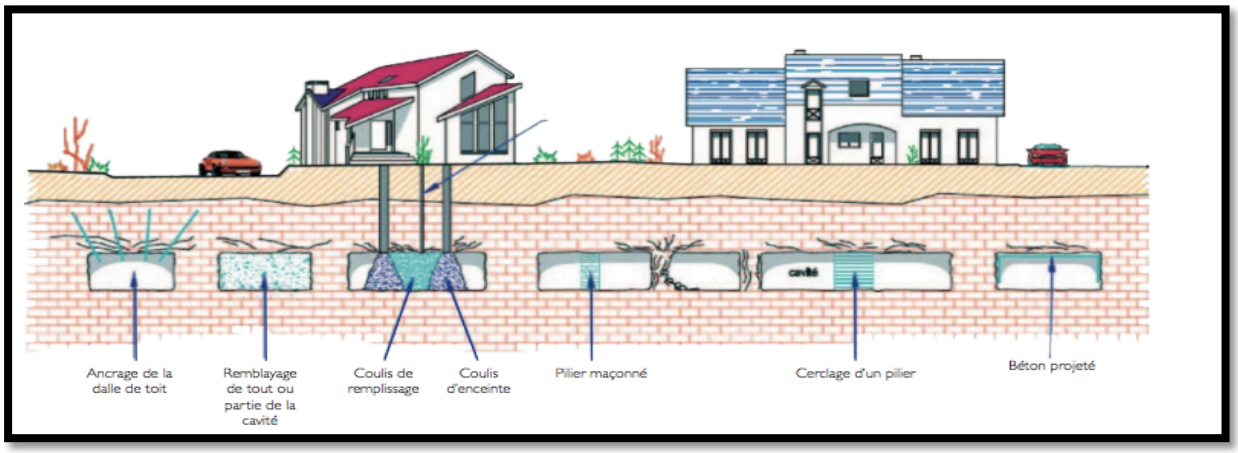


Fig.II.12 : Les différents types de réduction de l'aléa effondrement de cavité souterraine.

Pour réduire la vulnérabilité des infrastructures, on peut :

- Mettre en place un géotextile parachute sous les voiries et les zones de stationnement,
- Réaliser un radier ou un chaînage à la base de la construction pour rigidifier la construction,
- Installer des fondations profondes reposant sur une couche saine, sous les cavités,
- Imperméabiliser les zones à for te infiltration pour limiter l'érosion aux abords des cavités.

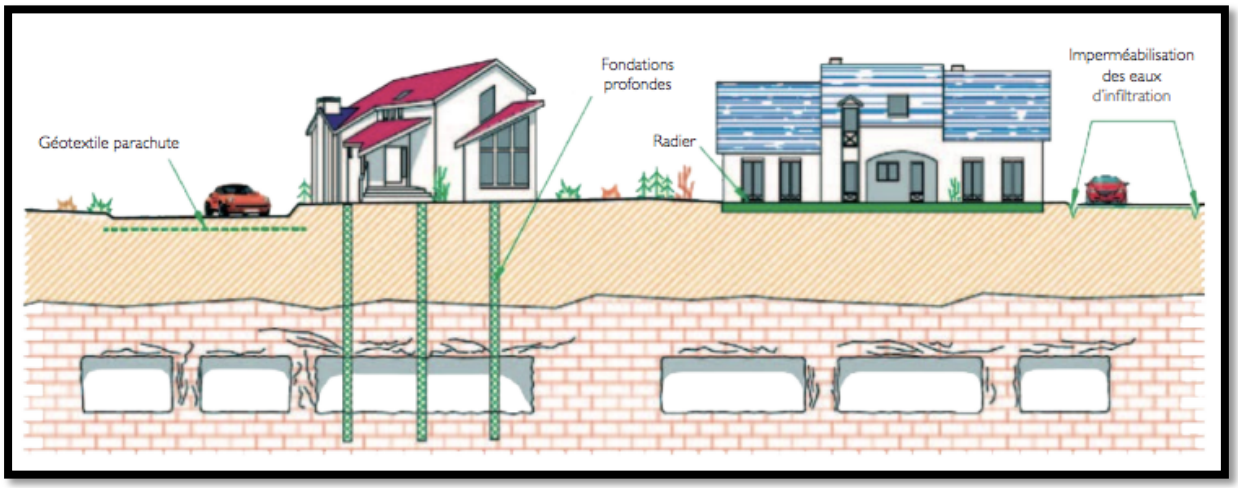


Fig.II.13 : Les différents types de réduction de la vulnérabilité face au risque d'effondrement de cavité Souterraine.

II.7.2 Eboulement et chutes de pierres

On distingue deux modes de protection principaux :

La protection active, vise à empêcher les blocs et les pierres de se détacher des parois. Elle consiste à :

- Poser des filets ou grillages plaqués, permettant d'arrimer les blocs à la paroi.
- Conforter les parois par massif bétonné ou par béton projeté empêchant le décrochement de blocs.
- Clouer les parois, limitant le départ d'éléments rocheux par des ancrages reprenant une partie des efforts de cisaillement et de traction, ou des tirants qui introduisent un effort de compression sur le massif rocheux.

La protection passive, consiste essentiellement à interposer un écran entre le massif rocheux et les enjeux. Il peut s'agir :

- D'un merlon pouvant arrêter des blocs volumineux.
- D'écrans interceptant des blocs dans la pente.

- De déviateurs, comme des grillages pendus guidant les blocs en pied de falaise.
- De boisements capables de freiner, voire stopper, des blocs.

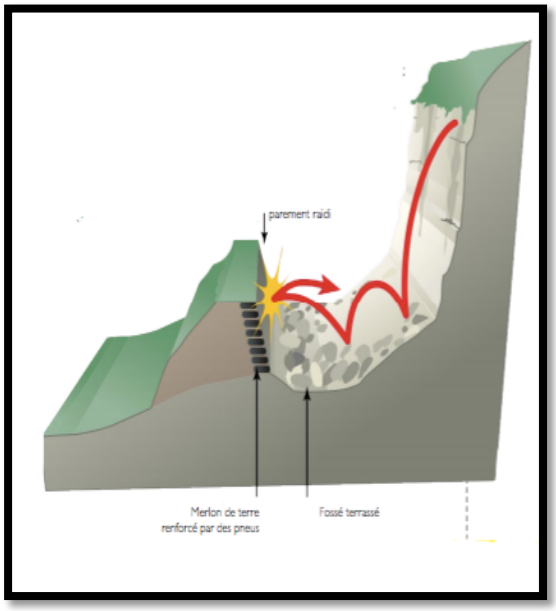


Fig.II.14 : Principe de la protection par un merlon.

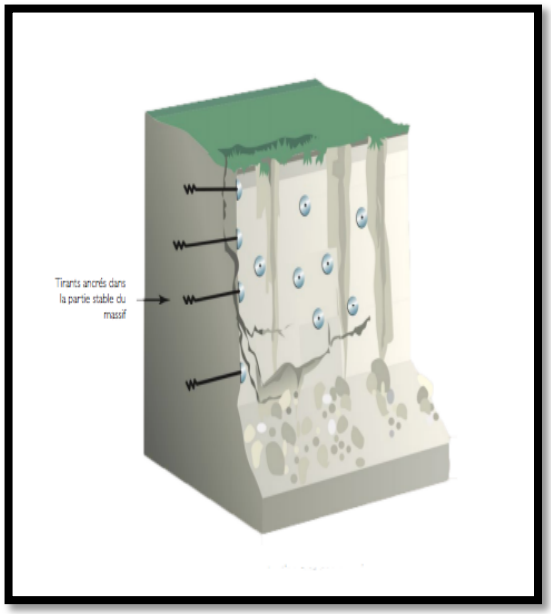


Fig.II.15 : Principe de la protection par ancrage du rocher.

II.7.3 Retrait-gonflement

Les constructions les plus vulnérables sont les maisons individuelles, avec un simple rez-de-chaussée et des fondations de faibles profondeurs.

S'il est techniquement possible de construire sur tout type de sol argileux, des mesures simples sont à respecter avant de construire une maison, pour limiter par la suite le risque de retrait-gonflement des argiles :

• **réaliser une étude géotechnique** avant la construction afin d'adapter le projet.

• **respecter les mesures constructives** comme l'approfondissement des fondations, ou la rigidification de la structure par chaînage pour limiter les dommages sur les bâtiments.

• **maîtriser et éloigner les rejets d'eau dans le sol** (eaux pluviales, et eaux usées) pour réduire les variations et les concentrations d'eau et donc l'intensité du phénomène.

• **éloigner les plantations** d'arbres et d'arbustes des bâtiments.

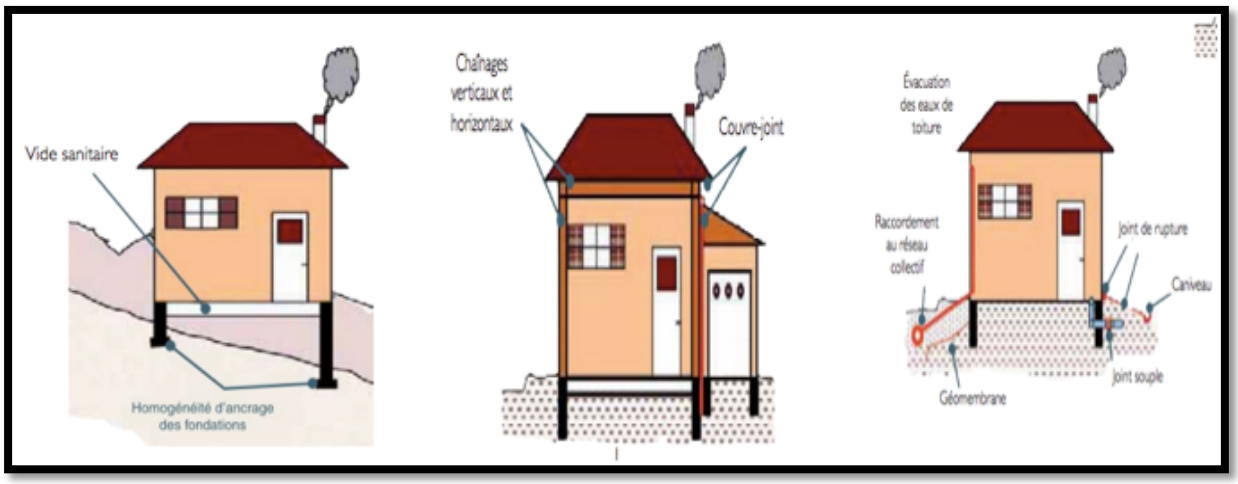


Fig.II.16 : Les différents types de réduction de l'aléa retrait gonflement.

II.7.4 Le glissement

Il n'est pas possible de maîtriser les conséquences des glissements de terrain majeurs vu les grandes quantités des matériaux mis en jeu. Il existe cependant quelques aménagements possibles pour lutter contre les glissements de faible ampleur.

• La réalisation d'un système de drainage pour limiter l'infiltration d'eau, généralement responsable du déclenchement du glissement.

• La mise en place d'un mur de soutènement en pied de glissement limite leur développement.

• La végétalisation des versants réduit la quantité de matériaux mobilisés lors d'une coulée de boue, et donc son intensité.

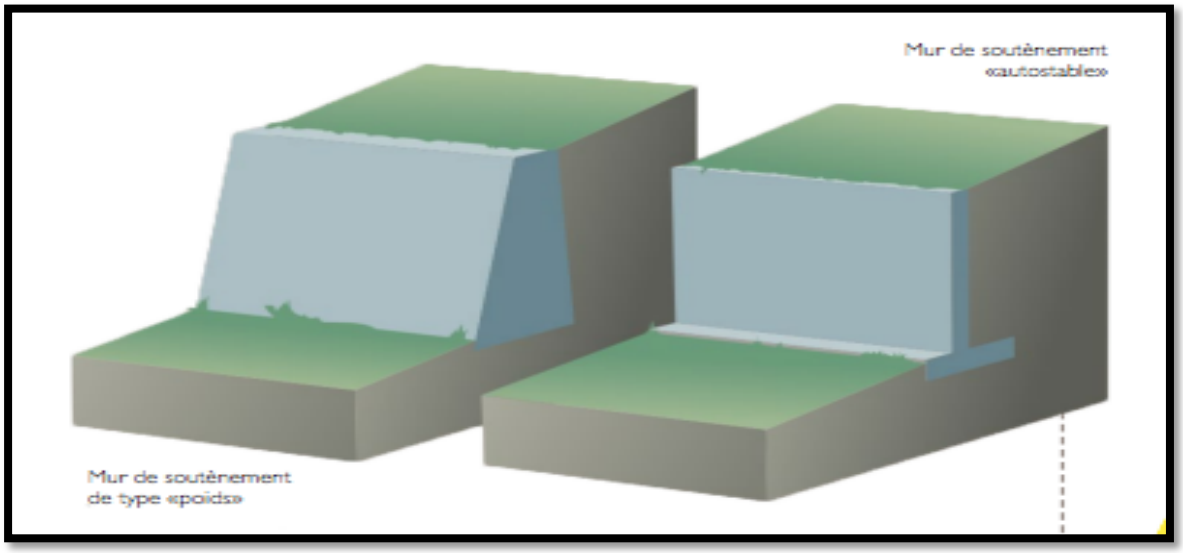


Fig.II.17 : Murs de soutènement pour stabiliser les versants et limiter les glissements de terrain.

II.8 Les enjeux et conséquences des mouvement de terrain

Les grands mouvements de terrain étant souvent peu rapides, les victimes sont, fort heureusement peu nombreuses. En revanche, ces phénomènes sont souvent très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages aux biens sont considérables et souvent irréversibles.

Les bâtiments, s'ils peuvent résister à de petits déplacements, subissent une fissuration intense en cas de déplacement de quelques centimètres seulement. Les désordres peuvent rapidement être tels que la sécurité des occupants ne peut plus être garantie et que la démolition reste la seule solution.

Les mouvements de terrain rapides et discontinus (effondrement de cavités Souterraines, écroulement et chute de blocs, coulée boueuse), par leur caractère soudain, augmentent la vulnérabilité des personnes. Ces mouvements de terrain ont des conséquences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication...), allant de la dégradation à la ruine totale ; ils peuvent entraîner des pollutions induites lorsqu'ils concernent une usine chimique, une station d'épuration, etc.

Dans des cas exceptionnels, les éboulements et chutes de blocs peuvent entraîner un remodelage des paysages, comme l'obstruction d'une vallée par les matériaux déplacés engendrant la création d'une retenue d'eau pouvant rompre brusquement et entraîner une vague déferlante dans la vallée.

Chaque type de mouvement de terrain se caractérise par des dégâts particuliers dont la gravité est évaluée sur une échelle allant de « très faible » à « majeure » :

- gravité "Très faible" = pas d'accident.
- gravité "Moyenne" = accident isolé.
- gravité "Forte" = quelques victimes.
- gravité "Majeure" = quelques dizaines de victimes.

II.8.1 Glissement de terrain

Gravité : « Très faible » à « Moyenne »

Les glissements de terrains peuvent entraîner des dégâts importants aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer leur ruine complète.

L'expérience montre que les accidents de personnes dus aux glissements de terrains sont peu fréquents, mais possibles dans le cas d'un phénomène relativement rapide et/ou survenant de nuit.

II.8.2Chutes de blocs et éboulement

Gravité : « Moyenne » à « Majeure »

Étant donné la rapidité, la soudaineté et le caractère souvent imprévisible de ces phénomènes, les instabilités rocheuses constituent des dangers pour les vies humaines, même pour de faibles volumes (chutes de pierres). Les chutes de blocs, et a fortiori les éboulements, peuvent causer des dommages importants aux structures pouvant aller jusqu'à leur ruine complète, d'autant plus que l'énergie (fonction de la masse et de la vitesse) des blocs est grande.

II.8.3 Effondrement

Gravité : « Moyenne » à « Forte »

Les effondrements brutaux peuvent entraîner la ruine des constructions et causer des victimes.

II.8.4 Coulées de boue

Gravité : « Forte » à « Majeure »

Erosion de berge

L'érosion rend les berges plus sujettes aux glissements ou éboulements. Lors de glissements et éboulements brutaux, des vies humaines sont susceptibles d'être concernées. Les constructions peuvent être impactées dès lors que le phénomène de glissement ou d'éboulement se produit.

II.9 Les comportements face aux mouvements de terrain

❖ **AVANT**

- Avant la construction de votre maison, renseignez-vous sur la présence d'argile dans les sols et référez-vous aux recommandations du guide édité par le ministère de la Transition écologique et solidaire.
- Renseignez-vous, en mairie, de l'existence d'un PPRN (plan de prévention des risques naturels). Le cas échéant, identifiez les mesures applicables à sa propriété et/ou son habitation.
- Pour les mouvements lents, détectez les signes précurseurs : fissures murales, poteaux penchés, terrains ondulés ou fissurés. Et en informez les autorités.

❖ PENDANT

- Écoutez les médias et suivez les recommandations émises par les autorités.
- Informez le groupe dont on vous responsable.
- N'allez pas chercher vos enfants, ils seront pris en charge par les équipes pédagogiques et les secours en milieu scolaire et périscolaire.
- Évitez de téléphoner pour laisser les secours disposer au mieux des réseaux.

❖ APRES

- Évaluez les dégâts.
- Eloignez-vous des points dangereux.
- Informez-vous : écoutez et suivez les consignes données par les autorités dans les médias et sur les réseaux sociaux.
- Informez les autorités de tout danger observé.
- Apportez une première aide aux voisins : pensez aux personnes âgées et handicapées.
- Mettez-vous à la disposition des secours.

II.10 Conclusion

Les mouvements de terrain présentent une grande variété et jouent, par conséquent, un rôle prépondérant dans l'évaluation des versants pré rifains. Ils accidentent intensément la topographie des versants, tout en occupant de vastes superficies qui restent, généralement, improductives.

Ces mouvements de terrain se différencient, tant par la taille que par les mécanismes d'évolutions. Leur distribution dans l'espace montre que les secteurs les plus perturbés, correspondent généralement aux affleurements de roches tendres marneuses ou marnocalcaires di Crétacé ou du Néogène. Quant à leur répartition dans le temps, elle montre une prédominance des formes mineures pendant l'automne ; cependant, les mouvements de grande ampleur n'apparaissent qu'en fin d'hiver et au printemps, ou la saturation en eau des formations est grande. Pour les mécanismes d'évolution, les mouvements de masse œuvrent dans les paysages morphologiques hérités, d'autant plus qu'ils exigent un matériel épais et hétérogène. Favorable à l'infiltration avec une prédominance des éléments argileux et une forte abondance des eaux d'imprégnation.

Chapitre III

III.1 Introduction

L'homme ne cesse de chercher de nouveaux lieux et terrains en vue de l'établissement de nouvelles agglomérations, avec l'ensemble des équipements nécessaires à l'intérêt public (urbanisation, infrastructures routières, les réseaux de transport d'énergie, exploitation du sol, etc.). Ceci exige une planification bien adaptée à la nature et aux particularités des espaces conquis.

L'intention des chercheurs et des autorités publiques s'est tournée ces dernières années vers un phénomène naturel qui ne cesse de s'amplifier et de causer des désordres de plus en plus importants. Ce phénomène que l'on dit naturel est un déplacement du sol qui peut être plus ou moins brutal, et cela sous l'effet d'influences naturelles et météorologiques (tels l'érosion, la pesanteur, les séismes…) ou anthropiques (tels l'exploitation de matériaux, déboisement, terrassements, surcharges…).

Ce chapitre présente des généralités sur les glissements des terrains.

III.2 Définition du glissement de terrain

Il s'agit du déplacement lent d'une masse de terrain cohérente le long d'une pente. Cette surface a une profondeur qui varie de l'ordre du mètre à quelques dizaines voire quelques centaines de mètres dans des cas exceptionnels. Les volumes de terrain mis en jeu sont alors considérables. Les vitesses d'avancement du terrain peuvent varier jusqu'à atteindre quelques décimètres par an. Lorsqu'il y a rupture, ces vitesses peuvent atteindre quelques mètres par jour durant la période la plus active.

Les glissements de terrain sont de plus en plus nombreux. Pour certains, cela est notamment du à l'accroissement de la population qui entraîne une plus forte exploitation des terres, notamment dans les pays en voie de développement et à une augmentation des précipitations. Les glissements de terrain peuvent varier sensiblement en taille, survenir rapidement ou lentement et être causés par différents facteurs tels que les tempêtes, inondations, séismes, le raidissement des pentes consécutif à l'érosion ou l'activité humaine.

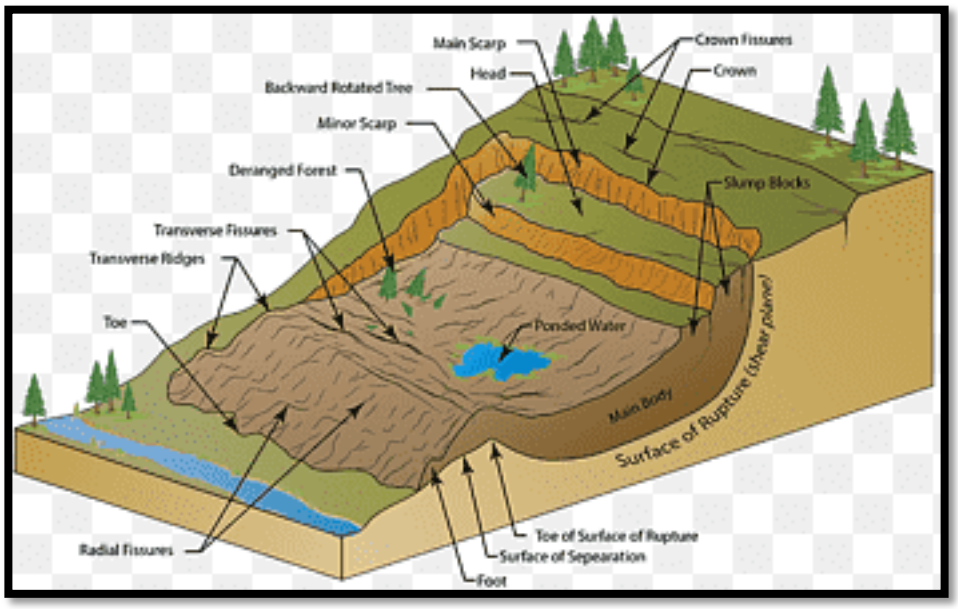


Fig.III.1 : schéma explicatif de glissement de terrain.

III.3 Les types de glissement de terrain

Les glissements de terrains se différencient par leur forme et leur vitesse.

III.3.1 selon la forme

On distingue principalement deux formes du glissement de terrain :

II.3.1.1 Glissements rotationnels

Ils se produisent généralement dans des terrains meubles homogènes (Argileux et silteux) ou dans des roches homogènes où les discontinuités géologiques sont insuffisantes pour influencer la forme de la surface de glissement. La masse se déplace vers l'aval le long d'une surface assimilée généralement dans les calculs de stabilité à un arc de cercle.

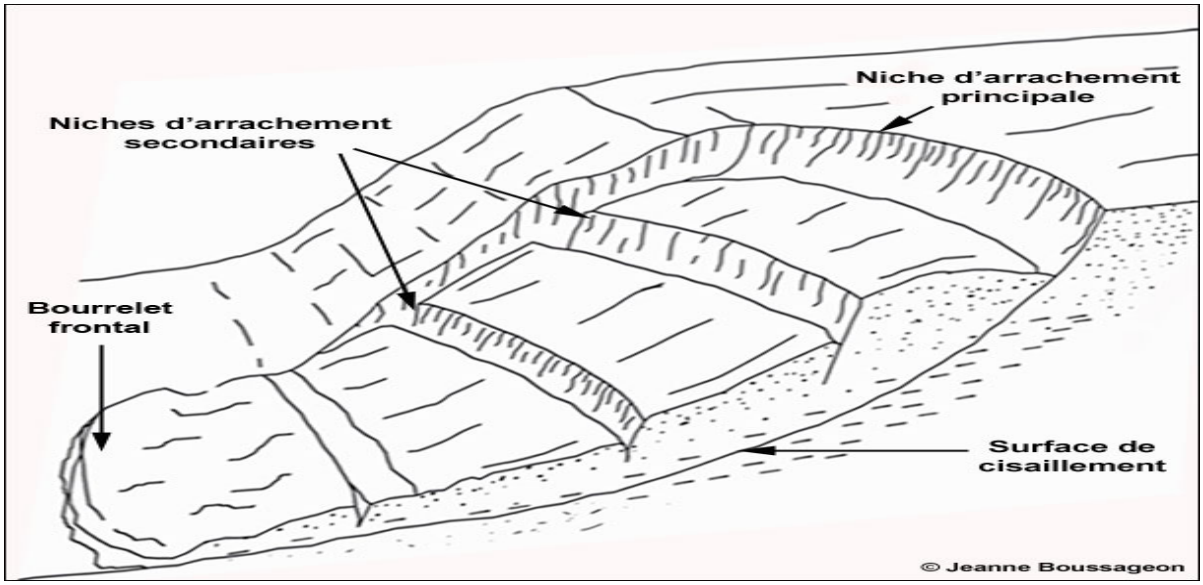


Fig.III.2 : Structure d'un glissement de terrain rotationnel.

III.3.1.2 Glissements plans

On rencontre ce type de glissements généralement dans les sols stratifiés ou dans les roches fissurées il se produit le long du joint de stratification (il se produit généralement au contact entre le substratum et le matériau de couverture). L'ensemble des couches se déplace selon une surface de rupture plus ou moins plane. L'épaisseur des terres glissées peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Dans certains cas les glissements sont plus complexes, ils résultent d'un emboitement de glissements rotationnels, dans ce cas la surface de rupture globale n'est plus circulaire (glissements par escaliers, glissements régressifs), on rencontre généralement ce type d'instabilité dans des terrains hétérogènes et anisotropes.

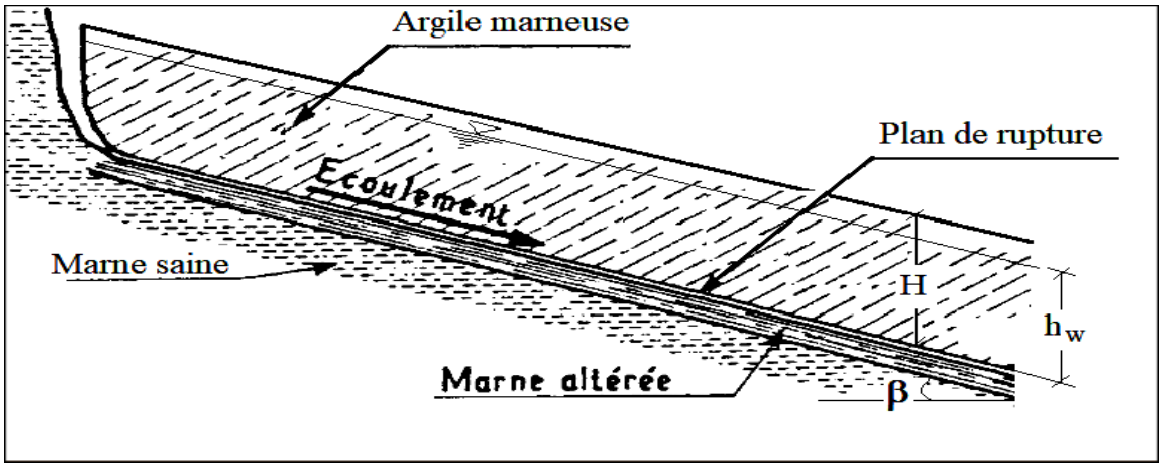


Fig.III.3 : Schéma d'une couche d'argile en plan de glissement.

III.3.2 selon la vitesse

On distingue :

III.3.2.1 Glissement de terrain permanant

C'est un mouvement qui s'étend sur une longue période, la masse de terre se déplace régulièrement vers l'aval le long d'une surface de rupture existante, avec des phases d'accélération et de réactivation.

III.3.2.2 Glissement de terrain spontané

C'est un mouvement relativement rapide qui se produit contrairement au glissement permanant le long d'une nouvelle surface de glissement, il se déclenche de manière subite avec des vitesses instantanées élevées, la teneur en eau étant insuffisante pour induire la liquéfaction du matériau (le sol garde une partie de sa cohésion) donc une surface de glissement peut être observée (pas de coulée).

III.4 classification des glissements de terrain

Les classifications visant à décrire et à déterminer les différents processus de déstabilisation de pente sont nombreuses. Dés 1846 [6]Collin, dans son ouvrage « Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux » différenciait deux types de mouvements :

- Les mouvements de fond (glissements profonds).
- Les mouvements superficiels.

De nombreux auteurs, ont présentés plusieurs classifications des mouvements des terrains, en faisant intervenir des critères tels que : nature du matériau, cinématique du mouvement, vitesse du mouvement, morphologie et type de surface de rupture, cause de la rupture, l'âge de la rupture, etc.

Classification de Nemcok et al. (1972) [6], leurs classification est basées sur le caractère géomécanique des mouvements de pente et de leur vitesse, quatre (04) processus sont distingués : fluage, glissement, écoulement et écroulement. D'autre Classification avec Varnes (1978), les types de mouvements de versant sont suivants : éboulements, Glissements, Extension latérale, Ecoulement, Complexes, Echelle de vitesse. La classification de Varnes propose également une échelle de vitesse afin de caractériser le degré d'activité des différents mouvements.

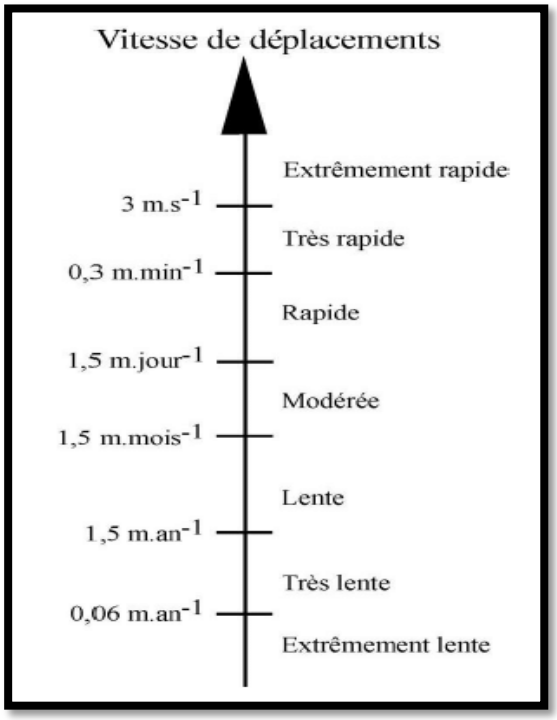


Fig.III.4 : Degré d'activité en fonction des vitesses de déplacement.

Dans le même contexte des classifications 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 contribution. 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.

Tab.III.1 : Classification des glissements de terrain en fonction de leur vitesse de déplacement Vd.[6]

vitesse	description
Vd < 16 mm/an	Extrêmement lent
16 mm/an < Vd < 1.6 m/an	Très lent
1.6 m/an < Vd < 13 m/mois	Lent
13 m/mois < Vd < 1.8 m/h	Modéré
1.8 m/h < Vd < 3 m/mn	Rapide
3 m/n < Vd <5 m/s	Très rapide
Vd < 5 m/s	Extrêmement rapide

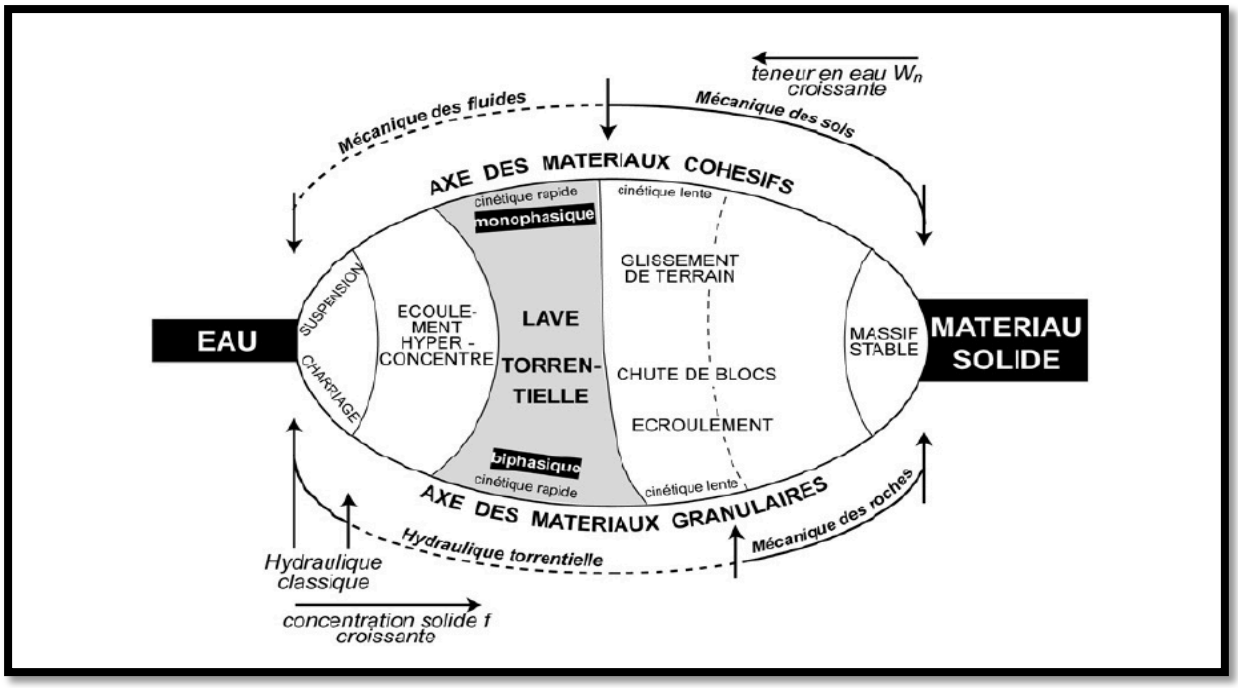


Fig.III.5 : Classification des mouvements de terrain d'après Meunier (1991).

En partant du pole eau, on peut déterminer à partir de quelle charge solide, le matériau solide transporté modifie la loi de comportement du mélange et influe sur la hauteur de l'écoulement. Autrement dit, à partir d'une certaine limite de concentration solide, la façon de procéder classiquement (équations de l'eau, hydraulique fluviale) n'est plus possible. En augmentant la charge solide au sein de l'écoulement, on passe progressivement à l'hydraulique fluviale (charriage, suspension), puis à l'écoulement hyper concentré et enfin aux laves torrentielles. Si l'on part maintenant du pole matériau solide, on étudie à partir de quelle teneur en eau un mouvement peut se déclencher. La problématique scientifique consiste à étudier la rupture et les conditions de stabilité des terrains. On cherche à déterminer à partir de quelles limites (relativement méconnues) un écoulement ou un mouvement de terrain (glissement, éboulement, écroulement) pourrait se transformer en lave torrentielle. Les glissements de terrain dans les sols et les roches meubles se manifestent sous plusieurs formes (Tab.III.2 : glissement plan ou circulaire, déplacement latéral, coulée boueuse, coulée de débris, reptation), intéressent des surfaces variables.

Tab.III.2 : Classification typologique des glissements de terrain.

Type de glissement		**Type de sol ou de roche meuble**	
		Grossier	Fin
Glissement	Rotationnel	Glissement de débris	Glissement boueux
	Translationnel		
Déplacement latéral		Déplacement de débris	Déplacement boueux
Coulée		Coulée de débris	Coulée boueuse
Complexe		Combinaison d'au moins deux mécanismes	

Les glissements sont des déplacements de matériaux (roches fines indurées ou meubles, sols naturels ou anthropiques) le long d'une surface basale de cisaillement.

Tab.III.3 : Classification des glissements de terrain en fonction de leur surface.

Surface (m2)	Description
< 200	Très petit
200 < S < 2000	Petit
2000 < S < 20000	Moyen
20000 < S < 200000	Grand
200000 < S < 2000000	Très grand
S < 2000000	Vaste

III.5 processus de glissement de terrain

Les glissements de terrain se caractérisent par la translation latérale d'une certaine masse de matériaux au niveau d'une surface de rupture nettement individualisée et se produisent généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles..). Les glissements sont des mouvements qui affectent le plus fréquemment les ouvrages de génie civil et génie minier [7].

III.6 Les causes de glissement des terrains

De nombreux facteurs rendent les pentes instables. Certains sont ceux naturels, d'autres humaine et parfois sont la combinaison de causes diverses. En général, il est peu probable d'envisager un motif isolé qui agit seul et provoque l'instabilité de la pente. Ici, nous allons discuter des causes naturelles et des causes humaines des glissements de terrain.

III.6.1 Les causes naturelles

Cette catégorie comprend diverses causes naturelles qui peuvent être produites individuellement ou combinées. Parmi les causes principales : la configuration de la pente, l'aspect géologique, les propriétés mécaniques et la classe de sol, l'eau, l'érosion, tremblement de terre, la météo, etc. La configuration de la pente est liée aux données géométriques que la rampe, déclivité et l'orientation des couches en relation à la pente. Géologie intervient dans le soulagement de la géomorphologie et de la stratification. Les propriétés mécaniques sont fondamentales. En effet, ils affectent la stabilité de la pente et de déterminer l'interaction des interfaces de couches. La variation due aux conditions hydrauliques comme nous le verrons ci-dessous parmi les causes directes des glissements de terrain. L'eau joue un rôle important c'est l'un des facteurs principal de glissement de terrain. L'existence de l'eau près de la pente se produit avec de nombreuses façons que les précipitations, les rivières, les barrages, les lacs, les eaux souterraines, etc ... Le taux de variations de la pression interstitielle peut être lent ou

rapide en fonction de la perméabilité du sol. De plus, l'eau augmente le poids de l'unité de sol et peut conduire à une réduction des forces de cisaillement des sols que la pression des pores augmente. L'autre facteur naturel est l'activité sismique. De nombreux glissements de terrain ont eu lieu pendant les tremblements de terre. Le tremblement de terre cause de l'expansion du sol et conduisent à une infiltration rapide de l'eau et la réduction de la résistance au cisaillement. Divers intempéries influe également sur les pentes.

Comme les cours d'eau, des produits chimiques et des actions mécaniques. L'altération mécanique est conséquence des facteurs suivants, les cycles de gel dégel, et le changement de la température, l'érosion par les cours d'eau, le vent, les arbres et les racines de la végétation. Ces causes décomposent les roches en fragments plus petits et réduit la résistance au cisaillement du sol en raison de la puissance développée par les forces physiques. L'effet de l'altération chimique peut être influé après quelques jours à plusieurs années. Changements Chimiques en raison des facteurs suivants : les acides dans l'eau de la rivière, dans l'air, et sous la pluie. En plus des propriétés du matériau de la pente, l'altération chimique dépend d'autres facteurs tels que le climat, les détails géologiques, et le drainage. Les actions de ces facteurs minéraux de dégradation du sol à de nouveaux composites. Bjerrum (1967) a discuté de l'altération chimique dans les argiles consolidées, dans son document de l'état de l'art sur la rupture progressive de la pente dans plus argiles plastiques consolidés et argile shales. Il y a beaucoup d'autres causes dans cette catégorie comme les éruptions volcaniques qui nécessitent des considérations et de surveillance particulières. Dans l'enquête de la stabilité des pentes, il est une tâche importante de connaître les causes et comprendre l'évolution du mécanisme de rupture.

III.6.2 Les causes humaines

Il y a plusieurs facteurs Humain contribue à la manifestation des glissements. Parce que la croissance de population et de plus en plus sur des nouvelles terres avec les créations de villes, cette urbanisation et développement grossissant le danger de nombreux types de catastrophes, la diapositive des pentes est l'un de ces catastrophes. Les activités humaines peuvent résulter d'une modification de la morphologie de la pente ou la forme sol: illustrations inclure pentification de la pente ou l'affaiblissement de la pied; et créer des fissures au cours de l'excavation; ou la déforestation. D'autres causes associées à une charge supplémentaire : il y a beaucoup de types de charges peuvent être à court terme, tels que le passage des véhicules, des vibrations des machines ; ou peut être permanente, par exemple la construction d'un bâtiment. Pentes instables peuvent également se produire par des causes

dues à d'autres activités humaines liées à l'eau, tels que les fuites des tuyaux ; la création ou le drainage des réservoirs ; modèles de drainage inquiétants ou variables, et l'arrosage des pelouses.

III.7 Les facteurs intervenant dans les processus d'instabilité des terrains

L'analyse des glissements de terrain met en évidence un certain nombre de paramètres qui interviennent à différentes échelles de temps et qui peuvent être regroupé en trois catégories : les facteurs de prédisposition, les facteurs aggravants et les facteurs déclenchant. Ces trois aspects sont brièvement présentés et illustrés ci-dessous

III.7.1. Les facteurs de prédisposition

Les facteurs de prédisposition correspondent aux conditions intrinsèques d'un versant et ne sont pas susceptible de changer au cours du temps (échelle comprise entre 104 et 106 années). Elles sont déterminées par l'histoire géologique (éléments lithologiques, structurels, géomorphologiques, éboulis) et fluviatiles viennent s'ajouter à ces facteurs de prédispositions.

III.7.2 Les facteurs aggravants

Les facteurs aggravants sont liés d'une part aux processus climatologiques à moyen et longs termes (échelle comprise entre 10 et 104 années). Et d'autre part à l'utilisation du sol (déforestation, développement touristique par exemple). Les processus climatiques provoquent des impacts sur l'altération des formations géologiques, et sur le développement naturel du couvert végétal.

L'utilisation du sol peut également constituer un facteur aggravant pour les phénomènes de glissement de terrain comme par exemple la déforestation ou le développement de l'urbanisation (déstabilisation par terrassement, affouillement, accroissement des débits de pointe des cours d'eau, etc.….) par contre, l'utilisation du sol peut parfois jouer un rôle stabilisant par une diminution des infiltrations par exemple.

III.7.3 Les facteurs déclenchant

Les facteurs déclenchant initient le mouvement. Ils sont liés à des phénomènes météorologiques et hydrologiques extrêmes, à des phénomènes sismiques et/ou à des activités anthropiques ponctuelles. Ces phénomènes sont soit de courte durée soit de durée prolongée (échelle comprise entre quelques jours et quelques mois, voire quelques années). Les événements météorologiques et hydrologiques extrêmes peuvent provoquer une modification des conditions hydrogéologiques à très courte terme par une augmentation des pressions interstitielles par exemple, ce qui peut provoquer une dégradation des paramètres géotechniques (cohésion, teneur en eau) qui caractérisent une formation géologique. Les

vibrations produites par un tremblement de terre peuvent également être à l'origine du déclanchement d'un phénomène d'instabilité. Les activités anthropiques qui peuvent provoquer un glissement de terrain sont principalement liées à des excavations, des surcharges du terrain ou à la montée d'un plan d'eau suite à la construction d'un barrage par exemple

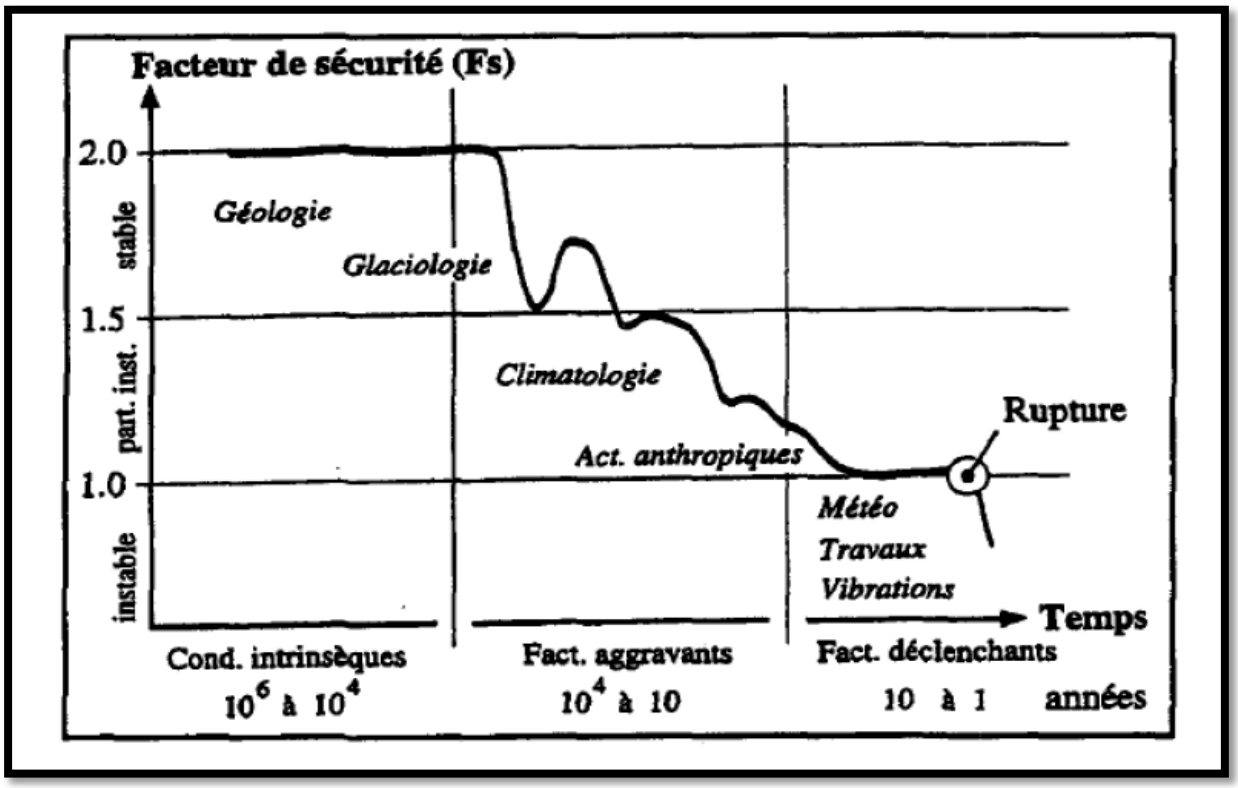


Fig.III.6 : Illustration schématique de l'évolution du facteur de sécurité (Fs) en fonction du temps des phénomènes d'instabilité qui se développent aujourd'hui.

III.8 Les phases des glissements

Les glissements de terrain se caractérisent par des phases d'activité où les vitesses de déplacement sont élevées alternées avec des phases de calme.

❖ K. Terzaghi (1950) proposent 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 du paroxysme (rupture) : 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 paroxysme 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.

Ensuite 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.

III.9 Les causes d'instabilité

L'évaluation de la stabilité (ou la non stabilité) d'une pente constitue l'un des problèmes les plus complexes de la géotechnique, du fait de leur dépendance de plusieurs facteurs qui interviennent généralement simultanément et leur évaluation (quantification) est souvent très difficile et très variable d'une part, et d'autre part, le fait qu'il faut les déceler et déterminer leur influence, et connaitre les facteurs qui jouent un rôle important dans la stabilité de la pente qu'il faudra prendre en compte dans chaque cas particulier.

On peut grouper ces facteurs en deux catégories :

III.9.1 Les facteurs passifs ou invariables

Généralement faciles à évaluer, on distingue :

- La géologie du site

Un glissement peut concerner le substratum rocheux (roches fissurées, les roches marneuses, roches schisteuses) ou les couches de sol superficielles (couverture d'altération, les marnes, les argiles, les calcaires)

- La structure du matériau

C'est l'étude des différentes roches et sols rencontrés, elle doit faire apparaitre des informations essentielles tels les types de couches rencontrées (la présence de niveaux altérés,

alternance de roches dures (compactes) et tendres, l'alternance de couches altérés et résistantes), la nature des joints de stratification, le pendage des couches, la présence de failles et de plissements...

- La lithologie du site

Elle étudie les caractéristiques des sols et roches existants sur le terrain, telle la composition, la texture, les caractéristiques mécaniques, la perméabilité, la susceptibilité d'altération...

- La morphologie du site

Définition de toutes les formes pouvant révéler l'existence de mouvements de terrain (telle la pente topographique du terrain) et leurs mécanismes (bourrelets, fissures, arbres inclinés) , l'âge des formations topographiques du site car le potentiel du risque de glissement de terrain peut être calculé aussi en évaluant l'âge de formation des pentes (pour une ancienne topographie le risque d'instabilité est inférieur par rapport à une topographie plus récente car l'ancienne a déjà résisté aux actions (sismiques, climatiques…) qui ont affecté le versant). De plus, l'emplacement et le type d'instabilité pouvant affecté le versant peuvent être déterminés en analysant la topographie du terrain tels l'inclinaison de la pente, son aspect, sa direction et sa courbure…

III.9.2 Les facteurs actifs ou variables

- Les facteurs climatiques

La pluie, la neige, le gel, le vent sont des facteurs variables et incontrôlables pouvant déclencher ou accélérer le processus glissement de terrain par l'effet de l'érosion, altération du sol ou de la roche, circulation d'eau en surface, augmentation de la pression interstitielle, arrachement des arbres…).

- Végétation

La couverture végétale joue un rôle très important dans la stabilité des talus qui peut être favorable (les racines augmentent la cohésion du sol), ou défavorable (l'effet du vent sur les arbres qui constitue un effort moteur, l'effet de levier qui peut arracher les arbres et laisser des vides dans le sol, l'érosion de la roche) de plus, elle peut nous renseigner sur la position de la nappe.

- Facteurs accidentels (séismes, vibrations, tremblements de terre)

Les vibrations créées dans le sol par ces actions accidentelles et la modification des conditions aux limites (augmentation des efforts) peuvent être à l'origine du déclanchement ou de la réactivation d'un glissement de terrain.

➢ Facteurs anthropiques

- Modification de l'hydrologie : les pertes des réseaux hydrauliques, toute modification de l'hydrologie par une activité humaine.
- Modification du relief : terrassement (suppression d'une butée, augmentation de la pente, surcharge du versant par un remblai).
- Les surcharges dues aux structures qui constituent un moment moteur.

III.10 Morphologie des glissements de terrain

III.10.1 Éléments d'un glissement

Les glissements de terrain sont initiés à partir d'une surface de rupture (de type rotationnelle ou translationnelle) crée sous l'action de contraintes tangentielles excédant la résistance au cisaillement des matériaux. L'action de l'eau a une grande influence dans leur déclenchement. Une fois la déstabilisation déclenchée, les masses mobilisées se propagent en aval, ce qui donne un modelé de versant caractéristique (Fig.III.7).

Les divers éléments d'un glissement tels que propose par l'IAEG (International Association of Engineering Géologists)[8] , sont illustres sur la figure (Fig.III.7).

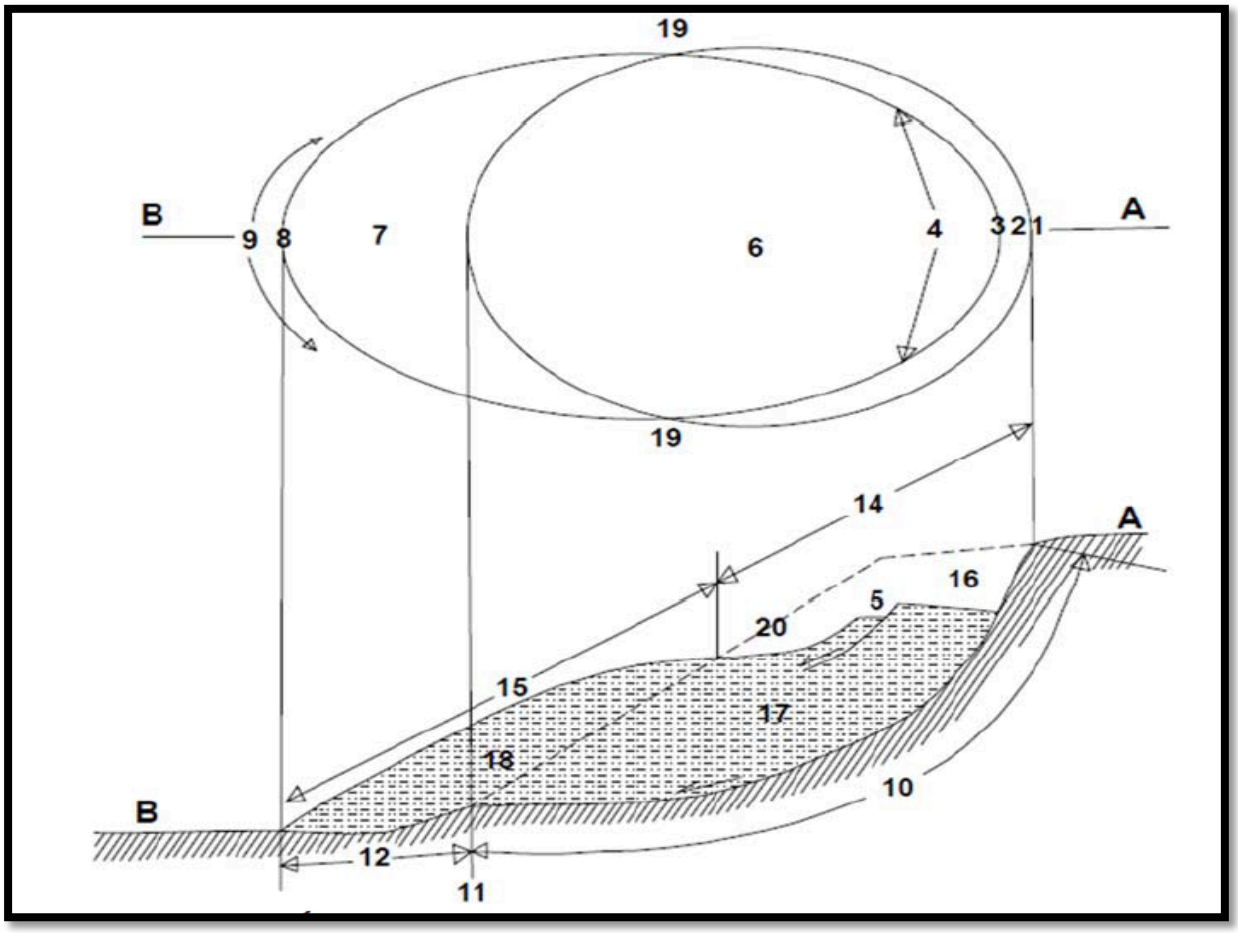


Fig.III.7 : Éléments d'un glissement (Cruden and Varnes, 1992)[8].

(1) Couronne : Zone située au dessus de l'escarpement principal, souvent peu affecte par les désordres. Seules quelques fissures ou crevasses témoignent de la mise en traction des terrains dans cette zone.

(2) Escarpement principal : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement a son extrémité supérieur et prolongée en profondeur par la surface de glissement.

(3) Top : Le point le plus élevé du contact entre le matériel déplace et l'escarpement principal.

(4) Tête : Limite amont du glissement, et plus précisément, partie ou le matériel glisse se trouve en contact avec l'escarpement principal.

(5) Escarpement secondaire : Cicatrice semblable à l'escarpent principale, mais visible dans la masse remanie, ces escarpements confèrent a la masse en mouvement une structure en escalier.

(6) Corps : La partie des matériaux déplaces qui recouvre la surface de rupture.

(7) Pied : Correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale. Le pied est souvent masque par le bourrelet.

(8) Tip : Le point du Toe le plus éloigne du Top.

(9) Toe : Zone aval du matériel déplace.

(10) Surface de rupture : Surface séparant la masse glissée des terrains en place.

(11) pied de la surface de rupture : Intersection entre la partie inferieure de la surface de rupture et la surface de terrain initial.

(12) Surface de séparation : Surface du terrain original recouvert par le pied du glissement

(13) Matériel déplacé : Matériel déplace de sa position originale par le mouvement de terrain.

(14) Zone de déplétion : Zone dans laquelle le matériel déplace se localise sous la surface du terrain initial.

(15) Zone d'accumulation : Zone ou le matériel déplace se trouve au dessus de la surface topographique initiale.

(16) Surface arrachée : Le volume compris entre l'escarpement principal, la masse arrachée, et la surface topographique initiale.

(17) Masse arrachée : Le volume des matériaux recouvrant la surface de rupture et se localisant sous la surface du terrain initial.

(18) Accumulation : Le volume des matériaux déplaces recouvrent la surface topographique initiale.

(19) Flanc : Limite latérale du glissement prolongent l'escarpement principal.

(20) Surface du terrain initial : Surface topographique initial ou original, surface du versant

qui existe avant le glissement.

III.10.2 Dimensions d'un glissement

Simultanément, l'IAEG à proposer les divers dimensions typiques standardise d'un glissement, [8] illustres dans la figure 1.4, et définis par :

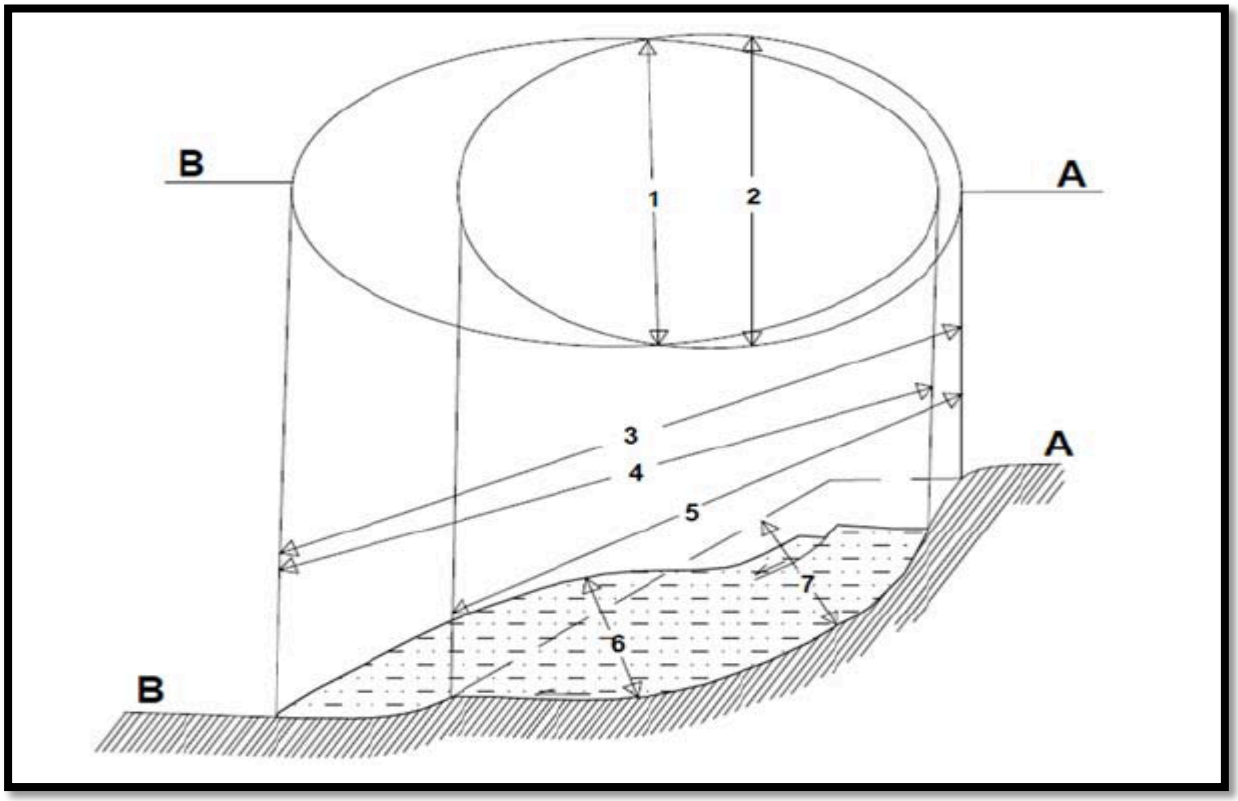


Fig.III.8 : Dimensions d'un glissement (Cruden and Varnes ; 1992) [8].

(1) Largeur da la masse la déplacé **Wd** : la largeur maximale de la masse déplace, perpendiculaire à la longueur.

(2) Largeur de la surface de rupture **Wr** : largeur maximale entre les flans du glissement, perpendiculaire a la longueur **Lr**.

(3) Longueur total L : la distance minimale entre la couronne et le tip du glissement.

(4) Longueur de la masse déplacée **Ld** : distance minimal entre le Tip et le Top.

(5) Longueur de la surface de rupture **Lr** : distance minimal entre le Toe de la surface de rupture et la couronne.

(6) Profondeur de la masse déplacé **Dd** : profondeur maximal de la masse déplace, mesure Perpendiculairement aux plans contiennent **Wd** et **Ld**.

(7) Profondeur de la surface de rupture : la profondeur maximale de la surface de rupture au-dessous de la surface des terrains initiale mesure perpendiculairement aux plans contenant **Wr** et **Lr**.

III.11 Les conséquences des glissement de terrain sur les personnes et les biens

Les grands mouvements de terrain étant souvent peu rapides, les victimes sont, fort heureusement, peu nombreuses. En revanche, ces phénomènes sont souvent très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages aux biens sont considérables et souvent irréversibles.

Les bâtiments, s'ils peuvent résister à de petits déplacements, subissent une fissuration intense en cas de déplacement de quelques centimètres seulement. Les désordres peuvent rapidement être tels que la sécurité des occupants ne peut plus être garantie et que la démolition reste la seule solution.

Les mouvements de terrain rapides et discontinus (effondrement de cavités souterraines, écroulement et chutes de blocs, coulées boueuses), par leur caractère soudain, augmentent la vulnérabilité des personnes. Ces mouvements de terrain ont des conséquences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication), allant de la dégradation à la ruine totale ; ils peuvent entraîner des pollutions induites lorsqu'ils concernent une usine chimique, une station d'épuration, etc.

Les éboulements et chutes de blocs peuvent entraîner un remodelage des paysages, par exemple l'obstruction d'une vallée par les matériaux déplacés engendrant la création d'une retenue d'eau pouvant rompre brusquement et entraîner une vague déferlante dans la vallée [9].

III.12 Quelques exemples de glissement de terrain

III.12.1 En Algérie

La géomorphologie du Nord algérien étant caractérisée essentiellement par des montagnes de pentes raides et abruptes, les mouvements de terrain constituent l'un des risques naturels les plus répondus. Ce phénomène est observé dans plusieurs wilayas du pays : Alger, Bejaia, Constantine, Mila, Média, Tizi-Ouzou, etc. Ces régions connaissent des activités de cet aléa ; plusieurs versants naturels connaissent des mouvements de terrain plus ou moins étendus et actifs. On peut citer plusieurs cas de glissement de terrain survenus en Algérie.

III.12.1.1 Bejaia

Comme le montre la figure, le terrain concerné par le glissement de terrain présente une forte pente supérieure à 60° et qui est sujette à un glissement, compte tenu de la forte pluviométrie affectant la région de Bejaia. Il a concerné une route avec un profil mixte déblai remblai dans une zone montagneuse. La zone s'étend sur une longueur de 80 m. Les

investigations géotechniques ont mis en évidence depuis la surface, des éboulis gréseux, des bancs gréseux et des alternances de marnes schisteuses.

Fig.III.9 : Fissures longitudinales dans la routé affecté par le glissement.

III.12.1.2 Constantine

La région de Constantine est située dans un environnement géomorphologique complexe et sur un des plus importants axes sismiques de l'Est Algérien.

La région subit depuis plus d'un siècle des dommages, liés au phénomène de glissement de terrain. Durant ces dernières décennies le phénomène a pris une grande ampleur entraînant des pertes et des dégâts matériels importants, plus de 100 000 habitants et 15 000 constructions, sont directement menacés par les glissements de terrain.

Aujourd'hui, la partie Ouest et Sud-ouest de la ville, recèle une série de glissements de terrain complexes et circulaires, d'où la vitesse de certains mouvements peut atteindre les dizaines de cm par an.

Ces glissements de terrain sont dus à l'action conjointe des facteurs naturels et anthropiques qui sont comme suit :

- Une topographie accidentée.
- Le poids démographique.
- L'extension urbaine.
- La dégradation du système de collecte des eaux.

Fig.III.10 : Glissement de terrain quartier Boudraa Constantine [10].

III.12.1.3 Tizi ouzou (Azazga)

La ville d'Azazga a connu une vraie manifestation du phénomène en 1973, il a affecté plusieurs quartiers de la ville, la zone Nord, Nord-Ouest et la zone Sud. La superficie actuelle des zones défavorables à l'urbanisation appelées « zones rouges », constituent47,65 % du périmètre urbain de la ville, soit une superficie de 439,26 ha sur un total de921,77 ha Ces glissements sont dus à l'action conjointe de plusieurs facteurs naturels et anthropiques qui permet le déclenchement du risque , entre autres :

- L'urbanisation anarchique non contrôlée.
- Le facteur d'eau.
- L'activité tectonique.
- topographie est irrégulière.

Fig.III.11 : Glissement de terrain à Azazga [11].

III.12.1.4 La rocade d'Alger

Il s'agit d'un glissement de terrain sous forme d'une coulée de boues qui a atteint la voie rapide reliant la ville d'Alger à sa banlieue Ouest, qui est un axe routier à fort trafic. Parmi ces causes de déclenchement on a L'existence, en amont de la zone, de fondations abandonnées qui forment des cavités de dimensions relativement importantes. Celles-ci jouent le rôle de lagunes. En effet ces cavités sont remplies d'eau. Cette eau alimente en permanence la zone déstabilisée [12] .

Fig.III.12 : Glissement de terrain a la rocade d'Alger.

III.12.2 A travers le monde

III.12.2.1 Cas de Salvador

Le Salvador est un petit pays d'Amérique centrale qui compte 6 millions d'habitants. Ce pays est formé de massifs volcaniques et est frappé régulièrement par des séismes. En 2001 un séisme de magnitude 7,9 fait 827 morts, au moins 4500 blessés, 2000 disparus, et plus d'un million de sinistrés. Ce séisme, le plus violent enregistré en Amérique centrale depuis les années 1980, a été ressenti dans l'ensemble des pays d'Amérique centrale.

Les personnes portées disparues sont concentrées dans le quartier de Las Colinas, à une dizaine de kilomètres de la capitale, où quelques 260 habitations ont été ensevelies dans un gigantesque glissement de terrain. Un jeune, 25 ans, errait dans le quartier de Las Colinas à la recherche de son jeune frère, 18 ans. "Je ne sais pas où creuser parce que je ne sais pas où se trouve la maison", a-t-il déclaré [13]

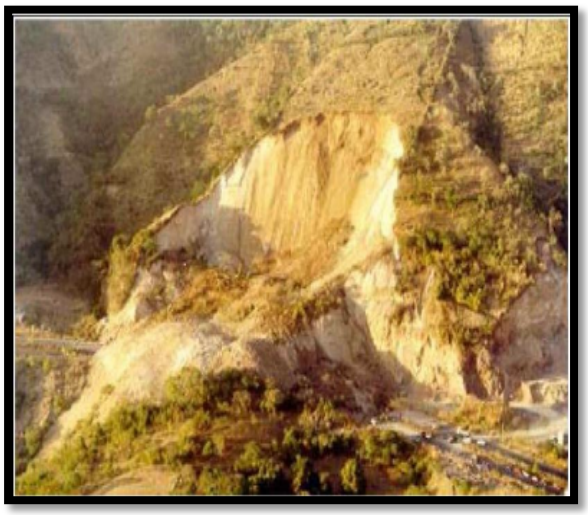


Fig.III.13 : Glissement de terrain la Leona. **Fig.III.14 :** Glissement de terrain las Colinas.

III.12.2.2 Cas de la Clapiers (France)

La Clapière fait l'objet d'une surveillance rapprochée depuis 1970. En effet, le risque majeur est l'écroulement soudain et massif du glissement de terrain. La masse de débris amoncelée dans le fond de la vallée formerait alors un barrage naturel retenant les eaux de la Tinée. Un lac se constituerait ainsi en amont, noyant le village de Saint-Étienne-de-Tinée. La rupture du barrage, scénario plus que probable au vu de la nature et de la structure des roches, viderait rapidement ce lac en provoquant une onde qui mettrait en danger les populations et les infrastructures en aval. Pour éviter ce scénario catastrophe, un tunnel de dérivation de la Tinée de 2 500 mètres de longueur a été construit en rive droite face à la Clapière afin de détourner l'eau de la rivière le temps de déblayer les roches éboulées.

En raison des chutes de roches accompagnant le mouvement du versant, la route passant à ses pieds a été détournée et passe depuis de l'autre côté de la Tinée, sur la rive droite, l'ancienne est depuis ensevelie sous les roches de la Clapière [13].

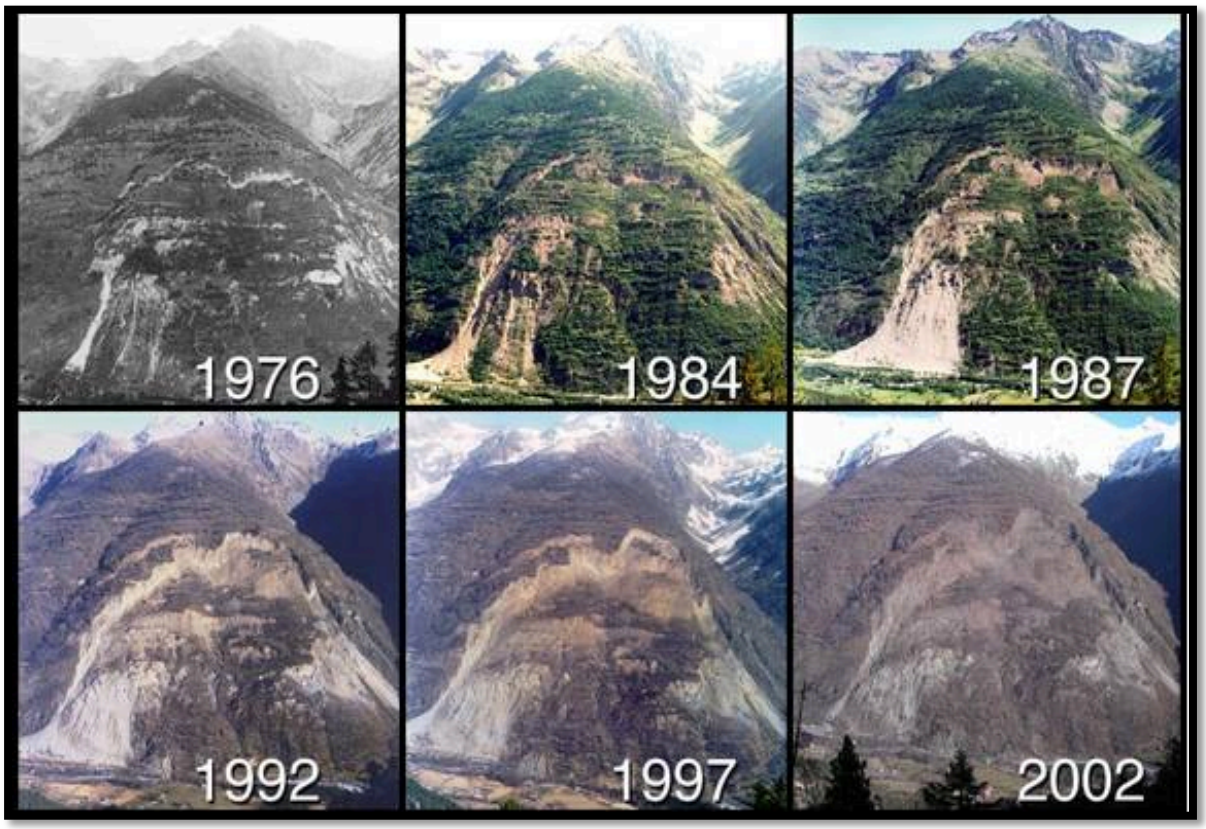


Fig.III.15 : Evolution de glissement de la Clapiers [13].

Le tableau III.4, présente des glissements de terrain dans le monde avec une brève description, les lieux, les dates, les morts et d'autres remarques.

Tab.III.4 : Glissements de terrain dans le monde avec une brève description [23].

Lieu (pays)	Date	Tué	Remarque
Mont Granier (France)	25, Novembre 1248	1,000+	Cinq villages détruits
Kelud volcano (Indonésie)	1919	5,160	Drainage du lac
Gansu province (Chine)	16, Décembre 1920	180,000	flux affecté une superficie de 50,000 km2
Kwansai, (Japon),	5 Juillet, 1938	au moins 1000 Person	130,000 maisons endommagées ou détruites
Khait (Tadjikistan),	1949	12,000	Roche séparée par un tremblement de terre
Longarone, Belluno (Italie),	9 Octobre, 1963	2,000	Roche avalanche sur un réservoir artificielle d'eau
Hurricane Camille, central Virginia (USA),	1969	150	Tué par des os cassés et d'autres blessures à force brutale
Mameyes (Puerto Rico),	1985	au moins 129 Personnes	120 maisons détruites

Villa Tina, Medellin (Colombia),	27, Septembre 1987	217	peu profonde diapositive dans les sols résiduels latéritiques
Manjil (Iran),	20 Juin 1990	Plus de 200 Personnes	ces glissements de terrain, causés par le séisme. Détruit ou enterré plusieurs villages, bloqué plusieurs routes.
Casita, Nicaragua (Amérique centrale),	1998	Plus de 2500 Personnes	Déclenchée par de fortes pluies pendant l'ouragan Mitch
Pizzo d'Alvono, Campania (Italie),	5–6 Mai 1998	160	150 bâtiments sont totalement détruites et plus de 500 points de dégâts sérieux ou partiellement
Taiwan,	21 Septembre 1999	Plus de 2200 Personnes	Causée par (Le Chi-chi) séisme d'une magnitude de 7,3
Santa Tecla, El Salvador, (Amérique centrale),	2001	500	Glissement de terrain, a eu lieu lors d'un tremblement de terre majeur, impliquant environ 180.000 m3 de dépôts volcaniques, avait un tirage total sur environ 800 m,
La Conchita, California (USA),	10, janvier, 2005	10	Une coulée de débris a mobilisé des dépôts de glissements de terrain précédentes en raison de pluies intenses, détruit ou endommagé environ 30 maisons dans la communauté
Guinsaugon, St. Bernard, sud du Leyte, (Philippines),	17, février, 2006	1126	Rock-avalanche de débris déclenchée par période de dix jours de fortes pluies
Chittagong, (Bangladesh),	11, Juin, 2007	123	Série de glissements de terrain causés par les pluies de coupe et de la mousson colline illégales
Le Caire, (Egypte),	6 Septembre, 2008	119	Rocher chute des falaises, des rochers individuels jusqu'à 70 tonnes
Kedarnath, Uttarakhand, (Inde),	16, Juin, 2013	5,700	Causée par haute intensité de pluie
Oso, Washington (USA) ,	22 Mars, 2014	41 Confirmé Manquant	L'écoulement de l'éboulement était extrême à cause de l'extraordinaire exécution de la boue et de débris.
Ab Barak, Badakhshan (Afghanistan),	2 Mai, 2014	2,000	Les glissements de terrain ont été causés par de fortes pluies
Hiroshima (Japon),	2 Mai, 2014	74	Causée par de fortes pluies

III.13 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini le glissement de terrain et ses différents types en effectuant une classification en fonction de la profondeur de la surface de glissement, et en fonction de l'activité et le processus du glissement de terrain selon la forme de la surface de rupture. Nous avons aussi étudié les causes des glissements et les facteurs intervenant dans les processus d'instabilité des terrains qui interviennent à différentes échelles de temps.

Nous avons aussi étudié les différentes phases d'un glissement de terrain et les causes pouvant induire ou déclencher une instabilité. Ces causes sont dus : soit à la géologie, la géomorphologie et l'hydrologie du site, et la morphologie et les conséquences de ces glissements sur les personnes et les biens car ce phénomène est souvent très destructeur. Ces cas pathologiques cités précédemment montrent l'importance des effets de glissement pouvant engendrer des dégâts humains et matériels pouvant se chiffrer en plusieurs millions de Dinars dont les gouvernements doivent prêter beaucoup d'attention. Les photos visualisées ci-dessus montrent les dangers permanents rencontrés dans tous les pays du monde dues aux glissements de terrain. Pour cela, il faut tenir compte de ces phénomènes et de leurs dangers, et de prendre les précautions convenable pour détecter les zones instables afin de trouver les meilleurs solutions de protections ou de traitements.

DEUXIEME PARTIE

TECHNIQUES D'EVALUATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN

Chapitre IV

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre on examine en trois étapes les techniques employées actuellement pour évaluer le risque des glissements de terrain.

Pour commencer, le risque de glissements de terrain d'une zone est évalué en recueillant les données existantes, par la reconnaissance de terrain, etc. Au niveau de plusieurs sites spécifiés le long d'un itinéraire, on procède alors à des études plus détaillées, telles que l'exploration géophysique, les forages et les analyses de stabilité. Les résultats son utilisés pour évaluer le risque de glissements de terrain plus précisément aux endroits des sites et pour concevoir les ouvrages destinés à empêcher les glissements de terrain possibles. Troisièmement, le contrôle est effectué durant la construction et après l'ouverture des grandes routes pour éviter les problèmes de glissements de terrain.

Pour clarifier le chapitre suivant décrit ensuite comment le risque de glissements de terrain pour les grandes routes est évalué en sélectionnant la méthode la mieux adaptée et la plus efficace pour les trois étapes décrites ci-dessus.

Au niveau de la première étape, une étude et une évaluation générales du risque de glissements de terrain d'une zone sont effectuées pour détecter les sites susceptibles de glissements de terrain le long des grandes routes prévues ou existantes. Ce travail comprend l'examen des catastrophes du passé, la reconnaissance du terrain, l'interprétation des photographies aériennes, etc. Les résultats sont alors évalués en utilisant des méthodes simples telles qu'un système de classification pour créer des cartes de risque de glissements de terrain. Ici, le terme "risque de glissements de terrain" se rapporte au dommage (effet adverse sur les installations techniques et les vies humaines) pouvant être causé par un glissement de terrain, ou la possibilité de dommages provoqués par des glissements de terrain. Les cartes de risque de glissements de terrain reflètent donc une part d'évaluation du potentiel de glissements de terrain, et ne concernent donc pas uniquement l'expérience passée de la zone sur le plan des glissements de terrain.

Au cours de la deuxième étape, le potentiel de risque de glissements de terrain des sites susceptibles de glissements le long des grandes routes est évalué plus précisément par des études de terrain détaillées telles que l'exploration géophysique, les forages et les analyses de stabilité dans le but de concevoir et de construire des ouvrages d'atténuation.

Au cours de la troisième étape, en reconnaissance de la difficulté de prévoir le comportement des pentes durant la construction et après l'ouverture sur la base d'études préalables, les sites potentiellement dangereux sont contrôlés souvent.

Enfin, ce chapitre propose des recommandations sur la façon de réduire le risque de glissement de terrain le long des grandes routes. Il est fondé sur les informations réunies par les pays membres du C12 de l'AIPCR en réponse aux questionnaires et sur la documentation existante.

IV.2 Techniques d'évaluation de glissement de terrain

IV.2.1 Nécessité des techniques

Lors de la planification d'un nouvel itinéraire routier ou d'une sécurité routière, des cartes de risque de glissements de terrain sont établies en localisant les zones de glissements de terrain existantes et potentielles et en évaluant le potentiel de chaque zone. La nécessité de localiser les sites de glissements de terrain potentiels est particulièrement importante dans les pays en développement où les ouvrages d'atténuation à grande échelle sont difficiles à réaliser (rapport AIPCR G2, 1995)[14] . Après avoir localisé de tels sites potentiels, on étudie le risque de glissement de terrain en détail et cela donne d'importantes données brutes pour des ouvrages de prévention des catastrophes routières. Les résultats sont également utilisés pour prévoir et concevoir les ouvrages d'atténuation.

Les sections suivantes décrivent les méthodes générales utilisées pour créer des cartes de risque de glissements de terrain, et les méthodes d'étude plus détaillées utilisées pour évaluer quantitativement la stabilité des pentes dangereuses et, par conséquent, pour concevoir les ouvrages d'atténuation.

Certaines des méthodes décrites ci-dessous sont principalement fondées sur une évaluation de topographie ou glissements de terrain antérieurs et il se peut qu'elles ne détectent pas les glissements de terrain primaires potentiels qui ont besoin d'être localisés par l'intermédiaire d'études géologiques et géotechniques détaillées.

Cependant, les pays en développement ont peu de données quantitatives et nous décrivons ici une approche sophistiquée pour l'étape primaire de la cartographie de risque des glissements de terrain. La cartographie des glissements de terrain présente les anciennes zones de glissements de terrain, alors qu'une carte de risque des glissements de terrain indique les zones dangereuses sur le plan des glissements de terrain sur la base d'une évaluation.

IV.2.2 Étude et évaluation détaillées du risque des glissements de terrain [15]

Le risque de glissements de terrain des sites à glissements potentiels est évalué en détail afin de pouvoir élaborer des mesures préventives. Les méthodes d'étude types incluent l'exploration géophysique, les sondages et les analyses de stabilité.

IV.2.2.1 Évaluation du potentiel de risque par exploration géophysique

Les méthodes d'exploration physiques utilisées en matière de prospection des pentes comprennent :

• La prospection sismique (méthode d'onde réfractée ou méthode d'onde directe),

• La prospection électrique (méthode de résistivité spécifique et méthode de potentiel naturel),

• La diagraphie géophysique (diagraphie de vitesse, diagraphie PS, diagraphie électrique, etc.). Les données obtenues par ces méthodes révèlent les propriétés élastiques et électriques et la structure souterraine physique de la roche de fond. Cependant, la structure souterraine ne correspond pas toujours aux résultats des essais de sondage par conséquent ; il est important de combiner les résultats aux données obtenues à partir des essais de sondage ou autres méthodes afin d'obtenir une évaluation globale.

• Prospection sismique

La vitesse de propagation d'onde de choc est utilisée pour déterminer l'épaisseur du sol de surface, l'existence de couches géologiques faibles telles que des zones de failles et fractures et la densité des fissures de la roche de fond. La prospection sismique détermine la facilité d'excavation et la stabilité de la surface de pente dans les termes suivants :

1. Epaisseur du sol de surface, couches d'éboulis et d'altération,
2. Densité des fissures et nature de la roche de fond,
3. Emplacement, étendue et nature des zones de failles et fractures.

Des ondes P (primaires) ont été principalement utilisées dans cette étude. Cependant, les observations récemment faites lors de l'utilisation d'ondes S (secondaires) ont indiqué qu'il y avait une excellente corrélation avec les propriétés techniques de la roche de fond, et l'utilisation de ces ondes a de plus en plus de succès. La Fig.IV.1 [15] montre un exemple d'évaluation de la stabilité du gradient de surface de pente à partir de la vitesse de propagation des ondes de choc. La vitesse de propagation des ondes de choc par rapport au gradient de surface est indiquée pour un terrain utilisé pour un travail en déblai par Japan Highway Public Corporation. Les repères en noir indiquent les pentes affaissées, et la ligne en pointillés indique la limite entre les régions stables et instables.

Dans certains cas, la formule indiquée ci dessous peut être utilisée pour obtenir le coefficient de fissure (la fréquence de fissures dans la roche de fond) employé pour évaluer la stabilité sur la surface de la pente. La Fig.IV.2 [15] donne un exemple du rapport entre le degré de fissuration et le gradient de pente, tel que déterminé par Japan Highway Public Corporation. Les repères en noir indiquent les affaissements, et la ligne en pointillés indique

la limite entre les régions stables et instables.

$Cr = 1\ (Vp2/Vp1)^2$

à savoir :

Cr = coefficient de fissure

Vp1 = vitesse de propagation d'onde de choc de la carotte de sondage (m/s)

Vp2 = vitesse de propagation d'onde de choc dans le sol (m/s)

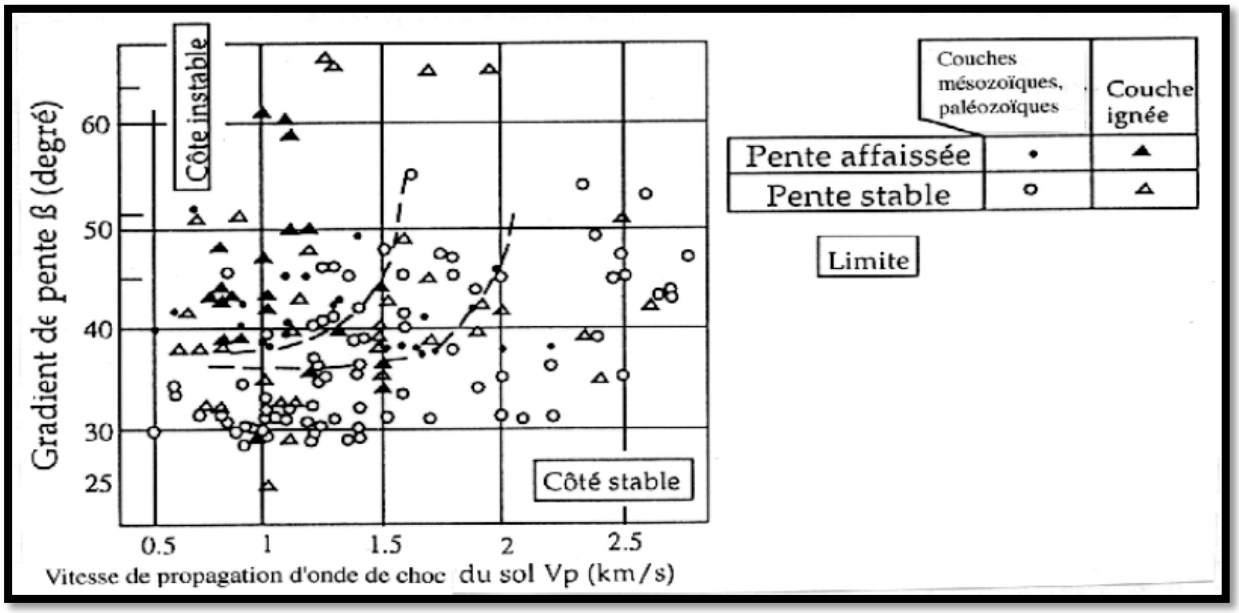


Fig.IV.1 Vitesse de propagation d'onde de choc et gradient de pente [15].

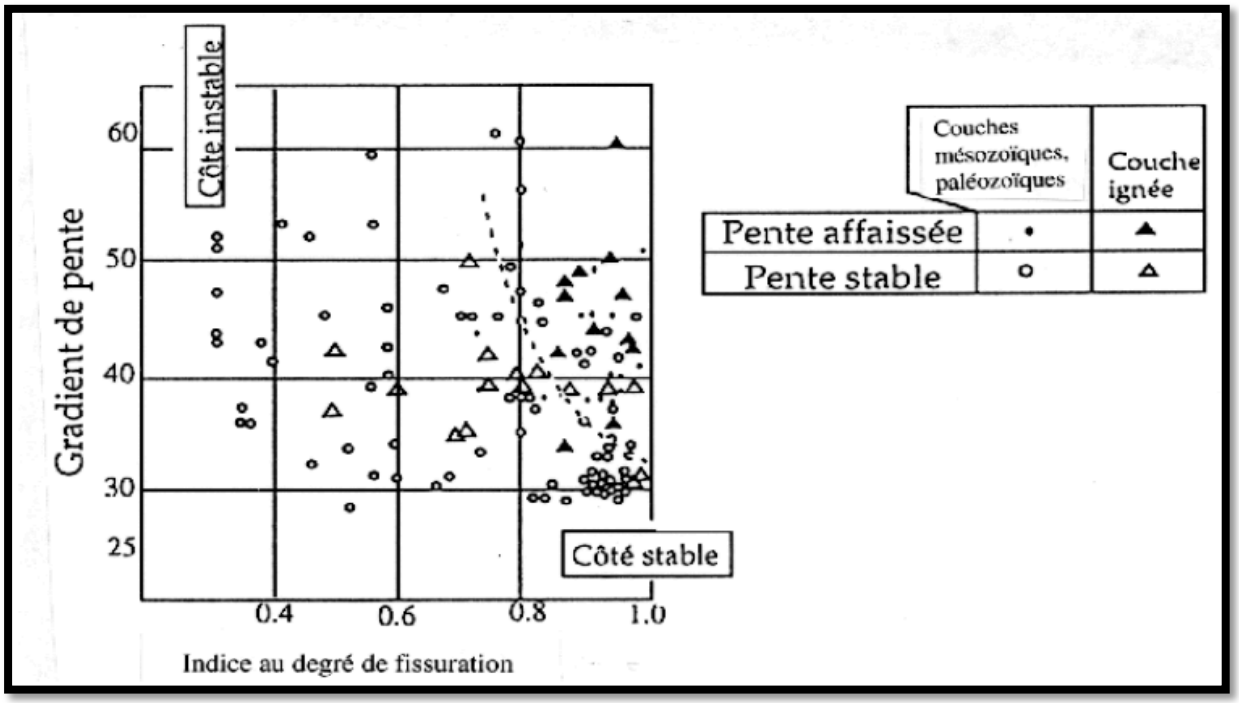


Fig.IV.2 Coefficient de fissure et gradient de pente [15].

• Prospection électrique

La prospection électrique est une méthode consistant à mesurer les propriétés électriques de la roche de fond pour déterminer l'épaisseur de la couche de sol altérée et l'emplacement de la couche aquifère, et peut être subdivisée en une méthode de potentiel naturel et en une méthode de résistance spécifique. La plus commune des deux est la méthode de résistance spécifique où un courant circule dans la roche de fond et où la résistance électrique spécifique est mesurée. La résistance spécifique est influencée par la taille du grain, le taux de porosité et le taux d'humidité du sol ou de la roche, le taux d'humidité étant le plus important. Bien que cette méthode puisse être utilisée pour évaluer la qualité de roche de fond, elle est plus communément utilisée pour déterminer si la roche de fond contient de l'eau, ce qui offre des informations utiles sur la stabilité des pentes.

• Diagraphie physique

La diagraphie physique s'applique à l'étude des propriétés physiques du sol autour d'un sondage, et peut impliquer l'une quelconque des méthodes suivantes suivant les informations exigées :

La diagraphie de vitesse détermine la vitesse de l'onde P se propageant à travers la paroi du sondage, et la vitesse moyenne de l'onde P du point d'explosion au compteur de vibrations.

La diagraphie PS mesure la vitesse de propagation des ondes P et S, et est semblable au sondage sismique (la méthode de réfraction d'ondes S). Les caractéristiques dynamiques du sol, telles que la constante de sol, le module de Young dynamique par couche et le coefficient de Poisson dynamique, peuvent être obtenues par diagraphie PS.

La diagraphie électrique utilise le même principe que le sondage électrique (résistance spécifique), et donne la résistance spécifique apparente de la paroi de sondage. Elle peut être utilisée pour déterminer la nature des couches, en particulier l'existence de l'eau souterraine. La nature des couches peut aussi être déterminée par le potentiel spontané, les différences en potentiel entre la couche au niveau de la paroi du sondage et un potentiel de référence.

Les données obtenues à partir de la diagraphie physique sont utilisées pour évaluer la stabilité des pentes.

IV.2.2.2 Évaluation du potentiel de risque par forage et sondage

Les forages sont utilisés pour évaluer la structure de la roche de fond, les caractéristiques géologiques et des sols, pour obtenir des échantillons en vue des essais de roches et de sols, pour effectuer des essais de pénétration standard, autres essais in situ, et pour détecter les surfaces de glissement potentielles. Un forage a l'avantage de permettre une

observation directe des échantillons collectés, pouvant également être utilisés pour les essais de roches et de sols. Cependant, les prospections nécessitent de nombreux sondages et en conséquence beaucoup de temps et d'argent du fait que les sondages représentent les conditions en un seul point uniquement. Ce problème doit être résolu en considérant l'emplacement et la profondeur des sondages et l'usage combiné du sondage.

Les sondages sont souvent utilisés ensuite pour les études de la qualité de l'eau, l'observation du niveau des eaux souterraines et la diagraphie physique. Il faut en tenir compte lors de la sélection de l'emplacement, de la profondeur et du diamètre au stade de la planification. Dans un sol susceptible de mouvements, le sondage doit être bouché afin de retarder l'affaissement ou la flexion, et d'autres études devraient être effectuées immédiatement après le forage initial.

Un exemple de forages dans une étude de pente est fourni ci dessous, montrant le glissement d'une pente taillée. La Fig.IV.3 [15] présente une vue transversale de la pente. La structure géologique est déterminée à partir de quatre diagrammes. La surface de glissement prédite indiquée sur le diagramme a été construite à partir des résultats montrant une ligne faible argileuse accompagnant la zone de fracture de faille (Sz) dans les roches d'altération (W1-W2).

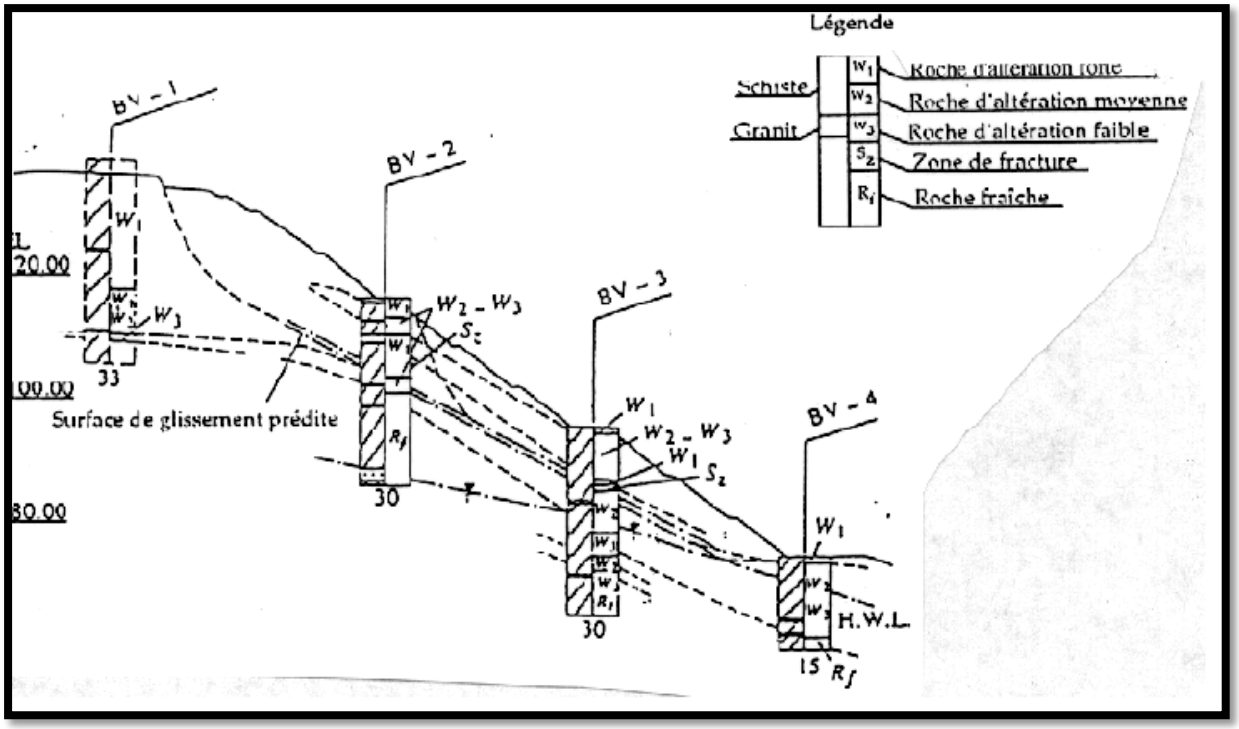


Fig.IV.3 Exemple d'étude de forage réel [15].

Le sondage, qui est une méthode simple pour évaluer la constitution et les propriétés du sol, ne convient pas à l'observation de carottes à l'exception des essais de pénétration

standard. Cependant, il est économique et facilement disponible, et en conséquence est souvent utilisé en plus des essais de forage. Les études de pentes emploient l'essai de pénétration standard, l'essai de pénétration dynamique simple, le sondage suédois par pénétromètre statique et l'essai de pénétration portable des cônes. L'essai de pénétration standard est la méthode de sondage la plus courante qui est abondamment utilisée au Japon et en Amérique du Nord. Les résultats sont fréquemment utilisés pour estimer les paramètres de sol ou de roche tels que la cohésion pour les sols cohésifs ou l'angle de friction interne pour les sols sans cohésion. L'essai de pénétration standard est une méthode convenant uniquement à une roche extrêmement altérée, un sol assez dur, conservant la structure de la roche originale (sols colluviaux). Et ce n'est pas la meilleure méthode pour un sol argileux. L'essai de pénétration standard convient le mieux aux sols granulaires et pour faire des distinctions de consistance relatives. Les essais sur des échantillons non perturbés, les essais à ailettes (sur les sols tendres) et les essais de pénétration statique constituent la meilleure méthode pour déterminer le degré de cohésion dans les sols cohésifs. Les paramètres de sol ou roche tels que le poids unitaire et la résistance, obtenus soit à partir d'essais en laboratoire sur des échantillons collectés, soit estimés à partir d'essais de sondage et formules expérimentales, sont utilisés en ce qui concerne la stabilité de la pente.

IV.2.2.3 Évaluation du potentiel de risque par analyse de la stabilité des pentes

• Applications

Les analyses de stabilité des pentes évaluent quantitativement le potentiel de glissement des pentes avec un facteur de sécurité. De telles analyses sont utilisées pour les raisons suivantes :

1. évaluer le potentiel de glissement des pentes existantes ou des pentes artificielles nouvellement formées, par exemple les pentes en remblai ou déblai,
2. concevoir les travaux de correction pour les pentes qui viennent de subir un glissement ou présentent des signes de glissement. Les analyses sont généralement appliquées aux pentes de sol naturel, aux pentes en déblai et aux pentes en remblai, mais également souvent aux pentes rocheuses du fait de leur incertitude concernant la discontinuité et autres.

• Procédures

En général, le potentiel de risque des pentes est évalué de la façon suivante : afin d'analyser la stabilité des pentes, la topographie, la géologie, le poids unitaire, la tension de cisaillement et les conditions des eaux souterraines doivent être déterminés. On y parvient en

planifiant précisément et en exécutant les procédures suivantes A. à D. :

A. Recherche approfondie du site

Les pentes potentiellement dangereuses qui ont été identifiées à partir de cartes topographiques, photographies aériennes et documents concernant des dommages antérieurs font l'objet d'une recherche sur le terrain, par exemple la classification géologique ou des sols, les structures géologiques, l'existence d'eau de source et la micro géographie.

Les données de base déterminent l'étendue approximative de la masse de glissement potentielle, la configuration de surface et le niveau d'eau ainsi obtenus sont alors utilisés dans les analyses de stabilité.

B. Recherche géologique et géotechnique

L'objectif de cette recherche est de confirmer les propriétés des couches géologiques des sols et des roches, et la condition des eaux souterraines, en procédant normalement au forage, sondage et échantillonnage.

Le forage est utilisé pour examiner la structure géologique et géotechnique, identifier la surface de glissement et extraire des échantillons pour les essais de laboratoire. Cette méthode présente de nombreux avantages en tant que méthode d'étude du soussol, et permet une observation directe de l'échantillon carotté.

L'emplacement des sondages doit être sélectionné en vue de pouvoir obtenir une vue géologique générale de la masse du glissement potentiel et de son voisinage. En ce qui concerne les pentes, les sondages doivent généralement être situés le long de sections de pentes critiques anticipées, et si nécessaires le long des sections transversales.

Le sondage est utilisé pour examiner les couches du sous-sol, et est généralement effectué en association au forage. L'essai de pénétration standard est le plus usuel, bien qu'il y ait plusieurs autres méthodes de sondages, dont le sondage suédois, les essais par pénétromètre à cônes et les essais par compteur de pression.

L'objectif de l'échantillonnage est de fournir des matières pour les essais de laboratoire. La sélection de la technique d'échantillonnage dépend de la qualité de l'échantillon qui est requis et des caractéristiques du sol. En ce qui concerne les essais de classification des sols, des échantillons perturbés suffisent, ces derniers pouvant être fournis comme échantillons carottés de l'essai de pénétration standard ou être pris en utilisant une tarière. En ce qui concerne les essais de résistance des sols, des échantillons non perturbés doivent être préparés. Un échantillonneur à paroi fine est souvent utilisé pour les sols tendres sans blocs de pierre. Cependant, dans le cas de pentes naturelles, il est parfois difficile de

prendre des échantillons non perturbés en raison de la présence de fragments de roches. Un échantillonneur de grand diamètre permet de prendre des échantillons non perturbés mais cela est très coûteux.

Le niveau d'eau souterraine peut être observé dans les trous de forage ouverts pour les sols perméables. En ce qui concerne les pentes de faible perméabilité, il est nécessaire d'effectuer des mesures à long terme en installant des piézomètres pour vérifier que le niveau de l'eau a atteint son équilibre.

C. Essais de laboratoire

Les propriétés du sol requises pour les analyses de la stabilité des pentes sont le poids unitaire et la tension de cisaillement. La tension de cisaillement du sol dépend de la densité, de la teneur en eau, de la condition du drainage, etc., par conséquent, l'essai devtension de cisaillement doit, en principe, être effectué sous des conditions équivalentes à celles in situ. L'essai de compression triaxiale est la méthode la plus communément utilisée, mais l'essai de cisaillement direct et l'essai de compression non confinée sont aussi utilisés.

D. Analyses de stabilité

Les analyses de stabilité des pentes sont classées par le mode de surface de rupture et la méthode d'analyse telle qu'indiquée au Tab.IV.1 [16].

Lorsque l'on choisit une méthode d'analyse de la stabilité, le mode probable de rupture de la pente doit être considéré, et la méthode choisie doit modéliser le mode de rupture. Selon le questionnaire, la méthode de Bishop, la méthode de Janbu, la méthode de Morgenstern & Price et la méthode de Fellenius sont largement utilisées. Parmi celles-ci, la méthode de Bishop est la plus largement utilisée, tandis que la méthode de Fellenius est la plus simple et donne le facteur de sécurité le plus conservateur. L'analyse circulaire est appropriée pour les pentes en remblai, alors que les analyses non circulaires sont recommandées pour les pentes naturelles et taillées, étant donné que la surface de glissement potentielle estimée par l'étude du sol est généralement non circulaire.

Tab.IV.1 Classification des méthodes d'analyse de la stabilité des pentes [16].

Forme de la surface de glissement	Méthode d'analyse	Proposé par
Surface droite	Méthode de pente infinie	
Surface pliée	Méthode à coins	
Surface circulaire	Méthode à cercle de friction	Taylor (1948)
	Méthode Suédoise (ou Fellenius)	Fellenius (1956)
	Méthode de Bishop	Bishop (1955)
Surface générale	Méthode de Janbu	Janbu (1957)
	Méthode de Morgenstem-Price	Morgenstem et al. (1965)
	Méthode de Spencer	Spencer (1968)

Lorsqu'il est difficile d'estimer la surface de glissement potentielle de la pente, les facteurs de sécurité sont calculés pour les surfaces de glissement d'essai, puis le facteur de sécurité minimum est adopté pour la pente. Du fait de l'amélioration des techniques informatiques, la plupart des méthodes d'analyse sont codées et sont disponibles à des prix relativement modérés.

Dans le cas des pentes rocheuses, les analyses de stabilité sont effectuées pour le bloc rocheux potentiel ou les familles de blocs rocheux qui ont été identifiées aux stades **A.** et **B.** ci-dessus. Les analyses nécessitent souvent l'aide de programmes graphiques informatiques.

E. Évaluation du potentiel de risque

Les facteurs de sécurité obtenus ci-dessus sont utilisés pour évaluer le potentiel de risque d'une pente. En principe, une valeur inférieure à l'unité indique une instabilité et une valeur supérieure à l'unité indique une stabilité. Cependant, en raison de l'incertitude et de la variabilité inhérente de tous les paramètres d'entrée utilisés dans l'analyse, un facteur de sécurité quelque peu supérieur à l'unité est généralement adopté en tant que valeur critique.

Selon le questionnaire, différents facteurs de sécurité sont adoptés suivant le mode de rupture de pente, la méthode d'analyse, la méthode de contrainte totale ou de contrainte effective, le potentiel de risque de la route, etc. Selon le questionnaire, le facteur de sécurité s'étend de 1,05 à 2,0 et des valeurs entre 1,2 et 1,5 sont couramment utilisées.

Il faut encore noter que la valeur critique du facteur de sécurité est étroitement liée à la méthode d'analyse utilisée et à la méthode d'essai de la résistance du sol, la valeur doit donc être déterminée avec le plus grand soin.

On considère également difficile d'évaluer le potentiel de risque d'une pente simplement au moyen de l'analyse de stabilité, et il est d'usage d'évaluer le potentiel en

considérant chaque facteur qui pourrait influencer la stabilité de la pente, y compris le facteur de sécurité comme l'un de ces facteurs. Les facteurs peuvent inclure toute preuve des mouvements de glissement sur le site ou sur un site voisin, les résultats des analyses de stabilité qui avaient été réalisées sur les pentes voisines, etc.

• **Autres**

Une méthode d'analyse quantitative n'a pas encore été suffisamment développée pour les ruptures de pentes rocheuses. Les ruptures de pentes rocheuses se produisent en quatre formes générales : plane, en biseau, culbutante ou circulaire. A l'exception de la rupture circulaire, le mécanisme de rupture dépend largement du système de joint et autres discontinuités au sein de la masse rocheuse. Dans les analyses, des procédures d'équilibre limite similaires à celles décrites au Tab.IV.1, avec une attention plus particulière aux aspects tri-dimensionnels de la rupture, peuvent être appliquées. La plupart des chutes rocheuses sont associées à des précipitations pluvieuses élevées et/ou une fonte rapide de la neige. Les données de précipitations historiques doivent être obtenues et examinées. Les effets de l'eau aussi bien dans les fissures de tension que dans les discontinuités doivent être étudiés. Le système de classification décrit ci dessous serait la meilleure façon d'évaluer le potentiel de risque des chutes rocheuses en tenant compte du niveau actuel de la connaissance.

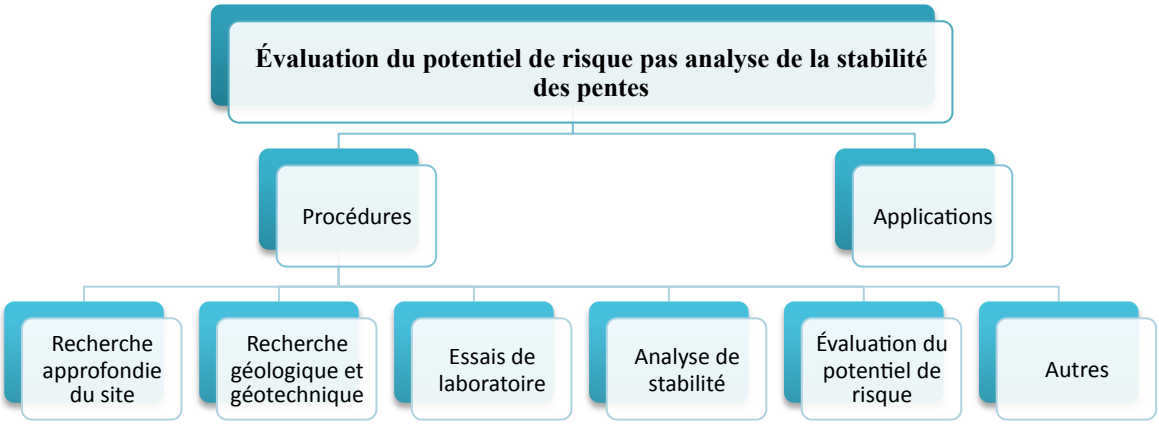


Fig.IV.4 Schéma illustrative sur l'évaluation du potentiel de risque par analyse de la stabilité des pentes.

IV.2.3 Étude et évaluation générales du risque des glissements de terrain

Au premier stade de la construction routière, les pentes susceptibles de glissements de

terrain sont localisées et leur susceptibilité relative est évaluée.

IV.2.3.1 Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain

Pour commencer une évaluation d'un glissement de terrain d'une zone il faut d'abord examiner les catastrophes antérieures et effectuer une reconnaissance de terrain. Pour couvrir une large zone, Il faut choisir des méthodes d'étude efficaces. La recherche doit se concentrer sur la détermination des trois facteurs de site principaux qui influencent l'instabilité du sol : la pente du sol, la géologie, et les précipitations antérieures.

- **Étude des catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain**

Il est important et efficace de rechercher l'historique des catastrophes antérieures pour identifier les pentes susceptibles de glissements de terrain dans une zone. Cela peut être effectué en examinant les documents existants, les précédents dossiers géotechniques, les levés sur le terrain et les déclarations des riverains. Les éléments suivants sont collectés :

A. Cartes topographiques

La topographie indique le résultat de toutes les actions naturelles et humaines sur la surface de la terre, dont l'altération, l'érosion, la sédimentation, les mouvements de l'écorce terrestre, les déblais et les remblais, etc. Par conséquent, les cartes topographiques peuvent être utilisées pour identifier les formes géomorphologiques, les réseaux hydrographiques et les pentes terrestres.

Afin d'identifier les pentes susceptibles de glissements de terrain, des cartes à grande échelle doivent être utilisées dans la mesure du possible, typiquement de 1:2 000 à 1:10 000. L'échelle de la carte est sélectionnée selon la disponibilité, l'aire à couvrir, la précision d'identification, etc. Si les cartes disponibles sont anciennes, la topographie est susceptible d'avoir changé, dans ce cas, une nouvelle carte doit être dressée le long des itinéraires de grandes routes ou les cartes existantes doivent être révisées par l'intermédiaire de levé sur le terrain.

B. Cartes géologiques y compris les cartes pédologiques

Les cartes géologiques peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur les matières et les structures géologiques qui affectent les sites. Les informations concernant les glissements de terrain comprennent la distribution des éléments problématiques, les discontinuités structurales telles que les failles et les fissures, et pendages et directions des couches géologiques.

Les cartes géologiques sont souvent à petite échelle et la majeure partie du détail apparaît sous forme d'hypothèse plutôt que de fait. Cela rend difficile d'identifier les

caractéristiques géologiques des sites individuels et il ne faut pas perdre de vue ce fait lorsque l'on se sert de telles cartes.

Les cartes pédologiques, que l'on désigne souvent par cartes des sols agricoles, comportent des informations sur les dépôts du sol proche de la surface et les formes du sol. Bien que de telles cartes soient principalement associées à l'occupation des sols agricoles, la connaissance de la forme du sol aide à établir les caractéristiques des dépôts de sol.

C. Photographies aériennes

L'utilisation de photographies aériennes pour les applications d'ingénierie est décrite à la section IV.2.3.

D. Documents sur les glissements de terrain

Il est souvent très utile de réunir les documents concernant le site d'intérêt car ils peuvent fournir de précieux renseignements sur les glissements de terrain antérieurs. Les détails des instabilités particulières peuvent parfois aussi être obtenus auprès des résidents. Les informations collectées sur les anciens glissements de terrain peuvent alors être compilées sous forme d'inventaire organisé suivant l'emplacement, le temps d'origine, le type et l'étendue du glissement de terrain, l'intensité de la précipitation, etc. Les points sont alors tracés sur les cartes qui sont ensuite utilisées dans le levé sur le terrain.

E. Enregistrement des précipitations

Des corrélations directes peuvent exister entre la quantité de précipitations journalières (généralement pluviales) et l'apparition du glissement de terrain. Les études des glissements de terrain historiques et des quantités de précipitations journalières peuvent être utiles pour déterminer les niveaux du seuil de précipitations pour les mouvements imminents de terrain.

F. Autres

Outre les éléments ci-dessus, les cartes d'utilisation des sols, les enregistrements météorologiques et matières similaires peuvent être collectés et utilisés. Les éléments à noter comprennent les développements des formes du sol, la stratigraphie, l'altération et les caractéristiques structurales du sol. Il serait utile de considérer la fréquence d'événements importants tels les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les ouragans, les typhons, les tsunamis, les inondations, et l'affaissement.

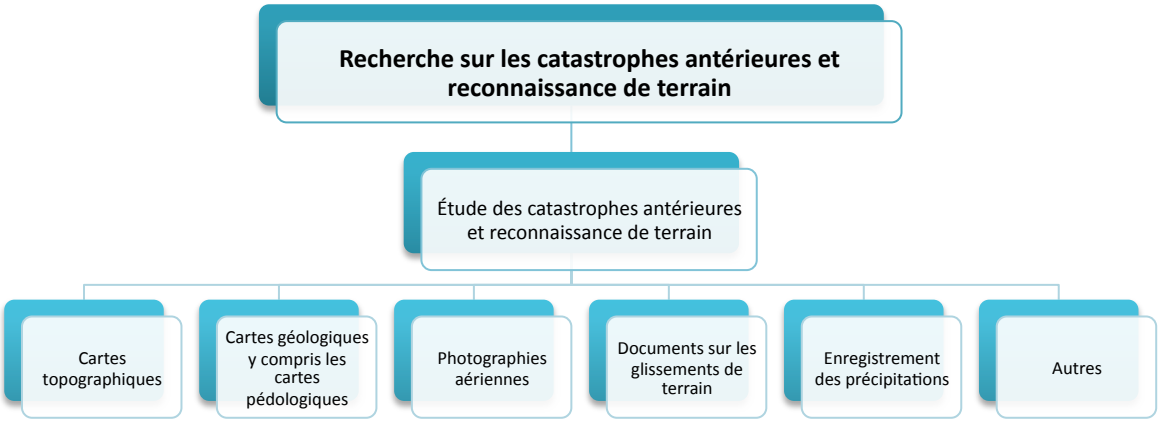


Fig.IV.5 schéma illustrative sur la Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain.

- **Reconnaissance du terrain**

Un examen visuel complet du site doit être effectué au stade initial. Les objectifs de la reconnaissance de terrain consistent à vérifier et à modifier les informations rassemblées par des études documentaires pour identifier les nouveaux sites à problème et estimer la sévérité du problème, et pour identifier les sites pour lesquels une étude détaillée est requise. Les principaux domaines à rechercher dans l'étude sont donnés ci-dessous.

A. Géologie appliquée

Il est conseillé d'effectuer une étude géologique de surface des sites à glissements de terrain potentiels par l'étude documentaire, ou pour les sites importants ou difficiles. Les remblais sur colluvion qui présentent souvent des problèmes de glissements de terrain doivent être examinés avec soin. Les types de sols et de roches, les structures géologiques, l'altération de matière et la présence d'eau de surface sont analysés.

B. Topographie

Les glissements de terrain se produisent à la fois sur les sols et les roches en raison d'une ou plusieurs causes, dont les conditions géologiques et hydrologiques, la topographie, les effets de l'altération, etc. Une étude de la topographie révèle des informations précieuses non seulement sur les précédents glissements de terrain et leurs types, mais aussi sur la probabilité des glissements de terrain. Les caractéristiques topographiques régulent le débit de l'eau de surface et souterraine qui est une cause principale des glissements de terrain. Les caractéristiques topographiques principales à étudier sont fournies ci-après.

- Surplombs, lacunes et fissures au sommet des pentes, ceux-ci sont causés par d'anciens glissements de terrain ou représentant la signe de futurs glissements.
- Pentes avec une surface accidentée ou irrégulière témoignant des restes de dépôts de glissements de terrain : celles ci présentent un potentiel élevé d'écoulement de débris.
- Dépressions : elles sont souvent couvertes par des dépôts de terre végétale et/ou de sols altérés et sont susceptibles d'amasser l'eau de surface.
- Les pentes avec eau d'infiltration : celle-ci peuvent être influencées par l'action de l'eau souterraine, par exemple les canalisations et l'érosion.
- Pentes avec de nombreux blocs de pierre, pentes raides avec des fissures et blocs : celles-ci présentent un potentiel élevé de chutes rocheuses.

C. Végétation

La végétation est influencée non seulement par les conditions météorologiques dont le climat, la température et les précipitations, mais également par les conditions géologiques et des eaux souterraines. Par conséquent, il est possible d'estimer les conditions géologiques et des eaux souterraines d'un site à partir de la végétation. Cependant, du fait que la flore et la végétation sont spécifiques à un pays ou une région, une connaissance locale de la corrélation entre la végétation et les conditions du sol s'avère nécessaire.

Les résultats de la reconnaissance du terrain et des études documentaires sont ensuite utilisés pour compiler des cartes géologiques, des cartes de répartition de la détérioration des pentes et des cartes de risque de glissements de terrain.

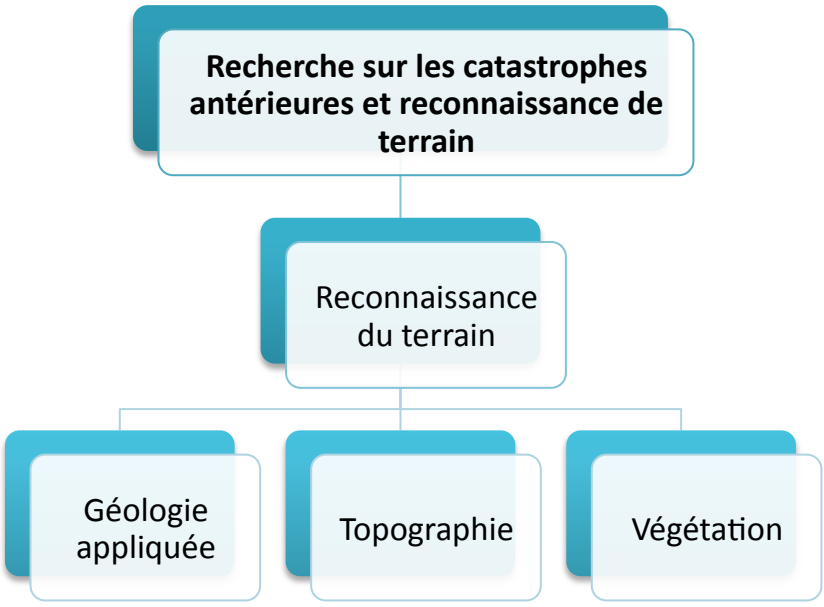


Fig.IV.6 schéma illustrative sur la Recherche sur les catastrophes antérieures et reconnaissance de terrain.

IV.2.3.2 Interprétation des pentes susceptibles de glissements de terrain à partir de photographies aériennes

Les photographies aériennes sont normalement utilisées pour interpréter les zones de glissements, culbutes, éboulements et écoulements potentiels. Les pentes susceptibles de glissements de terrain peuvent être identifiées plus rapidement et plus efficacement par vision stéréoscopique à partir de photographies aériennes plutôt que par levé sur le terrain cependant, il est essentiel de posséder l'expérience nécessaire lors de l'interprétation de telles photographies. Certains éléments modèles qui figurent sur les photographies aériennes peuvent être interprétés pour identifier les détails de terrains instables. Ces éléments modèles comprennent la forme topographique, le drainage, l'érosion, la couleur ou le ton, la végétation et l'occupation des sols.

La topographie d'une zone est une réflexion précise du type et du passé des mouvements de la pente par lesquels elle est formée. Ainsi, l'emplacement et le type de glissements de terrain potentiels dans une zone donnée peuvent être déterminés en analysant la topographie qui indique le mouvement antérieur de la pente. Le potentiel de risque relatif de glissements de terrain peut être calculé en évaluant l'âge de formation des pentes à glissements de terrain à partir de l'importance de la dissection topographique. Par exemple, l'estimation potentielle de risque pour une ancienne topographie de glissements de terrain est inférieure à celle d'une topographie plus récente du fait que l'ancienne a déjà résisté avec succès aux tremblements de terre, fortes pluies ou autres dangers naturels.

Les réponses au questionnaire du C12 ont montré que les cartes de risque de glissements de terrain sont généralement fondées sur des lectures aériennes de topographie de glissements de terrain. En Espagne, par exemple, la topographie du Tab.IV.2 a été lue à partir de photographies aériennes de 1/33 000, et une carte d'instabilité de pentes a été créée en identifiant les types de végétation, puis en faisant reposer la carte sur d'autres facteurs qui rendent une pente instable telles la géologie et les précipitations. Le Groupe d'Étude international sur les Glissements de Terrain a proposé un Projet cartographique mondial des glissements de terrain afin de réduire les catastrophes liées aux glissements de terrain sur une échelle globale en produisant des cartes de chaque type de glissements de terrain à partir de photographies aériennes en couleur [de 1/58 000. Des photographies par satellite seront utilisées dans les zones où des photographies aériennes ne peuvent pas être prises ou ne sont pas disponibles.

Étant donné que le questionnaire du C12 n'a pas fourni d'informations sur les

méthodes utilisées pour interpréter les photographies aériennes, ce rapport met l'accent sur les techniques japonaises.

- **Spécifications des photographies**

Alors que des photographies à une échelle de 1/10 000 ou moins sont suffisantes pour déterminer la topographie des glissements de terrain sur une large zone, une échelle d'au moins 1/8 000 est requise lors de la lecture de blocs de glissements de terrain ou lors de l'utilisation de ces lectures de blocs pour créer des cartes de risque de 1/5 000 ou plus. Des photographies à l'échelle de 1/1 000 à 1/5 000 ont été utilisées pour la série des cartes françaises d'occupation du sol POSZERMOS (1/5 000).Les photographies verticales sont les plus courantes bien que les photographies obliques soient utiles pour les lectures de topographie détaillées des pentes spécifiques.

- **Lecture de la topographie**

La topographie de glissements de terrain est lue tout en évaluant l'âge de formation à partir de l'importance de la dissection. Il faut prendre les plus grandes précautions étant donné que la topographie est parfois masquée par une couverture de végétation. Les déformations des pentes liées aux glissements de terrain, y compris les affaissements, les anciens affaissements, les rigoles, les fronts d'érosion, les bancs d'acheminement des débris, les cônes d'éboulis, les terrasses, les linéaments, les affleurements rocheux, les crêtes doubles et la perturbation des réseaux fluviaux d'origine, sont évalués. Les petits escarpements et fissures de glissements sont lus à partir de photographies d'une plus grande échelle. La taille potentielle du bloc de mouvement est évaluée pour les glissements de couches profondes.

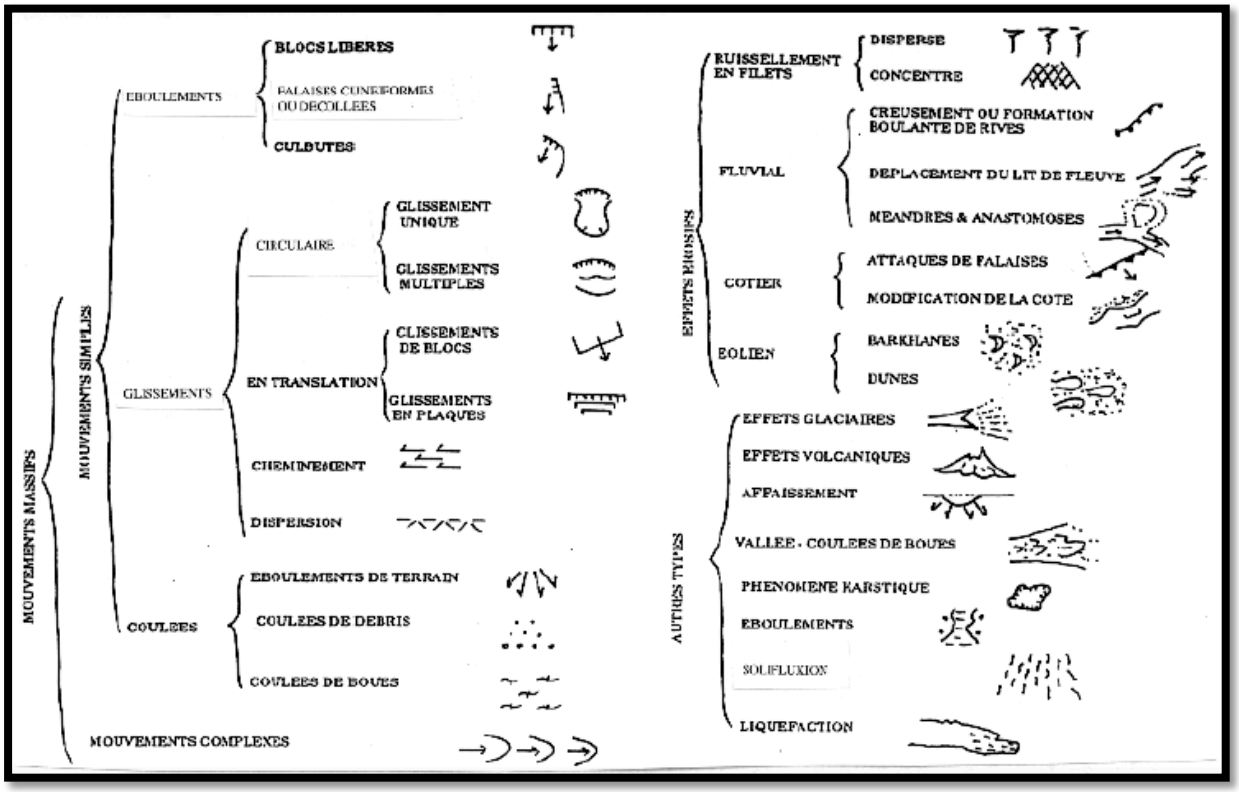
- **Lecture de la topographie des glissements de couches profondes**

Les glissements de couches profondes menacent souvent les ouvrages routiers. La plupart des glissements de couches profondes au Japon se produisent dans les zones qui ont une topographie à tendance aux glissements de terrain, c'est pourquoi une lecture précise de la topographie est extrêmement importante. Une topographie type de glissements de couches profondes est présentée à la Fig.IV.7 Ainsi, la première étape consiste à déterminer la position et la direction des escarpements, dépressions, fissures de tension, fissures de compression et zones sédimentaires extrudées afin d'identifier les blocs de mouvement et leur direction de mouvement. La forme d'un bloc de mouvement peut parfois être utilisée pour déduire si la surface de glissement sera circulaire ou plane. Des caractéristiques telles que des crêtes doubles aux alentours représente également un avertissement du potentiel de glissements ou d'éboulements de couches profondes.

- **Reconnaissance de terrain**

Dans la mesure du possible, les lectures de photographies doivent être confirmées par des reconnaissances de terrain du fait que les caractéristiques mineures sont souvent couvertes par des arbres et peuvent être ignorées.

Tab.IV.2 Classification simplifiée des mouvements et symboles.



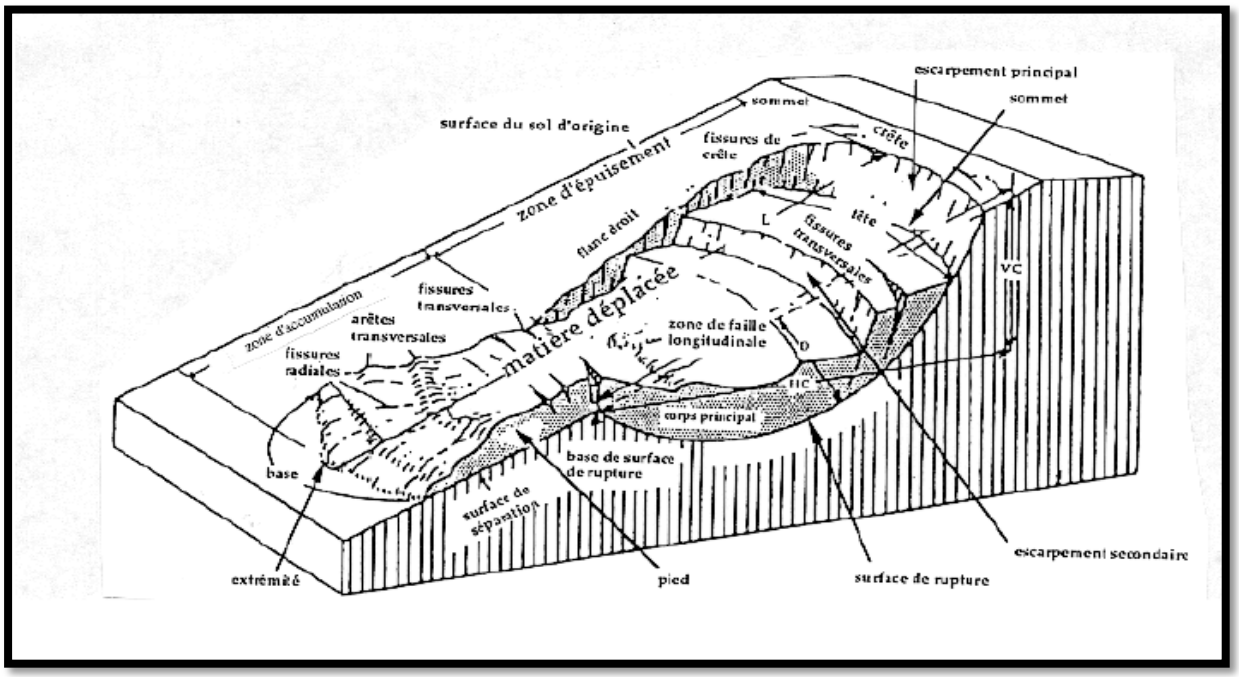


Fig.IV.7 Topographie type d'un glissement de terrain.

IV.2.3.3 Interprétation des pentes susceptibles de glissements de terrain à partir d'images par satellites

Les images par satellites offrent une couverture globale et peuvent être utilisées pour étudier aussi bien la structure géologique que hydrologique. Dans les zones où les photographies aériennes ne sont pas disponibles, les images par satellites peuvent fournir des données aidant à localiser et à évaluer les risques de glissements de terrain. Il est clair que le Projet international de cartographie des glissements de terrain mentionné auparavant se servira des images par satellites [15]. Cependant, le questionnaire du C12 a révélé que les images par satellites sont rarement employées.

Les images par satellites SPOT et JERS1 sont utilisées pour lire la topographie à partir des images stéréoscopiques, comme pour les photographies aériennes. LANDSAT, MOS1 et autres données multi spectrales fournissent des informations sur la température au sol et les tons de couleurs et sont utilisés pour étudier la distribution de l'eau souterraine superficielle et la détérioration de l'activité végétale par l'apparition de fissure. Ainsi, le potentiel de risque des glissements de terrain peut être estimé [16]. Cette dernière technique est uniquement une méthode indirecte de localiser les zones potentielles de glissements de terrain et comme telle, doit clairement être distinguée des autres facteurs. Étant donné que les satellites contrôlent la surface de la terre continuellement, les images par satellites peuvent être utilisées plus efficacement pour évaluer les changements dans le potentiel de risque dans les zones initialement identifiées en utilisant des techniques plus fiables.

Les images SPOT ont une résolution de 10 m, et SPOT2 qui vient récemment d'être lancé a une résolution supérieure. L'étude comparant les images SPOT avec les photographies aériennes de topographie de glissement en couches profondes suggère que les photographies par satellites peuvent uniquement être utilisées pour lire des topographies de glissements de terrain à grande échelle [17]. Oyagi pense que la lecture n'est pas possible pour des glissements de terrain de moins de 250 m de large [17].

IV.2.3.4 Développement d'une carte des risques de glissements de terrain sur une large zone en utilisant les données GIS

Le Système d'Informations géographique [Geographical Information System (GIS)], est une base de données récemment développée des différents attributs des sols tels que la topographie, la géologie, les caractéristiques du sol, la végétation, etc. Les systèmes et les informations incluses ne sont pas nécessairement unifiés et varient suivant le pays. Cependant, les cartes numériques GIS imprimées sont traitées par un ordinateur central sur la

base d'informations rassemblées à partir des cartes topographiques existantes, relevés sur le terrain, photographies aériennes et système de télédétection, et sont publiées dans différents ouvrages.

- **Emploi des cartes de risque pour l'urbanisme en France** [18]

Dans le cadre de la loi sur l'Urbanisme de France, les zones dangereuses, où des catastrophes naturelles telles que les inondations, les glissements de terrain, l'érosion et les avalanches de neige peuvent se produire, doivent être clairement indiquées sur les cartes et autres documents. Les projets de développement doivent être restreints ou interdits pour que les bâtiments et autres occupations des sols ne soient pas endommagés pour des causes connues ou prévisibles. Selon cette loi, les cartes de distribution des zones à risque de glissements de terrain sont préparées par les collectivités locales, y compris les municipalités. Les cartes sont disponibles sous forme de cartes générales à une échelle de 1:25 000 ou sous forme de cartes détaillées à une échelle de 1:5 000, tel qu'indiqué aux figures IV.2 et IV.3. Les zones à risque sur les cartes sont classifiées en se fondant sur le passé concernant les glissements de terrain et en analysant les facteurs qui peuvent affecter un glissement de terrain (gradient de la pente, conditions géologiques, systèmes de drainage, etc.).

Dans ce rapport, six catégories sont définies. Il est impossible de réaliser les études nécessaires pour déterminer les lignes de démarcation sur des cartes au 1:5 000 en raison de la charge de travail et du coût, tandis que des photographies aériennes ne sont pas suffisamment précises. Par conséquent, les données ont été rassemblées par photographies verticales et obliques prises à partir d'une faible altitude à 1:1 000 jusqu'à 1:5 000 en utilisant des films monochromes, positifs et infrarouges. En particulier, les photographies obliques sont très efficaces pour comprendre les types de mouvements des pentes. Ces techniques photographiques réduisent le coût d'étude de la moitié aux deux tiers (figures IV.2, IV.3).

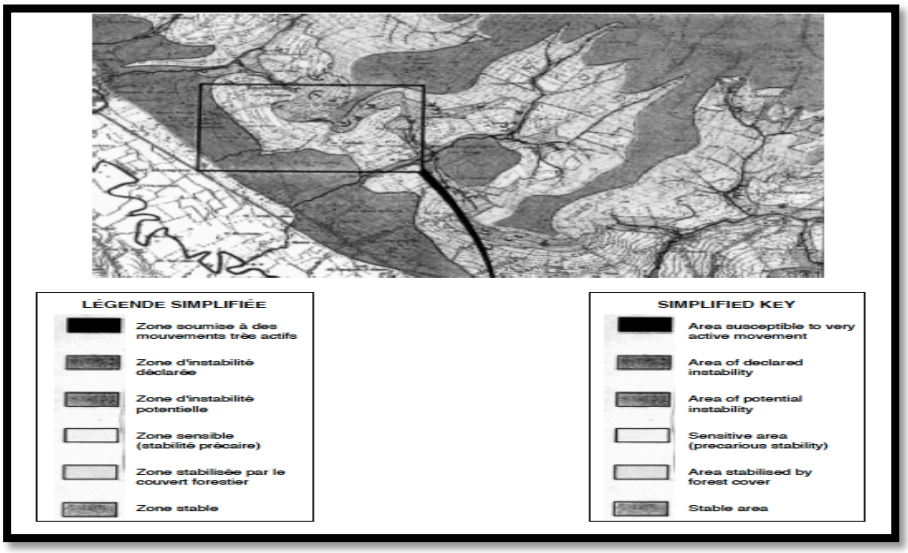


Fig.IV.8 Carte de risque (France) (Échelle d'origine 1:25 000) [18].

Extrait de la carte ZERMOS (Échelle de 1:26 000) de Trouville - Pont l'Évêque (échelle réduite d'environ un tiers), avec légende simplifiée. La zone soulignée dans le rectangle est indiquée sur une plus grande échelle sur un fond cadastral sur la carte POSZERMOS (figure IV.3). En passant d'une carte à l'autre, cela vous permet de déterminer les modifications et les caractéristiques distinctes de la zone.

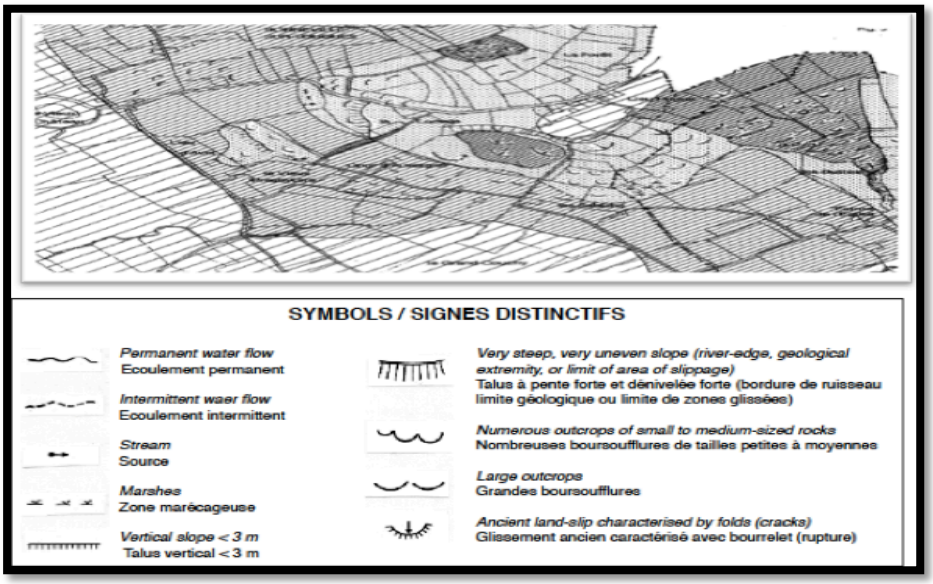


Fig.IV.9 Carte de risque détaillée (France) (Echelle d'origine 1:5.000).

Extrait de la carte POS-ZERMOS sur fond de plan cadastral au 1/5000 (échelle réduite) avec la légende annexée au POS du groupement d'urbanisme de la basse vallée de la Touques.

ZONES

Zone d'instabilité déclarée (non indiquée sur l'extrait de carte à la page précédente)
Ceci correspond aux mouvements récents causant des glissements et des fissures.

Zone d'instabilité potentielle
Il y a développement dans les parties supérieures des pentes. Cette zone consiste de collines escarpée ou de terrains à proximité immédiate des cours d'eau. Elle est caractérisée par de nombreux glissements de terrains anciens ; affleurements composés de dépôts de limon ; argile et couches de sable affaissées, l'eau d'écoulement dans les glissements du sol alimentée par l'eau dans le substratum et l'eau de ruissellement ; marais et cours d'eau émergents.
Trois principaux facteurs prédominent : l'horizon de sable argileux (glauconite) de la base crétacée ; les dépôts anciens de sable contenant une couche d'eau, des dépôts libres friables sur l'argile jurassique ; et le sol saturé.
Ces facteurs, associés aux pauvres conditions climatiques aggravées par une activité humaine nuisible (dégagement de terrain et travail du sol) ont causé de nombreux glissements et éboulements de terrains anciens, dont les traces peuvent encore être observées dans le paysage.

Zone d'instabilité potentielle caractérisée par des mouvements anciens multiples
Cette zone partage les caractéristiques mentionnées ci-dessus mais présente une sérieuse accumulation de glissements de terrains anciens et très considérables (topographie très mobile), accompagnée par des cours d'eau émergents et les zones marécageuses.

RECOMMANDATIONS

(Pour les zones d'instabilité potentielle)

Tous les travaux (terre-pleins, poids supplémentaire, déforestation) qui ont tendance à modifier l'équilibre précaire des surfaces des collines devraient être évités.

En fait, une étude spécifique est demandée. Il est vital de ne pas négliger la question du drainage.

Zone sensible (stabilité précaire)
Ceci est caractérisé par une topographie qui se déplace légèrement, avancements et traces d'anciens glissements de terrain, pentes modérées à légères et quelques zones humides.
Cette zone couvre la partie inférieure des pentes de Calonne, la partie centrale de celles à La Touques. Les inclinaisons sont normalement légères mais exposent des traces de mouvement mineur ancien.

Zone stabilisée par une couverture forestière
La forêt dans la partie supérieure des vallées a arrêté le développement des collines, en fossilisant des glissements de terrains très anciens et en limitant l'érosion par cours d'eau intermittents.
Tout changement affectant la couverture forestière pourrait déranger l'équilibre général des pentes.

RECOMMANDATIONS

(pour la zone sensible)

Une zone plus stable que les autres, capable de recevoir constructions et terre-pleins si les précautions suivantes sont prises :
fondations majeures et terre-pleins : une étude préliminaire spécifique, une attention spéciale à la question du drainage.

Agriculture : éviter la déforestation et retenir l'herbe.

Zone stable
Occupant le plateau Saint-Gatien et la partie inférieure des pentes de La Touques, cette zone va d'un terrain accidenté à plat. Elle ne montre aucune trace de mouvements récents, rendant cette zone susceptible de recevoir de la construction (bien qu'il y ait encore le problème du drainage).

Zones (**Fig.IV.9**)

- **Utilisation des données GIS pour le plan d'occupation des sols du Comté de San Mateo en Californie, États-Unis**

Dans l'État de Californie une loi d'état fut promulguée dans les années soixante-dix exigeant que tous les comtés tiennent compte des risques géologiques durant le plan d'occupation des sols. Le Comté de San Mateo utilisa les ordonnances du comté pour restreindre le développement du terrain dans les zones à risque sur le plan géologique et exigea que les concepteurs consultent des spécialistes avant l'aménagement. Un projet fut également débuté pour établir un système d'informations géographiques et géologiques en vue de fournir des critères de jugement. Le système d'informations est réalisé par des spécialistes de l'aménagement, de la prévention des catastrophes et des services d'informations du Comté de San Mateo et de l'Association des Agences d'Administration du Golf de San Francisco. Ce projet est détaillé ci-dessous.

A. Construction d'une base de données

Sur la base de cartes hypsométriques topographiques à l'échelle de 1:100 000, des cartes numériques d'élévation de surface du sol de 30 m2 sont réalisées. Des cartes à lignes numériques indiquant les cours d'eau et les routes, la classification géologique par perméabilité, l'occupation des sols et les zones d'inondation sont également réalisées.

B. Combinaison et fonctionnement de la base de données

Les différentes cartes numériques sont combinées et les données sont traitées par un ordinateur central et dressées sous forme de carte par un système de traçage (laser). Le travail inclut la combinaison des cartes numériques d'élévation de surface du sol avec les données de glissements de terrain, associant les cartes de classification de la perméabilité géologique avec les cartes de distribution d'écoulement de boues et débris, et associant les cartes d'informations géographiques et topographiques développées à partir des cartes numériques d'élévation de surface avec les cartes de zones affaissées.

C. Application et publication des données GIS

Des systèmes sont maintenant développés pour publier les données GIS à l'attention des utilisateurs du service public et des agences administratives à une échelle de 1:62 500. Des systèmes de formation sont aussi actuellement développés pour les utilisateurs du service public.

D. Types de données GIS

Les types de données GIS existantes déjà développés et en cours de développement comprennent les cartes de classifications géologiques de San Mateo, les cartes de référence

sur les conditions géologiques de la colline de San Mateo et les caractéristiques géologiques appliquées, les cartes de distribution de liquéfaction en cas de tremblement de terre, les cartes de distribution des dommages des bâtiments estimés pour les tremblements de terre (par type de bâtiment), les cartes de risque de glissements de terrain pour les tremblements de terre, les cartes de référence pour les caractéristiques topographiques et les zones affaissées.

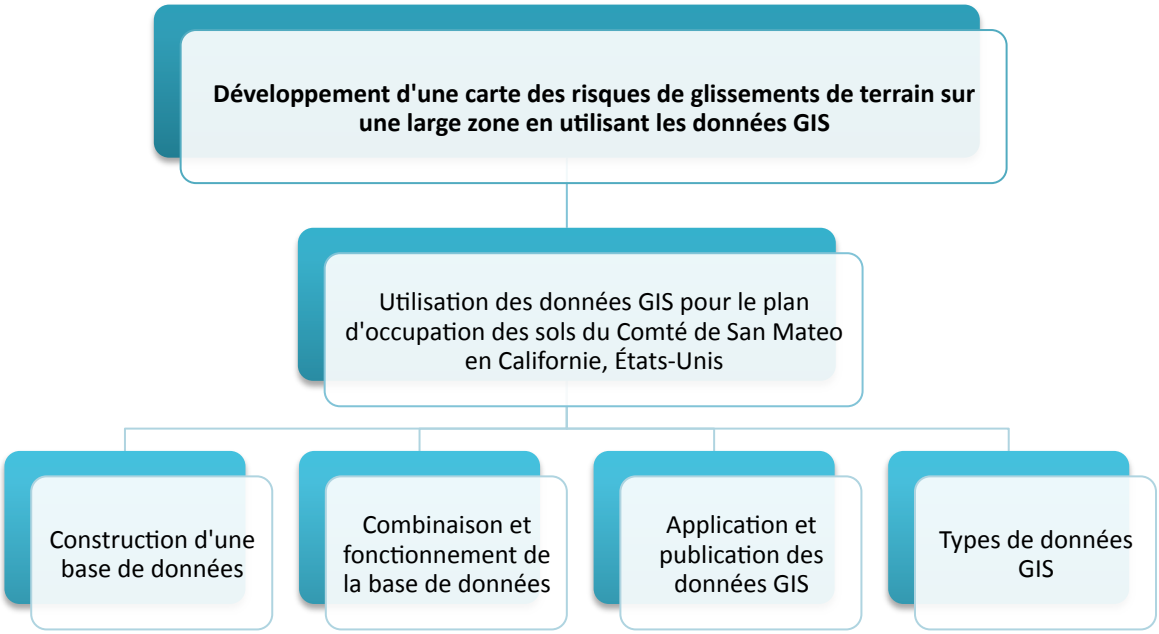


Fig.IV.10 Schéma illustrative sur le développement d'une carte des risques de glissements de terrain sur une large zone en utilisant les données GIS.

- **Utilisation des données GIS pour l'estimation des zones à risque de glissements de terrain dans les régions semi-arides, États-Unis** [19]

L'état du Nouveau Mexique est situé dans une région sèche subtropicale. Les méthodes d'évaluation des zones à risque de rupture de pente sur une surface de 120 000 km2 dans la partie nord-occidentale de l'état ont été examinées par l'équipe d'étude géologique des États-Unis [U.S. Geological Survey (USGS)]. Plusieurs cartes différentes de risque de glissements de terrain ont été développées auparavant aux États-Unis, mais les méthodes d'évaluation semblent être quelque peu inappropriées du fait qu'environ 10 % des glissements des couches profondes et 40 % des glissements des couches superficielles se sont produits en dehors des zones réputées dangereuses. Les cartes de classification topographique, les cartes climatiques et les cartes pluviométriques n'ont pas fourni de données de base appropriées pour distinguer les zones susceptibles de glissements de terrain des zones sûres. Par conséquent, l'USGS a subdivisé des cartes topographiques à l'échelle de 1:25 000 en quadrillages de 400

m afin de développer des cartes topographiques numériques avec indices de pente (élévations, lignes de coulée, lignes de crête et inclinaisons). Ces cartes numériques peuvent distinguer approximativement 99 % des glissements de couches profondes et 88 % des glissements des couches superficielles en analysant statistiquement la relation entre l'indice de pente et l'apparition du glissement de terrain (loi de courbe logistique), déterminant ainsi les facteurs qui rendent une zone susceptible aux glissements de terrain (à savoir, l'inclinaison).

L'emploi de cartes numériques contribuera largement à l'élaboration des plans de réseaux de circulation longue distance et à la sélection d'emplacements d'étude. Ces cartes aideront également à réduire les coûts lorsque des cartes au 1:500 000 deviendront disponibles dans l'avenir.

- **Conclusion**

Ces cartes numériques sont principalement utilisées pour des projets de développement de nouveaux terrains ou pour prévoir la construction d'installations urbaines. En ce qui concerne la planification des réseaux de circulation longue distance, des cartes à l'échelle de 1:100 000 à 1:500 000 sont utilisées, et en ce qui concerne les cadastres de municipalités, des cartes au 1:5 000 sont généralement utilisées. Le GIS contribuera largement à l'urbanisme et autres. Le GIS a besoin de différentes techniques modernes telles que l'interprétation des photographies aériennes, le traitement informatisé des données et la cartographie de haute précision qui doivent être assurés par les pays modernes afin de développer des cartes GIS longue distance.

IV.2.3.5 Evaluation du risque des glissements de terrain par un système de classification

Le questionnaire du C12 a révélé que peu de méthodes sont utilisées pour évaluer le risque de glissements de terrain. La méthode d'évaluation de la stabilité du Bureau routier du Ministère de la Construction au Japon [20], qui couvre la chute rocheuse, la rupture de pente, l'affaissement des roches, le glissement des couches profondes et l'écoulement de débris, est décrite en premier. Cette méthode a été utilisée dans les inspections concernant les risques routiers de 1990. Un système semblable développé par le DOT de l'Oregon, Etats-Unis, pour évaluer la probabilité de chute rocheuse, est également décrit [21, 22].

- **Méthode d'évaluation de la stabilité au Japon [10]**

La méthode d'évaluation de la stabilité utilisée au Japon couvre la chute rocheuse, l'affaissement de roches, le glissement des couches profondes et l'écoulement de débris. La méthode évalue le risque de glissements de terrain par type de glissements pour chaque pente dans un tronçon donné de route, offrant ainsi une évaluation globale du risque de glissements

de terrain sur le tronçon. Dans le cadre de cette méthode, l'affaissement de roches s'applique aux culbutes et glissements rocheux, et est défini comme un affaissement à grande échelle contenant des roches de plus d'un mètre de rayon et/ou un affaissement rocheux de plus de 5m3 sur des pentes rocheuses affleurées de plus de 15 m de haut. Le risque de glissements de terrain est évalué en totalisant les points attribués à des facteurs tels que la topographie, la géologie et l'étendue de déformation. Le total est ensuite comparé aux valeurs estimées à partir de données historiques concernant des glissements de terrain antérieurs sur le site. Le plus important des deux résultats, que l'on appelle l'estimation primaire, est alors modifié par les effets des contre-mesures existantes et également par le degré d'importance en ce qui concerne le volume de circulation. Etant donné que le résultat final est plus élevé, le potentiel de risque est plus élevé. Le Tab.IV.3 présente un échantillon du formulaire d'étude de stabilité qui est appliqué pour un glissement sur une pente taillée et naturelle. La procédure pour créer ce formulaire est expliquée ci-dessous.

Tout d'abord, le sujet de l'évaluation de stabilité est catégorisé en tant que pente taillée, pente naturelle ou une combinaison des deux. L'espace pour les pentes naturelles est laissé vierge s'il s'agit d'une pente taillée et vice versa. Les deux espaces sont remplis s'il y a des pentes naturelles au-dessus de la pente taillée à inspecter. Des points sont désignés pour chaque élément d'évaluation, et le chiffre entre parenthèses dans la colonne de points est le total de chaque sous-élément. Le nombre total de points pour la pente taillée ou la pente naturelle est ensuite calculé comme étant le résultat pour l'élément de pente. La topographie, la géologie et les autres facteurs utilisés pour l'estimation sont listés ci-après pour chaque type de glissement de terrain.

Tab.IV.3 Exemple de fiche d'étude de stabilité.

Première évaluation de la stabilité (fondée sur des relations entre éléments)

Exemple de fiche d'étude de la combinaison d'une pente naturelle et d'une pente de coupe située au-dessus de la pente naturelle

Articles		Eléments	Pente de coupe: Catégorie d'évaluation	Pente de coupe: Points	Pente de coupe: Total partiel	Pente naturelle: Catégorie d'évaluation	Pente naturelle: Points	Pente naturelle: Total partiel
Topographie	Topographie comportant des éléments affaissés	G1 : topographie de talus d'éboulis	En accord avec G1	3	6	En accord avec plusieurs topographies reprises en G2	3	6
			En désaccord avec G1	0		En accord avec une topographie reprise en G2	2	
		G2 : reste d'affaissement	En accord avec plusieurs topographies reprises en G2 & G3	3		En désaccord avec les topographies reprises en G2	0	
		G3 : bords de plateau, érosion de la base, surplomb, pente de captation des eaux, restes d'avalanche	En accord avec une topographie reprise en G2 & G3	2		En accord avec plusieurs topographies reprises en G1 & G3	3	
						En accord avec une topographie reprises en G1 & G3	2	
			En désaccord avec les topographies reprises en G2 & G3	0		En désaccord avec les topographies reprises en G1 & G3	0	
Sol, géologie, structure	Sol correspondant au type d'affaissemen	Sol sensible à l'érosion, sol qui s'affaibli lors de l'absorption d'eau, etc...	Tout à fait évident	8	8	Tout à fait évident	2	2
			Raisonnablement évident	4		Raisonnablement évident	1	
			En désaccord	0		En désaccord	0	
	Géologie correspondant au type d'affaissement	Densité importante de fissures et de strates fragiles, roches tendres sensibles à l'érosion, géologie rocheuse qui se désagrègent rapidement	Tout à fait évident	12	12	Tout à fait évident	8	8
			Raisonnablement évident	6		Raisonnablement évident	4	
			En désaccord	0		En désaccord	0	
	Type d'affaissement	Pente de dépression (stratification, structure linéaire faible)	En accord	8	14	En accord	2	6
			En désaccord	0		En désaccord	0	
		Roche de fond imperméable couverte de terre, roches dures dans les zones élevées, zones de base rocheuse cassante	Tout à fait évident	6		Tout à fait évident	4	
			Raisonnablement évident	4		Raisonnablement évident	3	
			En désaccord	0		En désaccord	0	
	Sol de surface et blocs de pierre		Instable	12		Instable	24	

Corrections de l'efficacité des constructions préventives

Niveau d'efficacité des constructions préventives américaines	Points (α)	Evaluation: Pente de coupe	Evaluation: Pente naturelle
Très efficaces contre les chutes de roches et les affaissements prévus	X0		
Assez efficaces contres les chutes de roches et les affaissements prévus	-20		
Efficaces contre certains affaissements et chutes de roches prévus, mais en empêchent d'autres (NT : the meaning is contradistory; the following seems more logical to me: replace "mais en empêchent d'autres" by "mais n'en empêchent pas d'autres")	-10		
Pas de constructions préventives	±10		
		(B_1 : pente de coupe) pts.	(B_2 : pente naturelle) pts.

Evaluation secondaire de la stabilité

Résultats de l'évaluation des éléments	(B)=MAX(B_1, B_2)
Résultats de l'évaluation de l'historique des catastrophes	(C)
Le plus grand de (B) et	(D)=MAX (B, C)

Première évaluation de la stabilité (évaluation de l'historique des catastrophes) : cette évaluation n'est pas nécessaire s'il n'y a eu ni chutes de roches ni affaissement de la pente de coupe ou de la pente naturelle conséquents à des constructions préventives récentes ou en cours.

Importance et fréquence des catastrophes	Points	Evaluation
Dommages causés à la route ou au trafic après ou durant l'installation des constructions préventives	100	
Pas de dommages causés au trafic, mais chutes de pierres relativement importantes et affaissement de la route	70	
Petites chutes de pierres et affaissement limités à la pente	50	
Pas de chutes de pierres ou d'affaissement	0	

Etats de la couche sous la surface	Sol de surface et blocs de pierre roulés ou détachés	Instable	12	12	Instable	24	24
		Assez instable	6		Assez instable	12	
		Stable	0		Stable	0	
	Eau de source	Abondante	8	8	Abondante	4	4
		Suintante	4		Suintante	2	
		Absente	0		Absente	0	
	Etats de la couverture de surface	Principalement de la terre dénudée et végétation	5	5	Terre dénudée et végétation	16	16
		Combinaisons (végétation et structures artificielles)	3		Combinaison (terre dénudée & arbustes & arbres	10	
		Principalement des structures artificielles	1		Principalement des arbres	6	
Configuration	Inclinaison (i), hauteur (H)	Sol: H>30 m	18	18	Hauteur: H≤30 m	10	10
		Sol: H≤30, i>valeur standard	15		Hauteur: 30≤H<50	8	
		Sol: i≤valeur standard 15≤H<30	10		Hauteur: 15≤H<30	6	
		Sol: i≤valeur standard H<15	5		Hauteur: H<15	4	
		Indes: H>50 m	18		Inclinaison: i≤70	10	
		Indes: 30≤H<50 m	16		Inclinaison: 45≤i<70°	10	
		Indes: 15≤H<30 m	12		Inclinaison: i<45°	5	10
		Indes: H<15 m	10				
Déformations	Déformations de pentes adjacentes naturelles ou de coupes (chutes de roche et affaissement, fissures, saillies, autres déformations)	Clairement en accord avec plusieurs descriptions de déformation	5	5	Clairement en accord avec plusieurs descriptions de déformation	4	4
		Partiellement en accord avec certaines descriptions de déformation	3		Partiellement en accord avec certaines descriptions de déformation	2	
		Aucune	0		Aucune	0	
	Déformations en cours (chutes de roches, chutes de petites roches, érosion en ravin, sol délavé, siphons, dépressions, saillies, courbure des fosses, chute d'arbres, fissures ouvertes, autres déformations dans les constructions préventives)	Clairement en accord avec plusieurs descriptions de déformation	12	12	Clairement en accord avec plusieurs descriptions de déformation	10	10
		Partiellement en accord avec certaines descriptions de déformation	8		Partiellement en accord avec certaines descriptions de déformation	5	
		Aucune	0		Aucune	0	
Score total		Pente de coupe :			Pente naturelle :		

Note : l'expression entre parenthèses représente le total des sous-éléments

d'affaissement 0

(C)

Utiliser le trafic journalier comme volume standard du trafic. Dans le cas où, pour certaines zones, le volume du trafic durant le week-end est plus du double du trafic en semaine, utiliser comme standard pour ces zones la moitié du trafic de week-end.

Correction de l'évaluation sur certains tronçons (E)=(D)+β

Niveau de correction de l'évaluation sur certains tronçons	Points	Evaluation
• Volume du trafic : plus de 3000 véhicules par jour, plus de 2000 véhicules par jour sur route sans détour. • Routes municipales à grande circulation et routes déclarées de sécurité routière supportant plus de 500 véhicules par jour.	+10	
• Volume du trafic : de 1000 à 3000 véhicules par jour, 1000 à 2000 véhicules par jour sur route sans détour. • Routes municipales à grande circulation et routes déclarées de sécurité routière supportant entre 300 et 500 véhicules par jour.	+5	
• Volume du trafic : inférieur à 1000 véhicules par jour. • Routes municipales n'entrant pas dans la classification ci-dessus.	±0	

Evaluation finale

Score total	Classification par catégories		
(E)	Catégorie I	Plus de 80 points	Catégorie
		Moins de 40 points	

A. Chute rocheuse

✓ Topographie

Existence de caractéristiques d'affaissement telles que talus, pied ou terrasse d'une région montagneuse, signe d'un ancien affaissement, ligne de crevasse distincte, érosion prononcée du pied, surplomb, pente en forme de vallée.

✓ Caractéristiques des sols, structure géologique

- Sol susceptible d'affaissement : vulnérable à l'érosion, perte de résistance alors que la teneur en eau s'élève.

- Roche susceptible d'affaissement : haute densité des fissures ou couches fragiles, vulnérabilité à l'érosion, altération rapide.

- Structure géologique susceptible d'affaissement : pendage pente, roche de fond imperméable, roche dure dans les parties supérieures mais fragile au pied.

✓ Conditions de la couche de surface de pente Stabilité du sol de surface et des blocs de pierre, eau de source, couverture végétale.

✓ Conditions géométriques

Gradient, hauteur de la pente.

- ✓ Déformation dans les pentes inspectées et pentes adjacentes.

B. Affaissement rocheux (culbutes et glissements)

- ✓ Phénomènes ou précurseurs

Etendue des fissures ouvertes, petits affaissements ou chute de roches.

- ✓ Géologie, structure géologique

Qualité de roche (dureté) de la roche de fond et intervalle entre les fissures.

- ✓ Combinaison des caractéristiques de topographie et géologiques

Combinaison des faciès de roche (sections supérieure/inférieure, dure/cassante), rapport de gradient entre la surface de pente et la surface discontinue.

- ✓ Topographie

Gradient de pente, hauteur, type de pente, clarté de la ligne de crevasse.

- ✓ Condition de l'eau souterraine

Gel et fonte.

C. Glissement de la couche profonde

- ✓ Topographie de glissement

Escarpement de glissement, topographie montagneuse et pente douce à mi-hauteur, courbes hypsométrique irrégulière, extrusions nettes aux rivières.

- ✓ Caractéristiques géologiques

- Structures géologiques : Zones de failles et de fractures, zones volcaniques alternées, argile solfatarique, pendage-pentes et pentes à fissures opposées, roches intrusives, et structure de roche de couverture.

- Age de formation et faciès de roche : âge géologique et classification des schistes cristallins, et roches sédimentaires, volcaniques et ignées.

- Eau de source.

- ✓ Passé des glissements

Dossiers sur les catastrophes et glissements de terrain antérieurs.

- ✓ Preuve des glissements de terrain

Fissure, soulèvement ou effondrement du sol, ruptures ou déformations observées dans les travaux de stabilisation des pentes, soulèvement ou fissure de la surface de la route.

D. Ecoulement de débris

- ✓ Topographie

Epaisseur des sédiments de vallée, gradient du lit de la vallée au niveau de la partie la plus

raide, zone de bassin, gradient du versant.

- ✓ Caractéristiques géologiques

Processus de formation de la couche de surface, classification géologique des débris volcaniques, dépôts pyroclastiques, cendre volcanique, zone de fracture, dépôts tertiaires ou quaternaires, eau de source, couverture végétale, neige.

- ✓ Indications

Historique des affaissements dans le bassin, nouvelles fissures et escarpement de glissement.

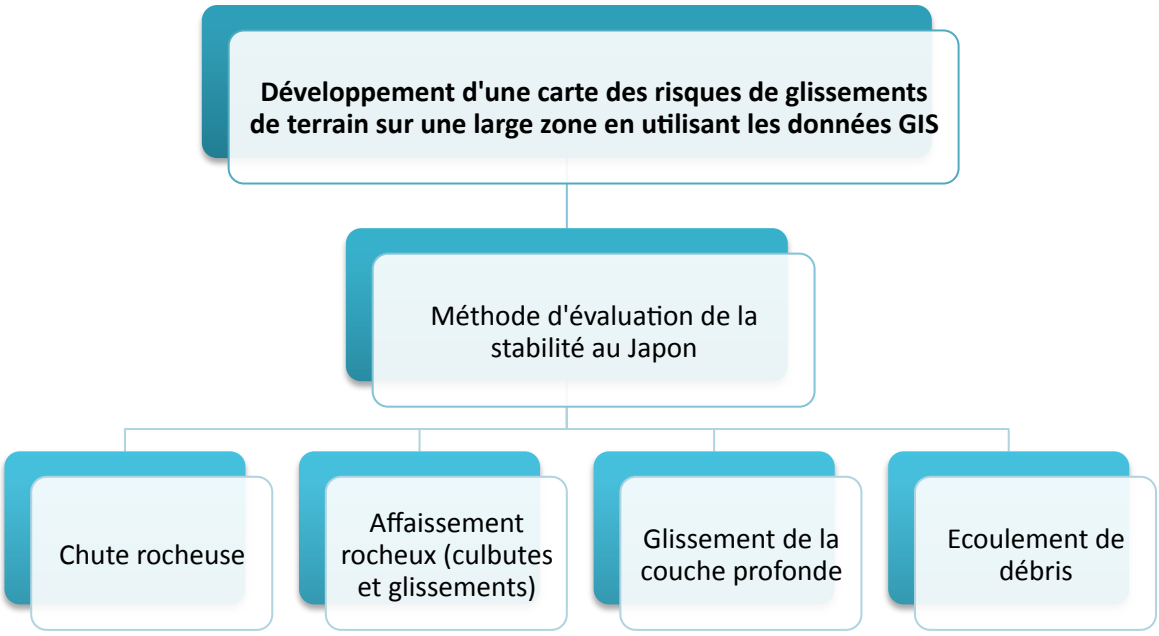


Fig.IV.11 Schéma illustrative sur le développement d'une carte des risques de glissements de terrain sur une large zone en utilisant les données GIS.

- ➢ **Système d'évaluation du potentiel de chute de roches en Oregon, Etats-Unis [21, 22]**

Le système d'évaluation du potentiel de chute de roches développé par le DOT de l'Oregon se compose de systèmes d'évaluation aux stades d'étude générale et détaillée.

La première étape dans l'évaluation du potentiel de risque au cours du stade d'étude générale consiste à classifier les pentes le long de l'itinéraire d'étude en trois groupes selon le risque de chutes de roches, réduisant ainsi le nombre de pentes à étudier. Les pentes sont classées A, B ou C selon le potentiel de chute de roches sur la route, estimé d'après des informations antérieures. Les pentes "A" nécessitent une étude très détaillée, alors que les pentes "B" doivent être étudiées plus en détails uniquement si le temps et le coût le permettent.

Au stade de l'étude détaillée, le potentiel de risque est évalué en attribuant des points aux facteurs suivants. Le total est alors utilisé pour classer les pentes à roches de fond par ordre de potentiel de risque. Les points attribués à chaque facteur ont un ordre de croissance exponentielle pour illustrer clairement le potentiel de risque. Les facteurs sont les suivants :

- ✓ Hauteur de pente
- ✓ Efficacité du fossé : capacité d'un fossé à empêcher la chute de roches d'atteindre la route
- ✓ Risque moyen des véhicule : probabilité de durée en termes de véhicules passant la zone de chute de roches
- ✓ Distance de visibilité : distance requise pour éviter un obstacle sur la route et/ou s'arrêter après avoir vu un obstacle.
- ✓ Largeur de route (y compris les bandes latérales) : tolérance pour éviter les chutes de roches
- ✓ Caractéristiques géologiques : diaclases discontinues, friction de roches, érosion
- ✓ Diamètre et volume des chutes de roches
- ✓ Précipitation annuelle et période de gel (de pente)
- ✓ Informations antérieures sur les chutes de roches

Pour chacun des facteurs ci-dessus, 3, 9, 27 ou 81 points sont donnés par ordre de potentiel de risque voir (tab.IV.4). Le total de tous les facteurs fournit l'évaluation globale du potentiel de risque pour la pente.

Tab.IV.4 Fiche récapitulative du système de classification du risque de chute de roches.

CATEGORIE			CRITERE ET RESULTAT DE CLASSIFICATION			
			3 POINTS	9 POINTS	27 POINTS	81 POINTS
HAUTEUR DE PENTE			25 PIEDS	50 PIEDS	75 PIEDS	100 PIEDS
EFFICACITÉ DU FOSSÉ			Bonne réception	Réception modérée	Réception limitée	Aucune réception
RISQUE MOYEN DES VÉHICULES			25 % de la durée	50 % de la durée	75 % de la durée	100 % de la durée
POURCENTAGE DE DÉCISION DISTANCE DE VISIBILITÉ			Distance suffisante, 100 % de la valeur nominale basse	Distance de vue modérée, 80 % de la valeur nominale basse	Distance de vue limitée, 60 % de la valeur nominale basse	Distance de vue très limitée, 40 % de la valeur nominale basse
LARGEUR ROUTIÈRE, DONT BANDES LATÉRALES BITUMÉES			44 pieds	36 pieds	28 pieds	20 pieds
CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES	CAS 1	CONDITION STRUCTURALE	Diaclases discontinues, orientation favorable	Diaclases discontinues, orientation régulière	Diaclases discontinues, orientation adverse	Diaclases continues, orientation adverse
		FRICTION DE ROCHE	Rugueuse, irrégulière	Ondulante	Plane	Remplissage argile, ou surface de glissement
	CAS 2	CONDITION STRUCTURALE	Peu de caractéristiques d'érosion différentielle	Caractéristiques d'érosion différentielle occasionnelle	Plusieurs caractéristiques d'érosion différentielle	Caractéristiques majeures d'érosion différentielle
		DIFFÉRENCE EN TAUX D'ÉROSION	Petites différences	Différence modérée	Grande différence	Différence extrême
TAILLE DU BLOC / VOLUME DE CHUTE DE ROCHE/ÉVÉNEMENT			1 pied / 3 yards cube	2 pieds / 6 yards cube	3 pieds / 9 yards cube	4 pieds / 12 yards cube
CLIMAT ET PRÉSENCE D'EAU SUR LA PENTE			Précipitations faibles à modérées ; pas de périodes de gel ; pas d'eau sur pente	Précipitations modérées ou brèves périodes de gel ou eau intermittente sur la pente	Précipitations élevées ou longues périodes de gel ou eau continuelle sur la pente	Précipitations élevées et longues périodes de gel ou eau continuelle sur la pente et longues périodes de gel
PASSÉ DES CHUTES DE ROCHES			Peu de chutes	Chutes occasionnelles	Nombreuses chutes	Chutes constantes

IV.2.3.6 Développement d'une carte de risque de glissements de terrain pour la gestion des grandes routes

Les cartes de risque de glissements de terrain sont utilisées pour gérer les routes existantes dans certains pays, et quelques exemples sont décrits ci-dessous. Il faut noter que les cartes de risque de glissements de terrain sont désignées par différents noms dans les pays

respectifs.

- **Utilisation d'une carte de risque de glissements de terrain (carte de risque de rupture de pente) pour route nationale au Brésil**

Une carte de risque de rupture de pente a été développée au Brésil pour évaluer les zones à risque de glissements de terrain sur une route nationale, la Route 116, traversant une zone montagneuse le long de la côte sur une distance de 15 km, pour des élévations de 100 à 1 000 mètres. Les cartes suivantes ont été développées.

A. Carte géologique générale

Différentes données y compris la classification des sols (dépôt colluvial, sol résiduel, roches, granit, granit décomposé), coupure stable, coupure à partir d'une zone affaissée, sol affaissé, digue stable ou instable, érosion et marécages, sont indiquées sur la carte d'itinéraire de 1:10 000 afin que les conditions géologiques de la route puissent être observées d'un seul coup d'œil.

B. Carte de risque des glissements de terrain

Différentes données, dont le risque physique de pentes s'affaissant sur la route, la menace sur les vies humaines, les effets sur la circulation lorsqu'un glissement se produit, et les renseignements sur les glissements antérieurs sont indiqués sur la carte d'itinéraire à l'échelle de 1:10 000. Quatre paramètres différents évaluent le danger physique posé par les pentes : les conditions du sol, les caractéristiques topographiques, les propriétés du sol superficiel, et la vitesse de mouvement des pentes. La menace sur la vie humaine et l'impact sur la circulation sont évalués pour trois situations différentes : fermeture complète, fermeture de la circulation dans un sens, et pas d'interruption de circulation dans dix cas d'affaissement.

C. Carte de stabilisation du terrain

Les structures de protection existantes et les structures futures sont indiquées sur la carte d'itinéraire, sur la base des informations fournies sur les deux cartes ci-dessus (Fig.IV.12).

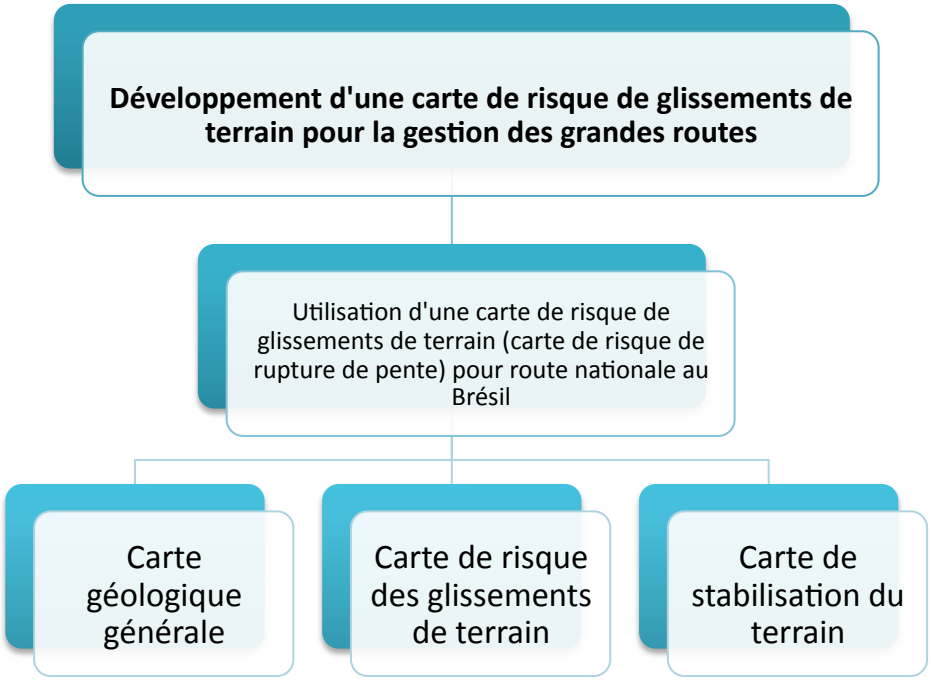


Fig.IV.12 Schéma illustrative sur le développement d'une carte de risque de glissements de terrain pour la gestion des grandes routes.

- **Utilisation d'une carte de risque de glissements de terrain (cartes de risque de chute de roches sur le rebord de la route et de rupture de pente en France)**

Des cartes de risque de chute de roches et de rupture de pentes ont été compilées par le Comité de la Cartographie de l'équipe d'étude des falaises en France pour les routes régionales dans les zones montagneuses. Ces cartes de risques d'itinéraires à l'échelle de 1:10 000 indiquent les "caractéristiques de la falaise en bord de route", le "volume de roches qui pourrait s'affaisser", et le "classement du niveau de danger", tel qu'indiqué à la figure IV.13. Le classement du niveau de danger est déterminé à partir d'un tableau d'évaluation de la stabilité. Les caractéristiques topographiques, la surface discontinue, la végétation et les structures de protection sont considérées comme des facteurs préliminaires, et le passé des eaux souterraines et des affaissements est considéré comme représentant des facteurs secondaires (Fig.IV.13).

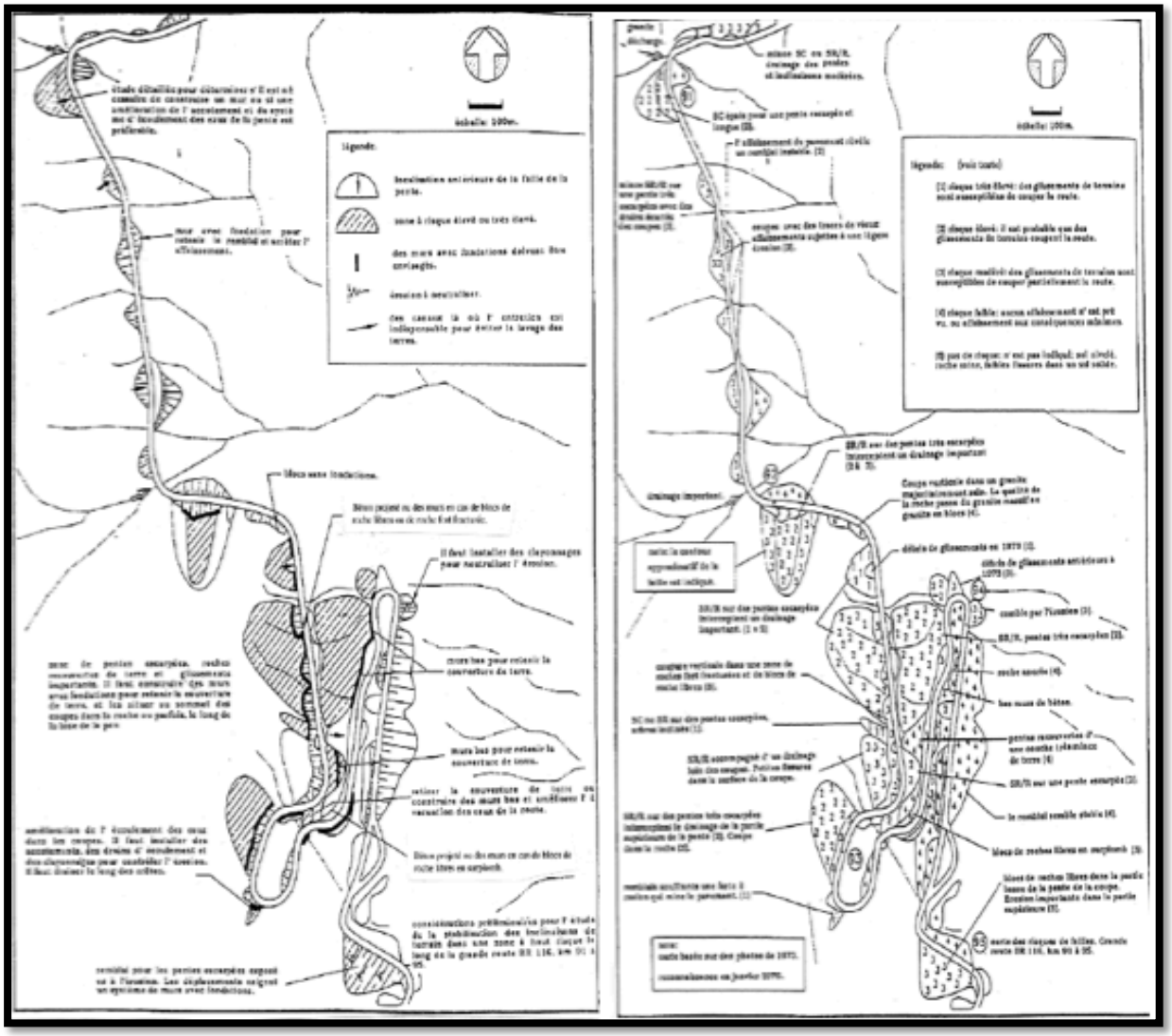


Fig.IV.13 Carte de risque de glissements de terrain du Brésil.

- **Utilisation des cartes de risque de glissements de terrain au Japon**

Les cartes de risque de glissements de terrain sont produites par le Ministère de la Construction au Japon pour les routes nationales générales dans le cadre de sa juridiction. Le travail est maintenant commencé pour préparer des cartes concernant des itinéraires spécifiques. Afin de garantir la sécurité de la circulation routière dans des conditions météorologiques anormales au Japon, les zones à risques sont désignées comme zones de contrôle de circulation. Les cartes de risque de glissements de terrain indiquent systématiquement les caractéristiques topographiques et les conditions du sol de la zone contrôlée, l'historique des catastrophes antérieures, les informations sur la fermeture de la circulation, le risque estimé, et l'historique des mesures antérieures en vue de fournir les données pour reconsidérer les normes de contrôle. Les cartes sont compilées sous la forme de carte d'itinéraire au 1:5 000, tel qu'indiqué à la figure IV.8 Les données cartographiques sont

obtenues à partir de photographies aériennes, d'études sur le terrain et d'inspections périodiques sur les structures protectrices. S'ajoutant au type de carte présentée à la figure IV.14, des cartes de profil topographique sont réalisées pour chaque 10 km de données de glissement de terrain et de précipitations au moment où le glissement est enregistré.

- **Conclusion**

Tous les exemples décrits ici indiquent les conditions du sol, les caractéristiques topographiques, l'historique des dommages, et les structures préventives sur des cartes d'itinéraires au 1:5 000 ou 1:10 000. Au Japon, les cartes sont réalisées pour les routes nationales mais, en France, elles sont réalisées pour les routes régionales. Les informations nécessaires pour préparer les cartes de risque des glissements de terrain sont principalement rassemblées à partir de données topographiques provenant de photographies aériennes et de données de sondage, mais certaines données sont catégoriques et proviennent de la reconnaissance de terrain (fissures se produisant sur la roche de fond, les altérations, les conditions des eaux souterraines, etc.) et des inspections périodiques. Les systèmes d'entretien et de gestion doivent toujours enregistrer les catastrophes, et conserver et mettre à jour les informations concernant les dommages et mesures protectrices. Par conséquent, de telles techniques sont uniquement possibles dans la zone où les routes sont bien inspectées.

SCHÉMA TYPE D'ITINÉRAIR LÉGENDE

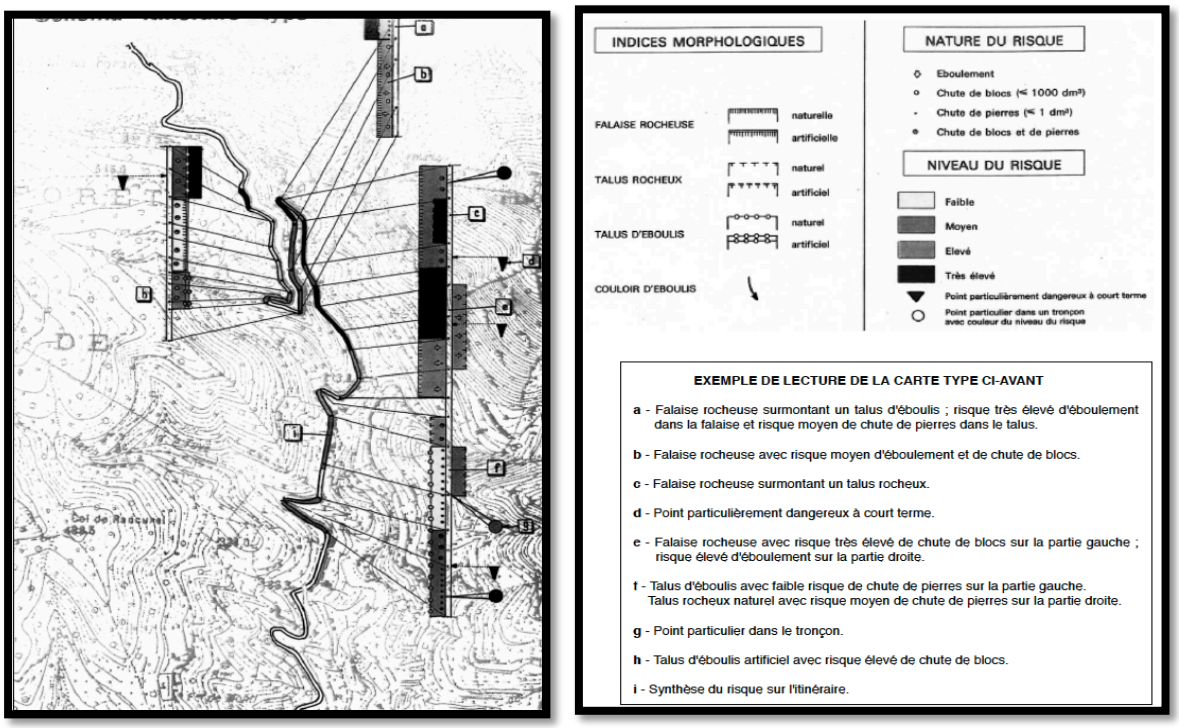


Fig.IV.14 Carte de risque de glissements de terrain (France)

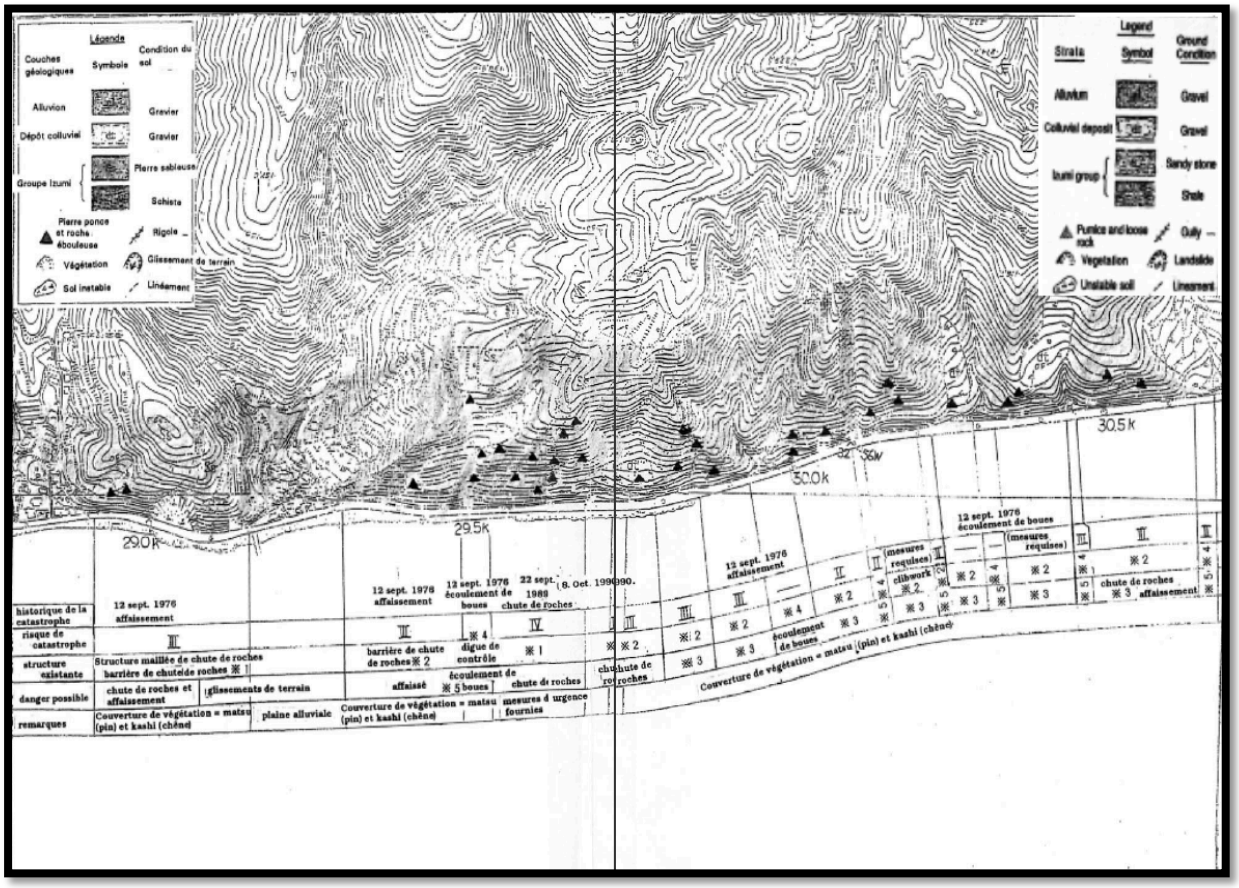


Fig.IV.15 Carte de risque de glissements de terrain au Japon (échelle d'origine 1:5 000)

IV.3 Technique de contrôle et systèmes d'avertissement

IV.3.1 Nécessité des techniques

La déformation des pentes menace non seulement directement la sécurité de la circulation routière mais également la sécurité des riverains. Les glissements de terrain forcent souvent la fermeture de la circulation routière et constituent un danger pour les vies humaines et les biens. Les travaux de restauration peuvent aussi entraîner des coûts élevés. Il est nécessaire de pouvoir reconnaître les glissements de terrain potentiels dès le premier stade par l'intermédiaire d'étude périodique et d'inspection et ainsi d'empêcher des accidents.

Différents appareils ont été développés jusqu'à présent pour détecter le mouvement en masse des pentes et la pression de l'eau souterraine. Cependant, la plupart d'entre eux ont été appliqués aux glissements de couches profondes, initialement des phénomènes de déformation lente, qui peuvent être évalués. Les mesures au niveau des zones de glissements de terrain sont importantes durant les travaux de construction et pour le contrôle et l'évaluation des pentes dangereuses sur les grandes routes existantes.

Récemment, des améliorations de l'appareillage et la large application de la technologie informatique ont rendu possible d'obtenir une mesure et un contrôle automatique

d'un certain nombre d'appareils prépositionnés. Les systèmes de contrôle modernes sont en développement ou en utilisation dans certains pays, et les données y sont traitées pour prédire l'apparition des ruptures et sont reliées à un système sonore ou d'avertissement. Le système de contrôle entièrement automatique permet la collecte et le traitement rapide des données et sélectif. L'intégrité du système repose, cependant, sur l'exactitude de la prédiction et son amélioration nécessiterait une étude plus approfondie et de meilleures techniques ainsi qu'une expertise accrue sous différentes conditions de terrain.

IV.3.2 Techniques de contrôle et d'évaluation

IV.3.2.1 Contrôle par inspection

- **Types d'inspection**

L'inspection est la fonction la plus fondamentale pour comprendre l'état des pentes et elle peut être classifiée en visite de reconnaissance journalière, où la détection visuelle de la déformation des pentes dès les premiers stades constitue la préoccupation principale, l'inspection régulière, qui est généralement effectuée à plus longs intervalles, et l'inspection spéciale durant ou après des conditions atmosphériques inhabituelles telles de fortes chutes de pluie ou un tremblement de terre.

Les réponses au questionnaire indiquent que l'inspection régulière fait partie d'un programme d'entretien, et les endroits nécessitant une inspection et un contrôle précis en se servant des appareils de contrôle sont les pentes instables, les pentes après travaux de stabilisation, ou les pentes étant contrôlées à partir du stade de construction, les glissements potentiels dans les sols spécifiques et les situations géologiques qui représentent des zones de grand risque ou d'activité géologique apparente. Les paragraphes suivants présentent quelques techniques utilisées dans les inspections sur le terrain effectuées au Japon.

- **Méthodes d'inspection**

Durant les inspections des pentes, la déformation ou l'état inhabituel de la pente tels que les fissures, dépression, dilatation, déformation des ouvrages de protection des pentes et les conditions des réseaux de drainage doivent constituer des points importants. Il faut porter fondamentalement son attention sur l'écoulement de l'eau sur les pentes car il provoque souvent, en concentration et à débit élevé, de l'érosion et des ruptures, non seulement sur les pentes taillées mais également sur le sol d'origine et les remblais. Il est important d'inspecter l'eau de ruissellement, particulièrement au niveau de l'épaulement des pentes, réseaux de drainage et points de filtration, en notant le volume et sa variation. Pour les surfaces de pentes et les structures de protection des pentes, il faut noter les observations sur la croissance de la

végétation, l'existence des roches, toute partie lâche, les fissures, les dilatations et leur variation avec le temps. Lorsque l'on observe des symptômes d'une rupture à grande échelle, il est nécessaire de considérer le contrôle de la zone en se servant d'appareils de mesure, mais tout en prenant aussi des mesures d'urgence.

Les valeurs standard de précipitation pour la fermeture des grandes routes sont généralement fondées sur le rapport entre les différents indices de précipitation et les enregistrements concernant la surveillance des glissements de terrain. Cependant, les niveaux dépendent de facteurs tels que type et section de grandes routes, période de surveillance après ouverture et état des ouvrages de protection de pentes. Les valeurs standard sont généralement exprimées au Japon en termes de précipitations cumulées ou la combinaison de précipitations cumulées et de précipitations horaires.

IV.3.2.2 Contrôle et évaluation par les appareils de mesure

- **Types et usages des appareils de mesure**

Les appareils de mesure utilisés sur des pentes instables telles que des glissements de terrain sont conçus pour détecter le déplacement de surface, le déplacement souterrain et l'état de l'eau souterraine, ces derniers étant souvent la cause principale des phénomènes de mouvement en masse. Ils sont également conçus pour mesurer la tension ou la contrainte des travaux de stabilisation et des ouvrages construits dans les zones de glissements de terrain.

Selon les réponses au questionnaire, l'emploi étendu des différents appareils de mesure est indiqué, par exemple l'arpentage, les inclinomètres et piézomètres pour les sols, les extensomètres et indicateurs de fissures pour les roches ou les structures dans les zones de glissements de terrain. Les types et l'utilité des différents appareils de mesure d'usage général sont décrits brièvement ci-dessous.

A. Mouvement de surface

- ✓ Arpentage de surface

Arpentage conventionnel, appareil de mesure optique des distances et système de positionnement global efficaces pour contrôler les zones instables de façon externe

- ✓ Extensomètres

Efficace pour identifier la dilatation de fissures, les blocs de glissements de terrain et les mouvements directionnels

- ✓ Inclinomètres

Semblables aux extensomètres

B. Mouvement du sol

- ✓ Inclinomètres (sondage, usage multiple)

Efficace pour identifier la profondeur de la surface de glissement ou la limite du mouvement en masse

- ✓ Compteurs de déformation

Semblables aux inclinomètres

C. Pression d'eau interstitielle

- ✓ Piézomètre

Pression d'eau interstitielle, niveau de l'eau souterraine

D. Déformation de structure

- ✓ Indicateurs de poussée des terres, cellules de charge

Contrainte compressive ou extensive sur les structures

- ✓ Inclinomètres
- ✓ Extensomètres

E. Autres

Un système de détection de la déformation de pente par l'utilisation de fibres optiques a été développé et se trouve au stade expérimental au Japon. Le système détecte la déformation de pente en mesurant la perte de transmission causée par flexure de la fibre optique étendue horizontalement sur la pente. Cela a l'avantage de couvrir continuellement une large zone.

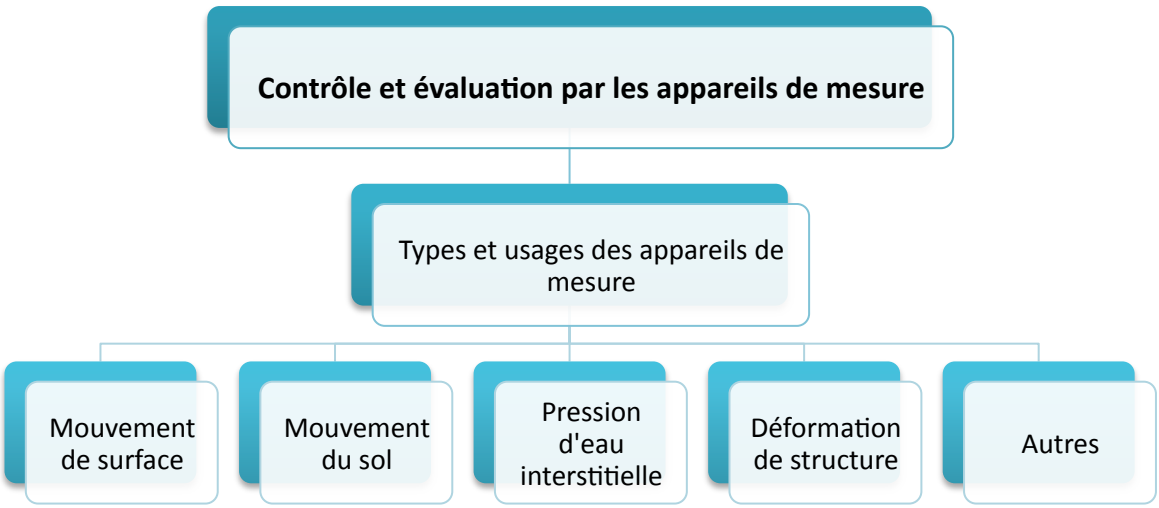


Fig.IV.16 Schéma illustrative sur le Contrôle et évaluation par les appareils de mesure.

- **Contrôle et évaluation**

A. Glissement des couches profondes

Le contrôle sur les zones de glissements des couches profondes des grandes routes en service a pour but de protéger des vies humaines et des véhicules, et de prévoir très tôt le danger potentiel afin d'éviter la fermeture de la route. Ci-après un résumé des techniques de contrôle utilisant des appareils de mesure dans les zones de glissements des couches profondes le long des voies express au Japon.

- Les zones de contrôle couvrent les glissements de terrain risquant d'atteindre les voies express ou leurs accès.
- La méthode de contrôle est principalement la mesure du mouvement de surface par les extensomètres, la profondeur de la surface de glissement à l'aide des inclinomètres (sondage) et les indicateurs de déformation.
- La disposition des appareils de mesure est telle que les extensomètres sont positionnés au sommet et au pied de la pente de glissement de terrain et un inclinomètre se trouve au centre le long de la ligne de mesure principale. Dans les cas où le glissement de terrain dépasse 150 m de largeur, une ligne de mesure secondaire est requise et les appareils sont disposés de façon semblable à la ligne principale.
- La fréquence de mesure a lieu une fois par semaine durant une période normale, trois fois par semaine durant une période de plus grande attention, chaque jour durant une période d'avertissement, et la mesure est continue lorsqu'une rupture est prévue.
- La mesure est généralement poursuivie pendant environ un an après l'arrêt de l'activité du glissement de terrain. Une confirmation est nécessaire pour détecter toute nouvelle occurrence durant et après la fonte des neiges, la saison pluvieuse, les typhons et ainsi de suite.
- Les résultats du contrôle sont utilisés pour fournir une évaluation globale de la taille et du stade du mouvement en masse conduisant à la rupture. Les glissements de terrain de couches profondes présentent différents stades de mouvement, allant du premier stade où l'on observe l'accumulation du mouvement, en passant par le stade secondaire où l'on observe les fissures et le mouvement constant, pour finir par le dernier stade où la dilatation des fissures mène clairement à la rupture. Les mesures à prendre à chaque stade sont également différentes, de l'accroissement du contrôle au premier stade, à la fermeture et l'évacuation de la route au dernier stade.

Le développement des valeurs de contrôle a été entrepris dans un effort d'établir une corrélation entre les résultats du contrôle et les différentes mesures à prendre sur le terrain.

Une approche théorique a été faite par Saito et al. pour analyser et prédire le mouvement des glissements des couches profondes, particulièrement au dernier stade, sur la base des caractéristiques de fluage, qui est pratiquement appliqué pour établir une valeur de contrôle. Le déplacement (la vitesse) de la surface est plus couramment utilisé
pour les valeurs de contrôle qui devraient, cependant, être évaluées conjointement à l'apparition d'affaissements mineurs et de variation d'eau d'infiltration souterraine qualitativement.

Le Tab.IV.5 présente un exemple de valeurs de contrôle utilisées pour les voies express japonaises. Elles ont été développées en résumant les résultats globaux d'études antérieures, de considérations théoriques et d'approches empiriques utilisées pour les valeurs de contrôle dans le passé et autres. Ces valeurs de contrôle doivent être examinées et modifiées à la lumière d'autres études et résultats liés au terrain.

B. Chute de roches

La mesure de la chute de roches par des appareils est moins courante que dans le cas des glissements de couches profondes, et l'évaluation du potentiel de chute de roches est généralement fondée sur l'étude ou l'inspection de la topographie, géologie, dossiers de maintenance et autres facteurs décrits au chapitre 3. L'emploi d'extensomètres pour mesurer la largeur des fissures est indiqué dans les réponses au questionnaire. Nous présentons ci dessous des exemples de systèmes de contrôle de chutes de roches au Japon .

Il y a trois méthodes principales de détection d'incidents de chutes rocheuses : l'accélération de mesure due à l'impact, la détection des câbles électriques coupés et la mesure de la pression sur une plaque due à la chute rocheuse, tel que illustré à la Fig.IV.10.

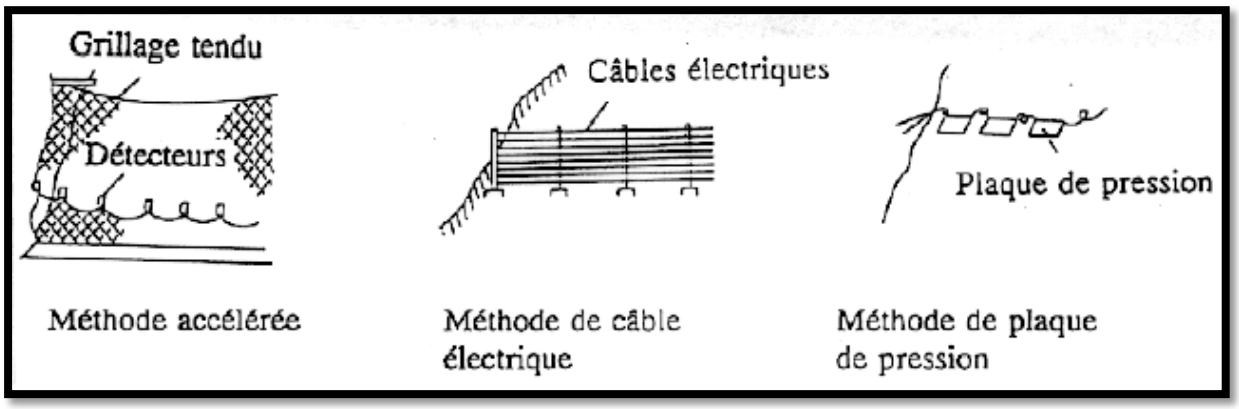


Fig.IV.17 Méthodes de détection de chutes rocheuses.

Bien qu'il n'y ait pas encore eu d'accumulation suffisante de données, il a été signalé que la chute de roches a été détectée à un taux élevé par la méthode d'accélération sur un site

expérimental de chute de roches. L'emploi de câbles électriques est d'usage et est utilisé dans les réseaux ferroviaires comme mesure de prévention contre les catastrophes, en liaison à un système d'alarme (signal d'arrêt). Il existe encore des difficultés pour prévoir les incidents de chutes de roches à partir de précédents relevés de chutes de roches au cours d'incidents correspondants. La chute rocheuse ne peut pas être traitée uniformément mais dépend des conditions du site, tel que décrit ci-dessus.

Tab.IV.5 Valeurs de contrôle pour l'évaluation.

Appareil de mesure \ **Type de mesure**		Inspection, mesure d'attention ou accrue	Nécessité de mesure de conection	Nécessité de mesure d'avertissement d'urgence et conection	Avertissement strict, fermeture
Extensomètre	Vitesse de déplacement (surface)	Plus de 10 mm/30 jours	5~50 mm/5jours	10~100 mm/jour	Plus de 100 mm/jour
Extensomètre (sondage)					
Compteur de Distance optique					
Inclinomètre (sondage)	Vitesse de déplacement (surface de glissement)	Plus de 1 mm/10 jours	5~50 mm/5jours		
Inclinomètre (surface)	Valeur accumulée	10 ~50 mm/10 jours			

IV.3.2.3 Systèmes automatiques de contrôle des pentes

Les systèmes automatiques de contrôle peuvent être classés en :

• Systèmes semi-automatiques où les données provenant des détecteurs sont collectées et mémorisées automatiquement dans des consignateurs de données sur le site même ou à proximité et l'analyse est réalisée par un autre système.

• Systèmes entièrement automatiques sous la forme d'un système en ligne reliant les détecteurs aux ordinateurs dans le bureau du site et/ou le centre de commande par câbles.

1. **Système semi-automatique**

Le système entièrement automatique, il est possible de reconnaître l'état de la masse en mouvement facilement dans une urgence, de contrôler le système à distance et de réduire le temps et le coût de l'opération. D'un autre côté, les points ainsi que le terme de mesure augmentent alors que le système est coûteux et manque quelque peu de flexibilité par rapport au système semi-automatique.

2. Système entièrement automatique

Avec le système entièrement automatique, il est possible de reconnaître l'état de la masse en mouvement facilement dans une urgence, de contrôler le système à distance et de réduire le temps et le coût de l'opération. D'un autre côté, les points ainsi que le terme de mesure augmentent alors que le système est coûteux et manque quelque peu de flexibilité par rapport au système semi-automatique.

Le système est fondamentalement composé de détecteurs, d'une communication entre les appareils et le bureau sur place, et d'un centre d'observation. Le centre réalise la fonction de traitement des données, d'analyse et de contrôle. La Fig.IV.18 présente un système entièrement automatique type adopté à la préfecture de Oita au Japon.

Un guide technique pour l'étude des pentes instables en France décrit la procédure générale pour construire un système de contrôle pour différents phénomènes ayant différentes caractéristiques, de l'écoulement des débris au glissement des couches profondes. Dans ce guide, l'objectif du système est défini comme étant de prédire l'apparition des phénomènes suffisamment tôt pour prendre les mesures nécessaires afin de réduire les risques. Le niveau de sécurité diffère selon le temps disponible. De plus, le niveau de sécurité atteint dépend de la fiabilité du système de contrôle, qui ne peut pas dépasser le niveau des installations industrielles. La décision finale doit être prise par l'administrateur à la lumière des considérations techniques. La Fig.IV.18 montre un exemple du contrôle automatique des pentes dangereuses en France.

La Fig.IV.19 présente un exemple d'un système de contrôle automatique utilisé sur un chantier de construction de voies express japonais. Le système a pour but d'établir un système expert en vue de la prédiction de l'apparition de glissement, en incorporant le savoir-faire professionnel d'experts, ou d'ingénieurs bien formés, dans le système pour établir une base d'informations. La fiabilité du système à prédire l'affaissement a été évaluée sur la base de données accumulée dès le début de la coupe jusqu'au début du mouvement et affaissement final. Les facteurs dont on tient compte pour l'analyse du système sont la déformation de la pente, le niveau des eaux souterraines, les hauteurs pluviométriques, etc., la déformation étant la plus importante. Ce système expert a indiqué une haute précision dans la prédiction de l'affaissement, avec une précision de 1 à 2 heures.

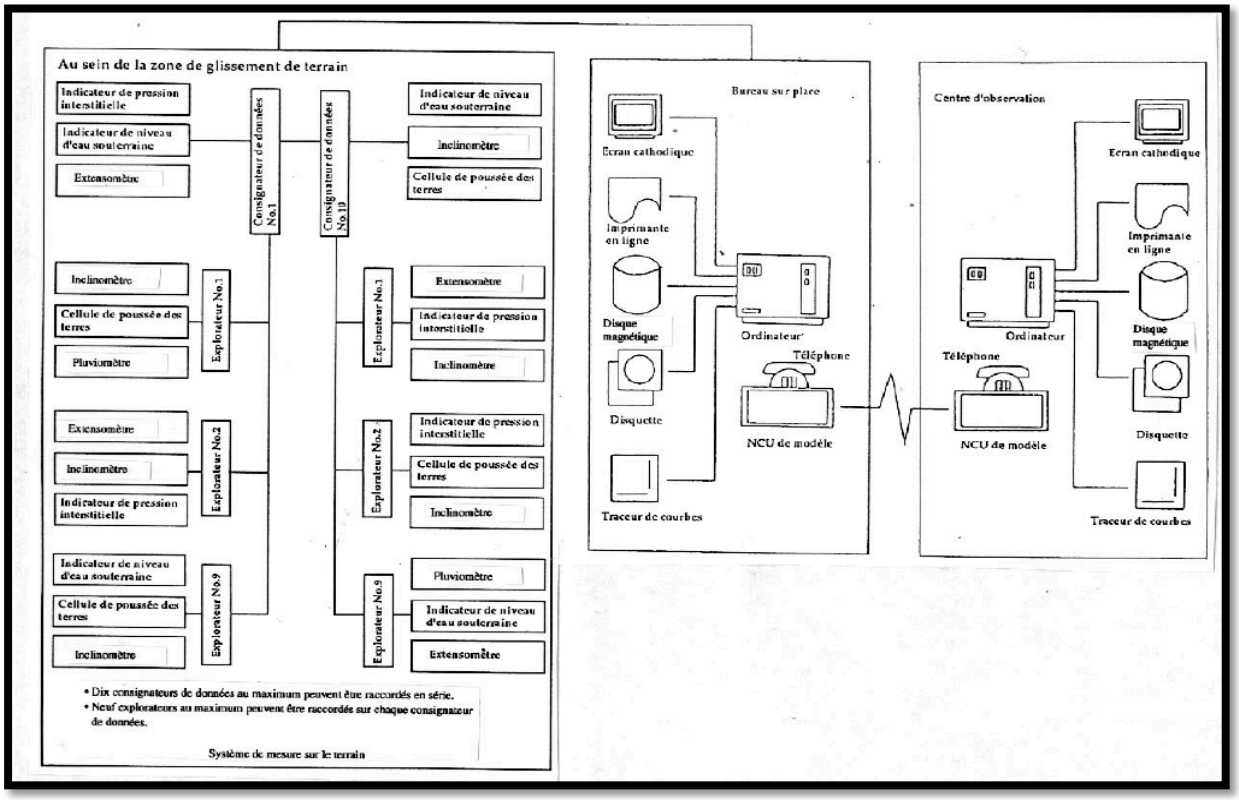


Fig.IV.18 Système de contrôle des glissements de terrain (Préf. de Oita) au Japon.

Système de contrôle de La Borne Romaine : Section de la zone présentant le diagramme de l'équipement ; organigramme du système de contrôle (trois sites).

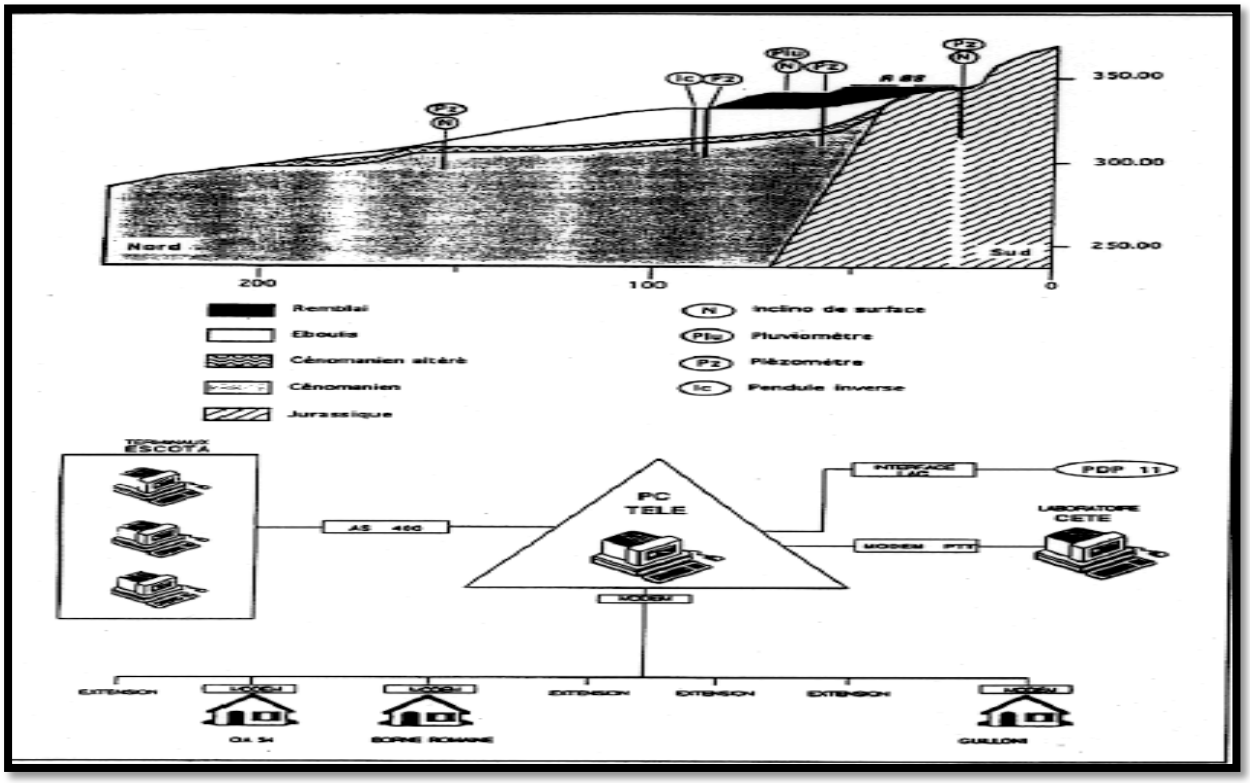


Fig.IV.19 Système de contrôle des glissements de terrain (LCPC) en France.

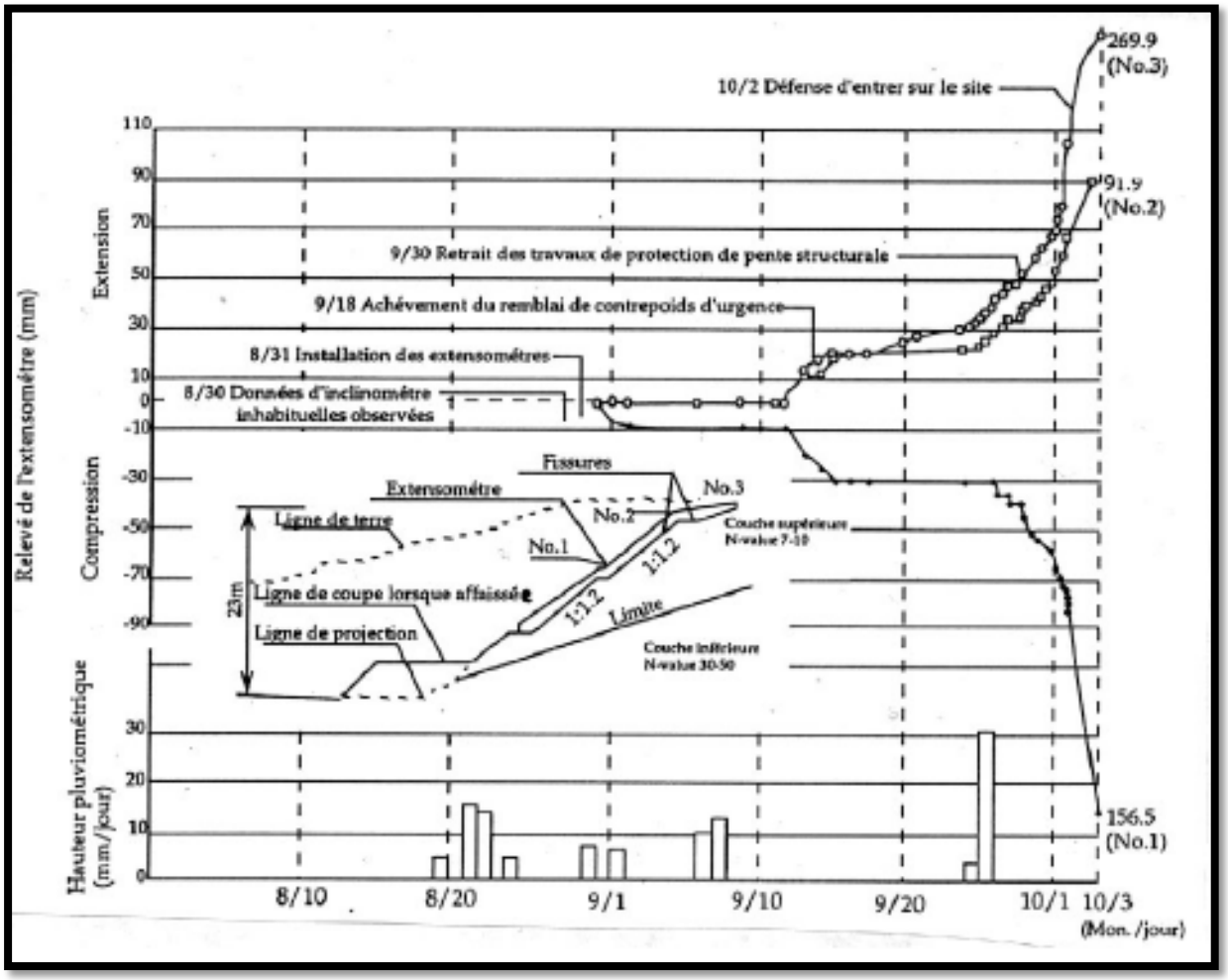


Fig.IV.20 Variation du relevé d'extensomètre, niveau d'eau souterraine et hauteur pluviométrique.

IV.4 conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les techniques courantes utilisées pour traiter le problème des glissements de terrain accompagnant la construction routière, sur la base des résultats d'un questionnaire préparé par le C12 et autres documents correspondants. L'accent principal porte sur les méthodes d'évaluation du risque de glissements de terrain. L'étude doit être effectuée en trois étapes durant la construction routière : la prospection générale pour localiser les zones susceptibles de glissements de terrain près de la voie routière et pour évaluer le potentiel de risque relatif ; la prospection détaillée pour la classification du potentiel de risque et la planification des contremesures pour les pentes désignées comme étant dangereuses ; enfin le contrôle et l'évaluation des zones dangereuses à la fois durant et après la construction.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce projet nous a beaucoup aidés à mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation et d'approfondir nos connaissances.

Ce travail porte sur la recherche des techniques d'évaluation d'un glissement de terrain, le glissement de terrain est un type des mouvements de terrain et il fait partie des risques naturels les plus menaçants pour les infrastructures et les personnes, avoir une évaluation sur le phénomène va nous permettre de diminuer en quelque sorte les dégâts.

Pour cela on examine en trois étapes les techniques employées actuellement pour évaluer le risque des glissements de terrain, sur la base des résultats d'un questionnaire préparé par le C12 et autres documents correspondants.

Pour finir, on espère bien que ce projet sera une base et un point de départ pour notre vie professionnelle ainsi que le prolongement des futurs étudiants travaillant dans ce domaine.

[1] CNES et du MATE (2003).

[2] Risques futurs ; Les risques émergents du XXIe siècle : Vers un programme d'action « Un avenir à haut risque », No 235, décembre 2002.

[3] Commission interministérielle de l'évaluation des politiques publique. Commissariat Général du Plan (1997) - La prévention des risques naturels, rapport d'évaluation. La documentation Française, 702 p.

[4] D'après "École et risques majeurs" ministère de l'Éducation nationale, ministère de l'Environnement, Secrétariat général de la Défense nationale.

[5] Émile GUEYMARD Rapport sur les inondations du Drac et de la Romanche du 30 mai 1856. (Grenoble, Baratier, 1856, 8p.).

[6] Hamza-Cherif Riad, Mémoire Magister en Génie Civil. Thème : Etude Des Mouvements De Pentes Par Le Code De Calcul "Pfc2d". Université Abou-Bekr Belkaid (Tlemcen). 2009.

[7] Varnes, 1978. Slope movements. Types and processes.

[8] Zouaoui Siham. Mémoire de MAGISTER en géologie. Etude Géologique et Géotechnique des Glissements de Terrains dans le Bassin Néogène de Mila : Glissement De SIBARI. Université Hadj Lakhdar- BATNA. 2008.

[9] Dossier départemental des risques majeurs.

[10] La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine (MEZHOUD LAMIA).

[11] GESTION DES RISQUES NATURLS EN MILIEUX URBAINS AZAZGA une ville en plein expansion menacée (BAZIZ Djedjiga).

[12] EFFET DE LA VARIATION DE LA COHETION SUR LE COMPORTEMENT DES PENTES. Mémoire de master 2ème année Conception et Calcul des Structures. Lefriki souad page :20-23.

[13] web-graphie :

-http://www.chambon.ac-versailles.fr/science/geol/seism/pays/salvador.htm

-Mikaël Block, « Le plus grand glissement de terrain d'Europe : la Clapière », Banque des Savoirs - Essonne, 12 erbmetpes2005.

[14] AIPCR, Réduction des effets des catastrophes naturelles, référence 72.01.B, AIPCR, Paris, 1995.

[15] Earl E. Brabb, "Projet de Cartographie Mondial des Glissements de Terrain", Groupe d'Etude International sur les Glissements de Terrain, (A10).

[16] K. Goto, "Evaluation du risque des glissements de terrain et prédiction d'occurrence par télédétection par satellite (en japonais)", Annales du Symposium concernant l'Association Japonaise sur les Glissements de Terrain, 1990.

[17] N. Oyagi, "Possibilité sur l'interprétation de la forme du sol des glissements en utilisant les images stéréopaires par satellite", 7ème Conférence Internationale & atelier sur place concernant les glissements de terrain, Bratislava, 1993.

[18] M. Porcher, P. Guillope, carte de risque ZERMOS montrant les zones d'occupation des sols en Normandie, Données géologiques et géotechniques et plans d'occupation des sols, 1979 : (Fr2).

[19] Peter M. Sadler, Douglas M. Morton, eds. "Glissement de terrain dans un environnement semiaride avec insistance sur les vallées intérieures de la Californie du Sud", Publications de l'Association Géologique Interne, Vol. 2.

[20] GLISSEMENTS DE TERRAIN Techniques d'évaluation du risque. Comité technique AIPCR des Terrassements, Drainage, Couche de Forme (C12) ;(1992-1995).

[21] Lawrence A. Pierson et al. "Manuel de mise en oeuvre des systèmes de classification des risques de chutes de roches", Administration Fédérale Routière, 1990 : (A14A).

[22] Barry D. Siel, P.E., "Manuel des Programmes de Gestion de base de données de chutes de roches", FHWA Ingénieur Régional Géotechnique, 1990 : (A14B).

[23] Mr. Taleb Hosni Abderrahmane GENERALITE SUR LES GLISSEMENTS DES TERRAINS 2019 (page 16).