

*République Algérienne Démocratique et Populaire.
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
Faculté de génie de la construction.
Département du génie civil.
Laboratoire Géo matériaux Environnement et
Aménagement (LGEA).*



MEMOIRE DE MASTER

*Spécialité: génie civil.
Option: Géotechnique et environnement.*

Présenté par M^r ABDERRAHIM Adel

Analyse du glissement de terrain du versant de Tigzirt.(parie Ouest)

Devant le jury, composé de:

| | | |
|---|------------------------------|--------------|
| <i>Président: M^r MELBOUCI. B</i> | <i>Professeur</i> | <i>UMMTO</i> |
| <i>Promotrice: M^{me} LOUADJ. S</i> | <i>Maitre de conférences</i> | <i>UMMTO</i> |
| <i>Examineur: M^{me} BELHASSANI.O</i> | <i>Maitre assistante A</i> | <i>UMMTO</i> |
| <i>Examinatrice: M^{me} BAIDIF</i> | <i>Maitre assistante A</i> | <i>UMMTO</i> |

Promotion 2013-2014.

Remerciements

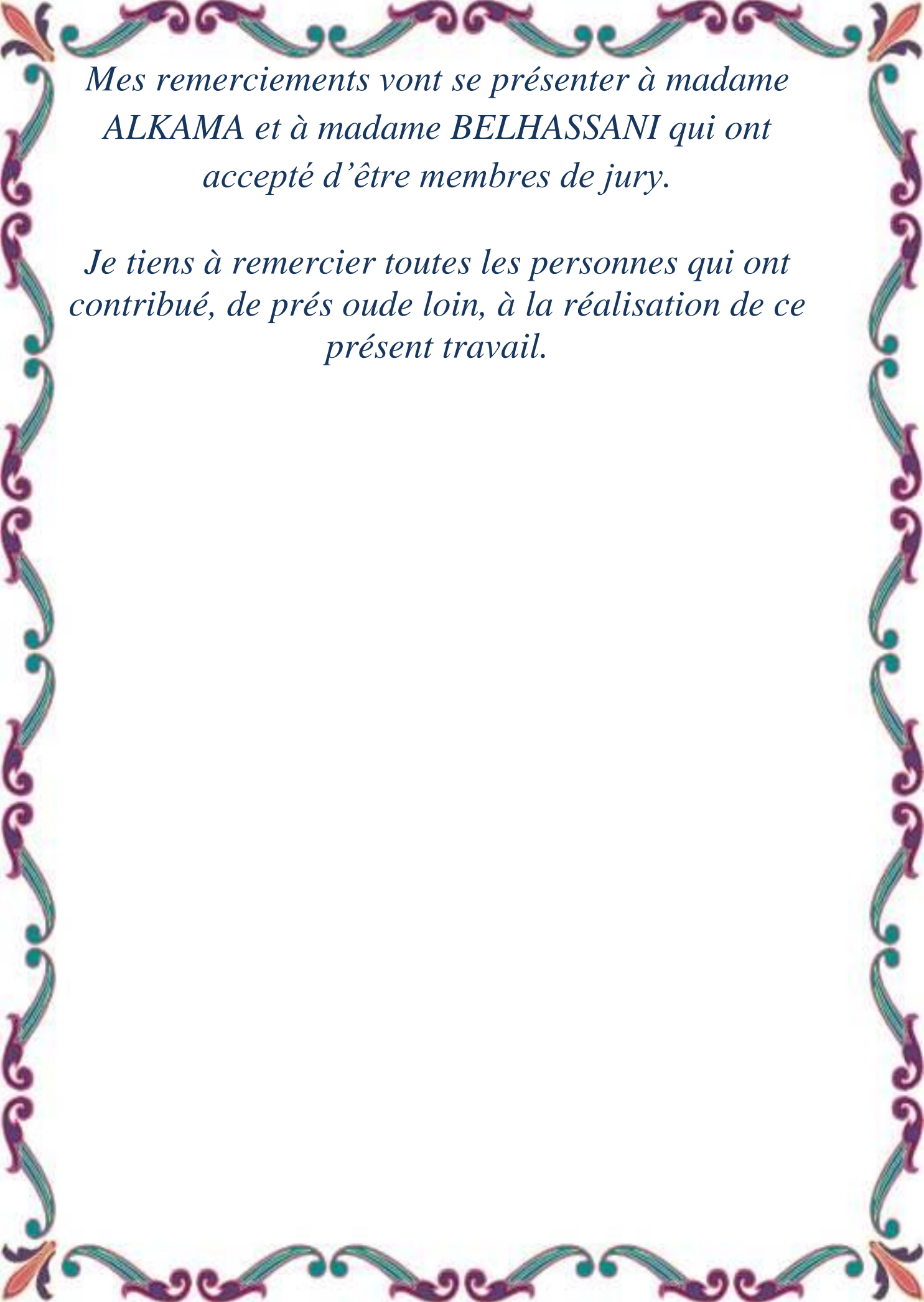
*Je voudrais exprimer mes sincères
remerciements à monsieur B.MELBOUCI,
professeure à l'université Mouloud Mammeri de
Tizi-Ouzou, pour ses précieux conseils,
orientations,
Sa prise en charge pédagogique et sa patience.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements à ma
promotrice madame LOUADJ.S.*

*Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à
Monsieur MARKITOU.A doctorant au sein de
l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,
pour son soutien et ses conseils tout au long de ce
travail.*

*Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à M^{elle}
KHOUDI.I pour son aide tout au long de la
réalisation de ce mémoire.*

*Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à M^{elle}
DJERBAL .L pour son aide tout au long de la
réalisation de ce mémoire.*



*Mes remerciements vont se présenter à madame
ALKAMA et à madame BELHASSANI qui ont
accepté d'être membres de jury.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont
contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce
présent travail.*

Dédicaces

*Je dédie ce travail a mes chères parents que
Dieu me les gardes*

A Mes chères sœurs Siham, Samra

A ma très chère sœur Sabrina qu'elle repose en paix

Tous mes cousins et mes cousines.

A ma chère Dja.

A mes amis Seddik, Arezki

A toute la famille Abderrahim.

ADEL



Résumé:

Cette étude consiste à une analyse d'un glissement de terrain survenue dans une zone de 10200 m² située à la sortie Ouest de la ville de Tizirt dont le but est de connaître le fond du problème en déterminant les causes déclenchant, les facteurs réactivant son apparition et les conséquences probables.

Cette région est caractérisée par une nature géologique métamorphique qui favorisant les mouvements de terrain. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'étudier et d'analyser toutes les données géologiques, hydrogéologiques et climatiques de la région, ainsi les caractéristiques physico -mécaniques du terrain.

Tous les calculs réalisés ont montré qu'on est en face d'un terrain instable ce qui se traduit par un coefficient de sécurité très faible (<1) et qui peut diminuer encore plus en présence de facteurs extérieurs (précipitations, surcharges etc.).

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale 1

Chapitre I: généralités sur les mouvements de terrain

| | |
|---|-----------|
| I-1-Introduction | 2 |
| I-2-Types de rupture | 3 |
| I-2-1- Pentes naturelles | 3 |
| I-2-2-Talus artificiels | 4 |
| I-3-Classement des mouvements de terrains selon la vitesse d'évolution..... | 4 |
| I-3-1-Les mouvements lents | 4 |
| I-3-1-1-Les affaissements | 5 |
| I-3-1-2-Les tassements | 5 |
| I-3-1-3-Les glissements de terrain..... | 6 |
| I-3-1-3-1-Description des principaux types de glissement de terrain..... | 7 |
| I-3-1-3-2-Critères de classification des glissements de terrain | 8 |
| I-3-1-3-2-1- Classification selon la forme de la surface de rupture | 8 |
| I-3-1-3-2-2-Classification selon la profondeur..... | 11 |
| I-3-1-3-2-3-Classification selon la vitesse..... | 12 |
| I-3-1-4-La solifluxion | 15 |
| I-3-1-5-Le fluage | 16 |
| I-3-1-6-Le fauchage..... | 17 |
| I-3-1-7-Le retrait gonflement..... | 17 |
| I-3-2- Les mouvements de terrain rapides..... | 18 |
| I-3-2-1- Les écroulements et chutes de blocs..... | 18 |
| I-3-2-2- Les effondrements de cavités sous terrains..... | 20 |
| I-3-2-3-les coulées boueuses..... | 21 |
| I-4-conclusion..... | 23 |
| Chapitre II: les glissements de terrain à travers le monde | 24 |
| II-1-Introduction | 24 |

| | |
|--|----|
| II-2-Les glissements de terrain à travers le monde..... | 24 |
| II-2-1-Glisserment de terrain de Saint-Jude en Montérégie, Québec | 24 |
| II-2-2-Glisserment de terrain de versant de Séchilienne (France)..... | 28 |
| II-2-3-Colombie et Venezuela | 33 |
| II-2-4-Cas des glissements suisses | 32 |
| II-2-5-Glisserments de terrain en Algérie..... | 34 |
| II-2-5-1-Cas de glissement de terrain qui a touché la willaya de LAKHDARIA | 34 |
| II-2-5-2-Glisserment des abattoirs Ténès (Chlef)..... | 39 |
| II-2-5-3-Glisserments de terrains en Kabylie | 39 |
| II-2-5-3-1-Glisserment de terrain d'Azazga..... | 40 |
| II-2-5-3-2-Cas de glissement de terrain d'Ain El Hammam | 42 |
| II-3-Conclusion..... | 48 |

Chapitre III: Cadre géologique et hydrogéologique de la région

| | |
|--|----|
| III-1-Introduction..... | 49 |
| III-2-Présentation de la région de Tizirt | 49 |
| III-2-1-Situation géographique | 49 |
| III-2-2-Characteristiques climatiques | 50 |
| III-2-3-Apéru géologique..... | 54 |
| III-2-4-Schéma hydrogéologique | 59 |
| III-2-5-Sismicité de la région | 61 |
| III-2-6-Urbanisation à Tizirt..... | 62 |
| III-3-Investigations géotechniques dans la région de Tizirt..... | 63 |
| III-3-1-Sondages carottés | 63 |
| III-3-2-Levers géologiques de terrain..... | 64 |
| III-4-Indices d'instabilités..... | 70 |
| III-5-Conclusion | 75 |

Chapitre IV: Etude numérique de glissement de terrain de Tizirt

| | |
|--|----|
| IV-1-Introduction | 76 |
| IV-2-Notion de facteur de sécurité | 76 |
| IV-2-1- Choix de la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité..... | 77 |
| IV-2-2-Méthodes des éléments finis..... | 78 |
| IV-3-Présentation de l'outil numérique utilisé (Présentation du code PLAXIS):..... | 79 |
| IV-3-1-Généralités..... | 79 |

IV-3-2-Calcul du coefficient de sécurité avec plaxis 79

IV-4-Présentation du model géométrique de la zone d'étude 80

IV-5-Résultats de calculs..... 88

IV-6-Conclusion 104

Conclusion générale 105

Références bibliographiques

Liste des figures

Chapitre I:

| | |
|---|----|
| Figure I-01: schéma d'un questionnaire pour une bonne connaissance du mouvement de terrain | 3 |
| Figure I-02: Affaissement dû à une exploitation minière (Source: INERIS)..... | 5 |
| Figure I-03: Affaissement au niveau d'une route(cas réel) | 5 |
| Figure I-04: Phénomène de tassement latéral (Source: USGS)..... | 6 |
| Figure I-05: Glissement de terrain | 7 |
| Figure I-06: Glissement translationnel « plan », (source: USGS, 2004)..... | 9 |
| Figure I-07: Glissement rotationnel (source: USGS, 2004)..... | 10 |
| Figure I-08: Glissement rotationnel (cas réel Québec) | 10 |
| Figure I-09: Glissement rotationnel complexe | 11 |
| Figure I-10: Illustration des quatre phases de glissement de terrains(d'après TIRZAGHI) | 14 |
| Figure I-11: Comment se forme un glissement de terrain..... | 15 |
| Figure I-12: Phénomène de solifluxion.(source: BC Geological Survey)..... | 16 |
| Figure I-13: Phénomène de fluage(Source: BC Geological Survey)..... | 16 |
| Figure I-14: Phénomène de fauchage..... | 17 |
| Figure I-15: Le phénomène de retrait – gonflement | 18 |
| Figure I-16: Phénomène d'écroulement(source: BRGM) | 19 |
| Figure I-17: Chute d'un gros bloc à Veynes (Hautes-Alpes,05) –1996..... | 19 |
| Figure I-18: Cavité naturelle..... | 20 |
| Figure I-19: Effondrement de la cavité | 20 |
| Figure I-20: Propagation du vide vers la surface | 20 |
| Figure I-21: Processus de formation d'un effondrement (Source: BRGM)..... | 21 |
| Figure I-22: Coulée de boue | 22 |
| Figure I-23: Coulées de boue affectants des versants suisses | 22 |
| Chapitre II: | |
| Figure -II-1- Glissement de terrain de Montérégie, Québec(source: états du monde)..... | 24 |
| Figure -II-2- Limite de la submersion marine au Québec | 25 |
| Figure -II-3- Croquis de la stratigraphie des dépôts meubles (source: Google)..... | 26 |
| Figure -II-4- Dégâts engendrés par un glissement au Canada. (source: Etat du monde)..... | 26 |
| Figure -II-5- Vue aérienne d'un site avant changement du lit des cours d'eau | |

| | |
|--|----|
| (source: Hydro-Québec photographies aériennes) | 27 |
| Figure -II-6- Vue aérienne du site précédent après changement du lit d'un cours d'eau (source: Hydro-Québec photographies aériennes) | 28 |
| Figure -II-7- Illustration de glissement Séchilienne (source: état de France) | 29 |
| Figure -II-8- Fissuration et affaissement causé par le glissement de terrain en Colombie (source: état du monde) | 30 |
| Figure -II-9- Dégradation d'une route suite au glissement de Venezuela (source: état du monde)..... | 31 |
| Figure -II-10- Illustration des réponses des versant à un séisme (source: BRGM) | 32 |
| Figure-II-11- Localisation du glissement de Holberg (source: Daniel OSWALD de Fribourg, Suisse)..... | 33 |
| Figure -II-12- Illustration du glissement de terrain affectant le versant du Holberg (source: Google- glissement Suisse) | 34 |
| Figure -II-13- Situation du secteur ciblé (source: Bulletin du Service Géologique National).... | 35 |
| Figure -II-14- Détail des marnoschistes sénoniens friables enrobant des nodules de calcaire.... | 36 |
| Figure -II-15- Vue depuis le nord-ouest sur le glissement du talus routier..... | 37 |
| Figure -II-16- (b) déformation et fissuration de la chaussée. (c)vue latérale depuis le sud sur l'escarpement décrivant une surface de rupture circulaire..... | 38 |
| Figure -II-17- Le glissement de la route des abattoirs | 39 |
| Figure -II-18- Affaissement considérable du sol support d'une chaussée | 40 |
| Figure -II-19- Fermeture d'une voie de la route | 41 |
| Figure -II-20- Endommagement des conduite en eau potable..... | 41 |
| Figure -II-21- Fissuration et déstabilisation au niveau du gabionnage (source: Djerbal,2010) | 42 |
| Figure -II-22- Affaissement de la route(source: Djerbal,2010) | 44 |
| Figure -II-23- Ecartement du joint d'un immeuble (source: Djerbal,2010)..... | 44 |
| Figure -II-24- Affaissement du sol support du trottoir (source Djerbal, 2010)..... | 45 |
| Figure -II-25- Affaissement du sol de marché (source: Djerbal,2010)..... | 46 |

Chapitre III:

| | |
|---|----|
| Figure -III-1: Situation géographique de Tizirt sur une carte de Tizi-Ouzou (source: cfto, 2010)..... | 50 |
| Figure III-02: La pluie moyenne interannuelle est de 812.4 mm..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Figure III-03: Coupe de la vision actuelle des structures à l'échelle lithosphérique. (Source ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 55 |
| Figure III-04: Carte géologique de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source: carte géologique de l'Algérie 1 /500000)..... | 56 |
| Figure III-05: Localisation des sondages carottés réalisés à Tizirt (source ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 57 |
| Figure III-06: Coupes synthétiques des sept sondages carottés (Source ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 57 |
| Figure III-07: Différents coulées dans la région de Tizirt | 59 |
| Figure III-08: Carte des différents bassins versants de Tizirt (source ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 60 |
| Figure III-09: Sismicité historique de la zone ciblée (1900-2010) (Source: CRAAG, ANSS, CSEM, NEIC, MDD)..... | 62 |
| Figure III-10: Evolution de l'urbanisation à Tizirt entre 1980 et 2009 (Source: ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 63 |
| Figure III-11: Localisation des sondages carottés (source: ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 64 |
| Figure III-12: Coupe de sondage S01 | 65 |
| Figure III-13: Coupe de sondage S04 | 66 |
| Figure III-14: Coupe de sondage S06 | 67 |
| Figure III-15: Coupe synthétique des sondages: S02, S03, S05 et S07..... | 68 |
| Figure III-16: Arrachement sur chaussée dans le secteur ouest de la ville de Tizirt (Source ANTEA-TTi-Hydro environnement) | 71 |
| Figure III-17: Affaissement au niveau de la route nationale N°24 (photo prise le 03 /11/2014)..... | 72 |
| Figure III-18: Basculement du sol en amont vers l'aval (photo prise le 03/11/2014)..... | 73 |
| Figure III-19: Apparition des fissures et affaissements de la RN°72 (Photo prise le 03/11/2014)..... | 74 |
| Chapitre IV: | |
| Figure IV-01: Vue aérienne des trois sites affectés par l'instabilité de terrain à Tizirt (source: Google Earth)..... | 80 |
| Figure IV-02: Localisation du site d'étude (vue aérienne réalisée par Google Earth) | 81 |
| Figure IV-03: Profil topographique du site d'étude (réalisé sur Google Earth)..... | 82 |
| Figure IV-04: Localisation des sondages réalisés à la sortie Ouest de la ville de Tizirt | |

| | |
|--|-----|
| (S6 et S7) source Google Earth..... | 83 |
| Figure IV-05: Coupe de sondage Sc06..... | 84 |
| Figure IV-06: Coupe de sondage Sc07 | 85 |
| Figure IV-07: Coupe géotechnique adoptée pour le site d'étude (Réalisée sur Autocad et callée sur plaxis | 85 |
| FigureIV-08: Géométrie, maillage et conditions aux limites cinématiques. | 87 |
| FigureIV-09: Le modèle géométrique de référence pour le calcul à sec | 88 |
| Figure IV-10: Le maillage déformé de model plaxis (cas de calcul à sec) | 89 |
| Figure IV-11: Les déplacements verticaux (calcul à sec) | 89 |
| Figure IV-12: Résultat de facteur de sécurité..... | 90 |
| Figure IV-13: Profil géotechnique avec présence de nappe phréatique en surface libre du profil | 90 |
| Figure IV-14: Les pressions interstitielles..... | 91 |
| Figure IV-15: Degré de saturation en eau dans le profil | 91 |
| Figure IV-16: Maillage déformée du modèle Plaxis..... | 92 |
| Figure IV-17: Les déplacements totaux | 93 |
| Figure IV-18: Déplacements verticaux du modèle Plaxis..... | 93 |
| Figure IV-19: Indicateurs de plasticités du modèle Plaxis..... | 94 |
| Figure IV-20: facteur de sécurité enregistré à la rupture (pour le 2 ème cas) | 95 |
| Figure IV-21: Evolution du facteur de sécurité en fonction des pas de calcul | 95 |
| Figure IV-22: Profil géotechnique avec rabattement de niveau de la nappe phréatique..... | 96 |
| Figure IV-23: Le maillage déformé de model plaxis (rabattement deniveau de la nappe phréatique) | 96 |
| Figure IV-24: Les déplacements totaux enregistrés après un rabattement de niveau de la nappe phréatique | 97 |
| FigureIV-25: Evolution du facteur de sécurité en fonction des pas de calcul (cas de calcul n°3) | 97 |
| FigureIV-26: Model géométrique présence de nappe phréatique avec les surcharges | 98 |
| Figure IV-27: Le maillage déformé de model plaxis (nappe avec surcharge) | 99 |
| Figure IV-28: Les déplacements horizontaux..... | 99 |
| Figure IV-29: Déplacements verticaux pour le model nappe avec surcharge..... | 100 |
| Figure IV-30: Courbe la variation des facteurs de sécurité en fonction des pas de calcul..... | 100 |
| Figure IV-31: Position du point A (460,71) sur le versant..... | 101 |
| Figure IV-32: Comparaison des déplacements des différents cas de calcul en fonction | |

| | |
|---|-----|
| des pas de calcul | 101 |
| Figure IV-33: Courbe de variation des facteurs de sécurité en fonction des pas de calcul pour les différents cas de calcul considérés | 102 |

Liste des tableaux

Chapitre I

| | |
|--|----|
| Tableau I-01: Classification selon la profondeur de la surface de glissement | 12 |
| Tableau I-02: Echelle de vitesse et importance des destructions probables | 13 |
| Tableau I-03: Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme | 13 |

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Tableau III-01: Répartition mensuelle des températures moyennes en (°C) | 51 |
| Tableau III-02: Répartition mensuelle de l'humidité relative moyenne en % | 51 |
| Tableau III-03: Répartition mensuelle des vitesses moyennes des vents en m/s | 52 |
| Tableau III-04: Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne | 52 |
| Tableau III-05: Caractéristiques géographiques du poste pluviométrique | 53 |
| Tableau III-06: Répartition mensuelles des précipitations | 53 |
| Tableau III-07: Résultats enregistrés par une compagnie de mesure | 61 |
| Tableau III-08: Statistiques d'évolution de l'urbanisation à Tizirt | 63 |

Chapitre IV

| | |
|---|----|
| Tableau IV-1: Etat des ouvrages en fonction des valeurs des facteurs de sécurité | 77 |
| Tableau IV-2: Récapitulatif des propriétés géotechniques (mécaniques) des matériaux qui composent le sol du versant de Tizirt | 86 |

Introduction générale.

Introduction générale:

Les glissements de terrain sont parmi les mouvements de masse les plus spectaculaires et les plus fréquents au monde, dont l'apparition provoque des déformations de la croûte terrestre. Ils se développent dans un massif de sols meubles ou de roches tendres et se produisent dans des circonstances très variées, affectant les ouvrages construits par l'homme (déblais et remblais) ou tout simplement, des pentes naturelles.

Face à une telle situation, l'entreprise des études adéquates et les moyens de confortement efficaces devient indispensable.

L'Algérie a connue cet aléa qui a engendré de graves dégâts.

Le développement de la population algérienne ces derniers années, et sa concentration dans le Nord du pays ou pratiquement tous les terrains stables ont été bâti, ce qui a poussé à projeter différentes constructions et ouvrages sur des terrains en pentes qui sont parfois instables ou ils deviennent instables après l'intervention de l'homme suite à des travaux de terrassements, travaux en pied des talus,...etc., ce qui engendre des catastrophes de glissement de terrain, des pertes humaines et des dégâts matériels inestimables.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude comme une modeste contribution à l'étude et la prévention de ce phénomène, en prenant comme exemple le glissement de terrain survenue au lieu-dit Boutrahi dans la Daïra de Tigzirt, Wilaya de Tizi-Ouzou.

Notre travail a été articulé en quatre chapitres:

- ❖ Le premier chapitre fera l'objet d'une illustration des différents types des mouvements de terrain, les causes déclenchant.
- ❖ Le deuxième chapitre on a exposé accentué sur les glissements de terrains dont nous avons énumérés des déférents exemples les plus spectaculaires à travers le monde et nous avons cité l'exemple des glissements affectants des versants Algériens et en particulier en Kabylie.
- ❖ Dans le troisième chapitre on ferai une description géologique, hydrogéologiques, hydrologique ainsi que tous les paramètres géotechnique déduites à partir des investigations géotechniques réalisées sur la zone d'étude.
- ❖ Le quatrième chapitre ferai l'objet d'une approche nous permettant de donner un modèle numérique de ce glissement en utilisant le code PALXIS.

I-1-Introduction:

Les problèmes de stabilité de pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, des canaux, des digues et des barrages. En outre certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Une rupture d'un talus peut être catastrophique et provoquer des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts naturels considérables. L'estimation de la sécurité réelle vis-à-vis du risque de rupture est une question complexe surtout dans le domaine des données limitées ou peu connues.

L'étude d'un talus comporte, la reconnaissance du site et le choix des caractéristiques mécaniques des sols.

Cependant une longue expérience a été acquise tant que les méthodes de calcul que dans les techniques de construction, de telle sorte que les problèmes de stabilité de pentes peuvent maintenant être résolus avec une assez bonne fiabilité.

Les mouvements de terrain sont très variés, par leur nature (glissements de terrains, éboulements rocheux, coulées de boues, effondrements de vides souterrains, affaissements, gonflement ou retrait des sols, ...) et par leur dimension (certains glissements, comme celui de la Clapière dans les Alpes Maritimes, peuvent atteindre plusieurs dizaines de millions de m³).

Leur répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie (nature et fracturation des formations affleurantes, hydrogéologie) c'est-à-dire par l'environnement physique. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densité de vides souterrains (naturels ou minés), les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau, ... Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques (périodes de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse) mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par les activités humaines.

Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris: ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité et l'eau souterraine ou par les travaux de l'homme; leur dynamique répond naturellement aux lois de la mécanique.

Dans la pratique cependant, les choses sont très complexes, du fait des incertitudes:

-sur les conditions initiales, notamment en profondeur,

-sur les propriétés mécaniques des terrains, en général hétérogènes, non linéaires, anisotropes, discontinus, ...

-sur les conditions hydrauliques: position de la nappe, phénomènes se produisant en zone non saturée.

L'eau est la cause déclenchant de la plupart des mouvements; c'est un facteur variable dans le temps.

Une bonne connaissance du risque "mouvements de terrain" doit permettre de répondre aux 6 questions reproduites ci-après:

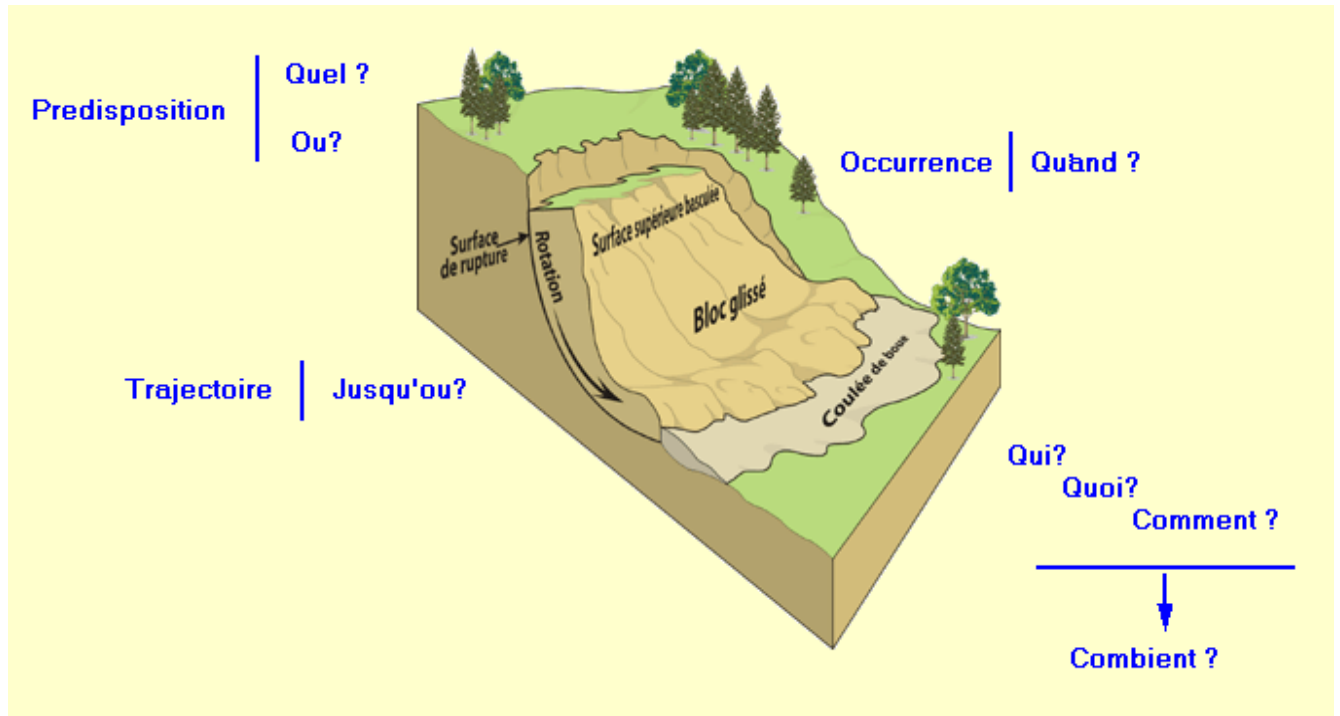


Figure I-1: schéma d'un questionnaire pour une bonne connaissance du mouvement de terrain.

Qu'est-ce Qu'un mouvement de terrain?

Un mouvement de terrain est un déplacement, du sol ou du sous-sol, plus ou moins brutal, sous l'effet d'influences naturelles:

– fortes précipitations, alternance gel et dégel, érosion, etc.
ou anthropiques:

– exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.

I-2- Types de rupture:

Dans leur construction et leur fonctionnement, les talus subissent des conditions de chargement variées. Nous pouvons classer les types de rupture liés aux mouvements de terrains, en deux groupes; ceux associés aux pentes naturelles et ceux des talus artificiels.

I-2-1- Pentes naturelles:

Il s'agit des talus existants, peu homogènes et présentant des variations géologiques et

éventuellement des discontinuités. Les accidents observés dans ce cas montrent qu'il est possible de classer les instabilités de terrain en trois grandes familles:

-Les glissements qui se caractérisent par l'apparition de surfaces de cisaillement relativement bien définies à l'intérieur du milieu. La forme des surfaces de rupture observées permet de classer ces glissements en trois catégories: plane, circulaire et quelconque.

-Les écoulements et les coulées boueuses qui se caractérisent par une déformation et un écoulement de type viscoplastique ou fluide.

-Les éboulements (par perte de la cohésion, fluage).

La majorité des glissements observés se rattache assez correctement à l'une des familles précédentes, la première étant la plus répandue.

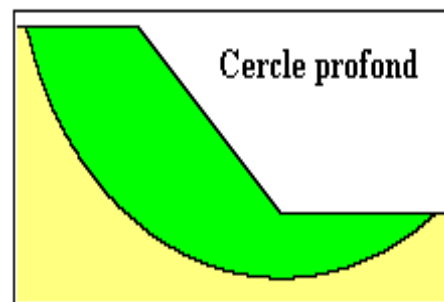
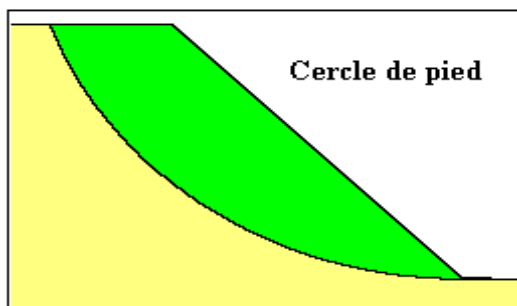
I-2-2-Talus artificiels:

Les talus artificiels sont essentiellement affectés par des glissements et parfois par des phénomènes de fluage. On peut les classer en fonction des types d'ouvrages:

-talus en déblai;

-talus en remblai sur sol non compressible;

-talus en remblai sur sol compressible;



I-3-Classement des mouvements de terrains selon la vitesse d'évolution:

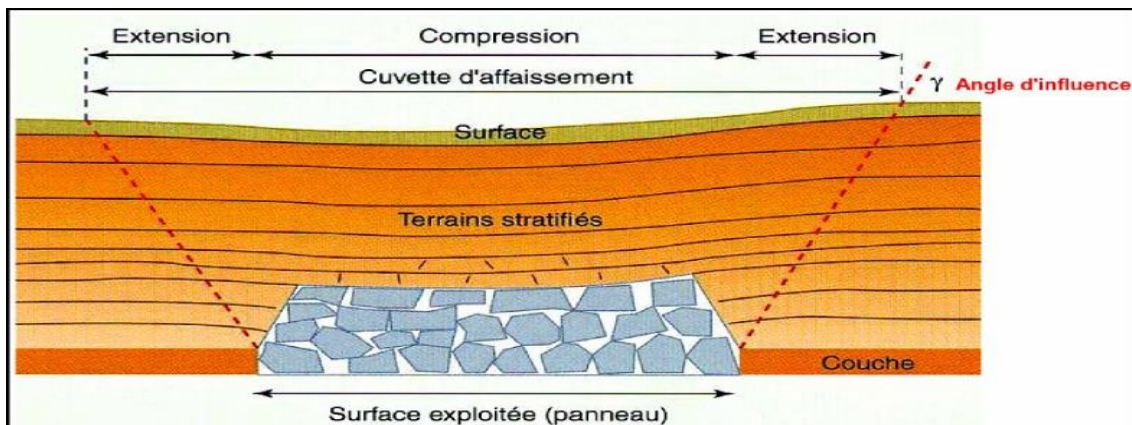
I-3-1-Les mouvements lents:

Entraînent une déformation progressive des terrains qui ne sont pas toujours perceptibles par l'homme. Il s'agit des affaissements, des tassements, des glissements, de la solifluxion, du

fluage, du retrait-gonflement et du fauchage.

I-3-1-1-les affaissements:

Les affaissements sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif du sol, sans ruptures apparentes de ce dernier.



FigureI-2: Affaissement dû à une exploitation minière (Source: INERIS).



Figure I-3: Affaissement au niveau d'une route(cas réel).

I-3-1-2-les tassements:

Il s'agit principalement de diminutions de volume de certains sols sous l'effet de charges ou

d'assèchement. Les tassements latéraux ou "*Lateral spreads*" sont très distincts puisqu'ils se produisent habituellement sur des pentes très douces voire même sur des terrains plats.

Le mouvement dominant est celui d'une extension régressive latérale accompagnée d'un cisaillement ou de fentes de tension. La rupture est provoquée par la liquéfaction de sédiments à l'état solide (habituellement des sables et des silts). Le déclenchement du phénomène est souvent dû à un mouvement rapide du sol, comme lors d'un tremblement de terre, mais il peut également être artificiellement induit.

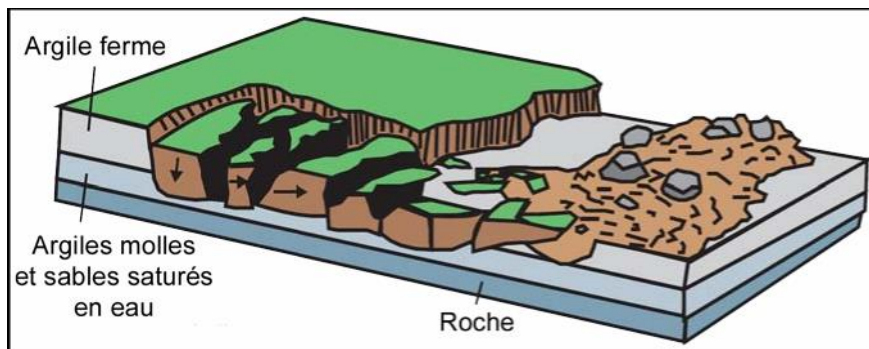


Figure I-4: Phénomène de tassement latéral (Source: USGS).

I-3-1-3-les glissements de terrain:

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse lents induits par insuffisance de résistance au cisaillement sur une ou plusieurs surfaces de rupture généralement courbe ou plane, ainsi que sur tous type de matériau (Varnes, 1978).

Le mouvement peut être progressif, c'est à dire que le cisaillement peut ne pas être simultané sur la totalité de la surface de rupture. La propagation de la rupture est contrôlée par le développement des zones entrant en plasticité.

La surface de cisaillement devient alors une surface de séparation entre matériau en place et matériau en mouvement.

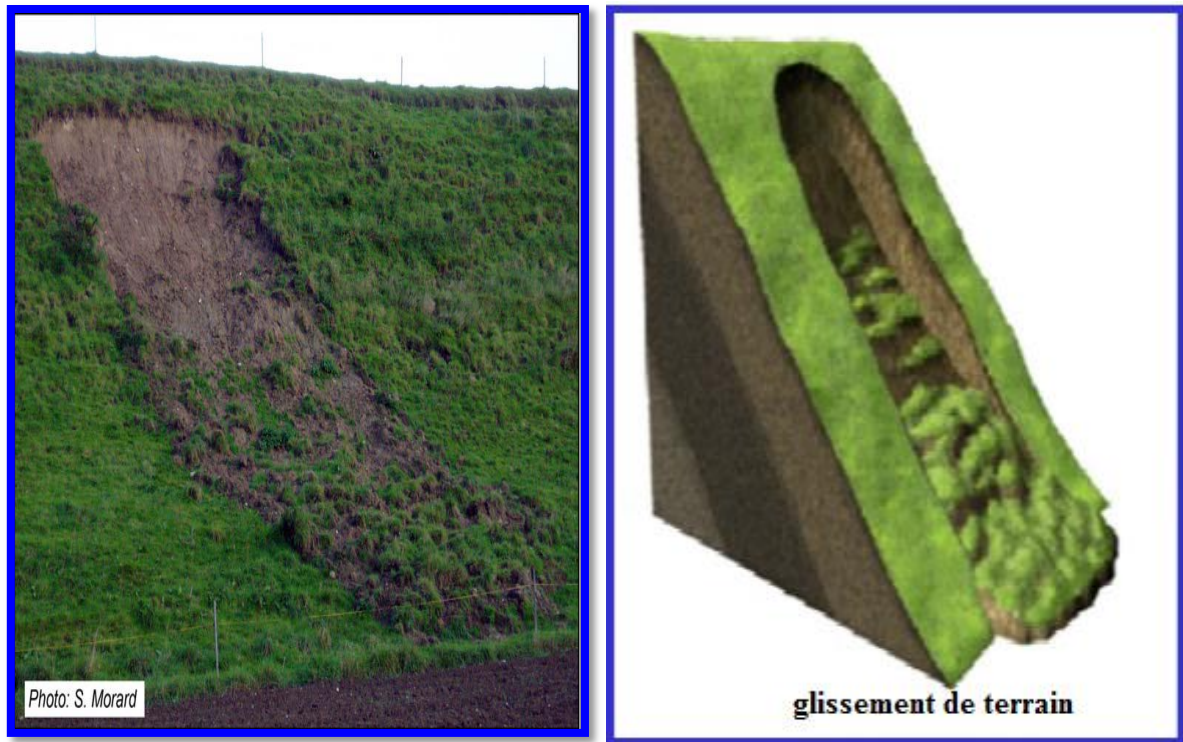


Figure I-5: Glissement de terrain

I-3-1-3-1-Description des principaux types de glissement de terrain:

En langage courant, on parle indistinctement de glissement, d'éboulis, d'éboulement, d'effondrement, etc. Cependant, de façon rigoureuse, chaque glissement de terrain porte un nom différent selon ses caractéristiques.

Pour les besoins de la cartographie, les types de glissements ont été regroupés en deux familles selon les dimensions qu'ils peuvent avoir:

➤ **Glissements faiblement (ou non) rétrogressifs:**

Ils affectent le talus et peuvent emporter une bande de terrain située au sommet du talus. Les débris s'étalent généralement à la base du talus sur des distances variables. Leur largeur peut atteindre quelques dizaines de mètres.

➤ **Glissements fortement rétrogressifs:**

Ils affectent non seulement le talus, mais aussi d'immenses bandes de terrain à l'arrière du sommet du talus. Les débris constituent une masse importante et peuvent s'étaler parfois sur

des distances considérables. Leur dimension peut atteindre plusieurs dizaines voir, plusieurs centaines de mètres.

Afin de bien cerner la nature du danger et des risques associés aux glissements de terrain, il importe de donner un aperçu des quatre principaux types de glissements rencontrés le plus fréquemment dans les dépôts meubles .et, plus particulièrement, dans les sols argileux.

Soulignons que la majorité de ces quatre types de glissements se produisent très rapidement, en quelques minutes la plupart du temps, et souvent sans signe annonciateur.

I-3-1-3-2-Critères de classification des glissements de terrain:

Divers auteurs ont tenté de définir des critères de classifications des glissements de terrain. Ces classifications peuvent être citer selon:

I-3-1-3-2-1- Classification selon la forme de la surface de rupture:

On distingue trois types de glissements:

- ❖ Glissement plan:

Ils se produisent suivant un plan au niveau d'une surface de discontinuité géologique : zone entre deux matériaux de différente nature, failles, plans de stratification. La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques, sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ».

Lors de glissements plans, les couches de terrain ou les ensembles de couches stratifiées glissent sur une zone de faiblesse existante (souvent pendage stratigraphique, discontinuité stratigraphique, schistosité, plan de fissure ou de rupture). En plan, la taille de tels glissements est très variable, et peut comprendre des surfaces allant de quelques mètres carrés à plusieurs kilomètres carrés (BELAIDI M, 2011).

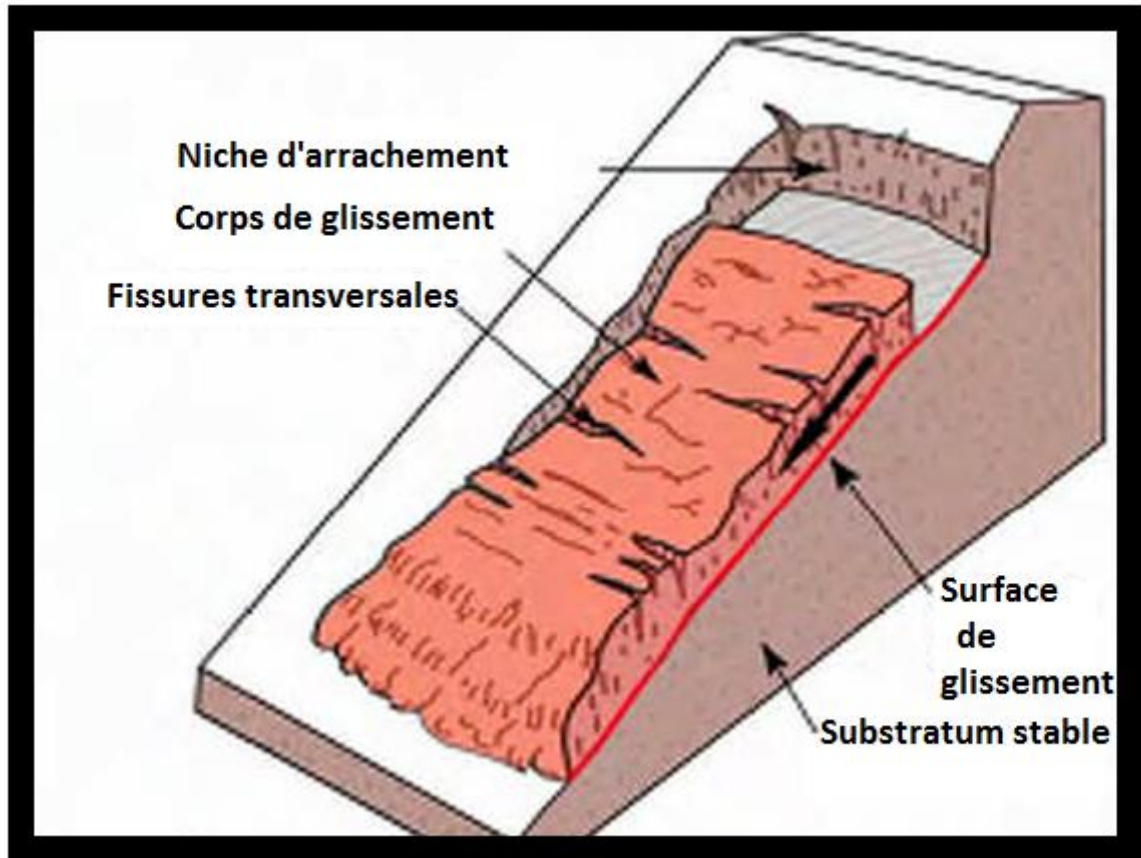


Figure I-6: glissement translationnel « plan », (source: USGS, 2004)

❖ Glissement rotationnels simples:

Ces types de glissements sont très fréquents et sont en général de volume limité. Ils sont caractérisés par un basculement de la masse transportée le long d'une surface de rupture dont la forme est parfois cylindrique. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux et silt eux, et parfois dans les roches homogènes où il n'y a pas de discontinuités géologiques suffisamment persistantes, ou si la fracturation est suffisamment intense pour permettre une telle surface de glissement.

De façon naturelle, ce glissement se produit la plupart du temps dans un talus en bordure de cours d'eau où l'érosion est active. Sa surface de rupture peut atteindre quelques mètres de profondeur sous la croûte, dans l'argile intacte, et elle adopte une forme approximativement circulaire. La partie de terrain susceptible d'être affectée peut atteindre plus d'une dizaine de mètres en sommet de talus et peut emporter, lors du mouvement, routes, structures et bâtiments. Ce glissement est aussi très fréquent.

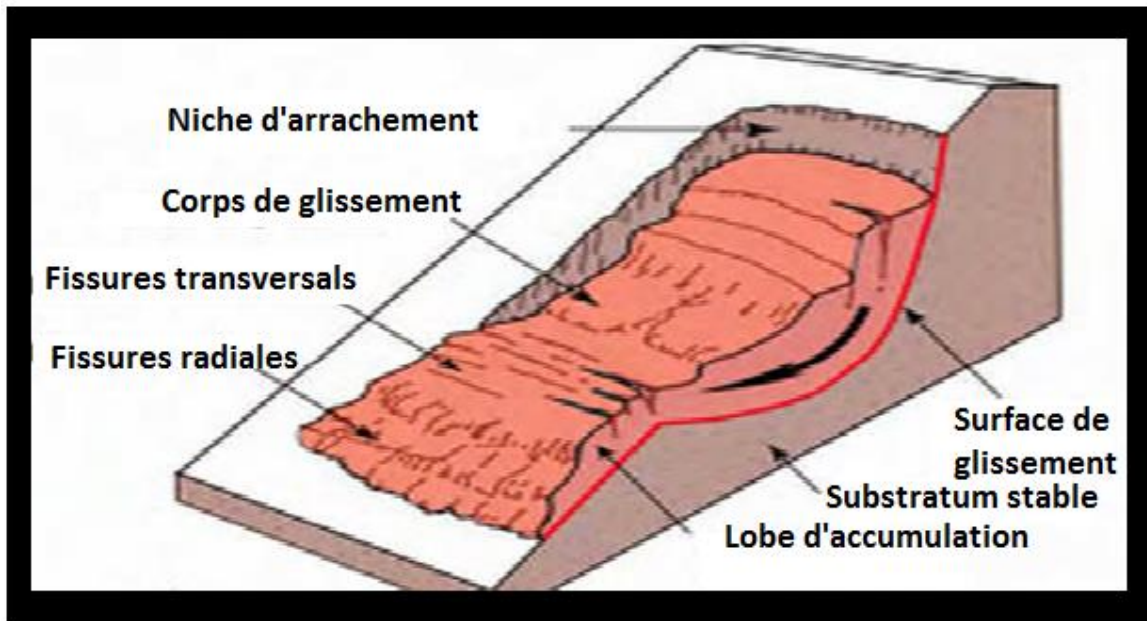


Figure I-7: glissement rotationnel.(source: USGS, 2004).

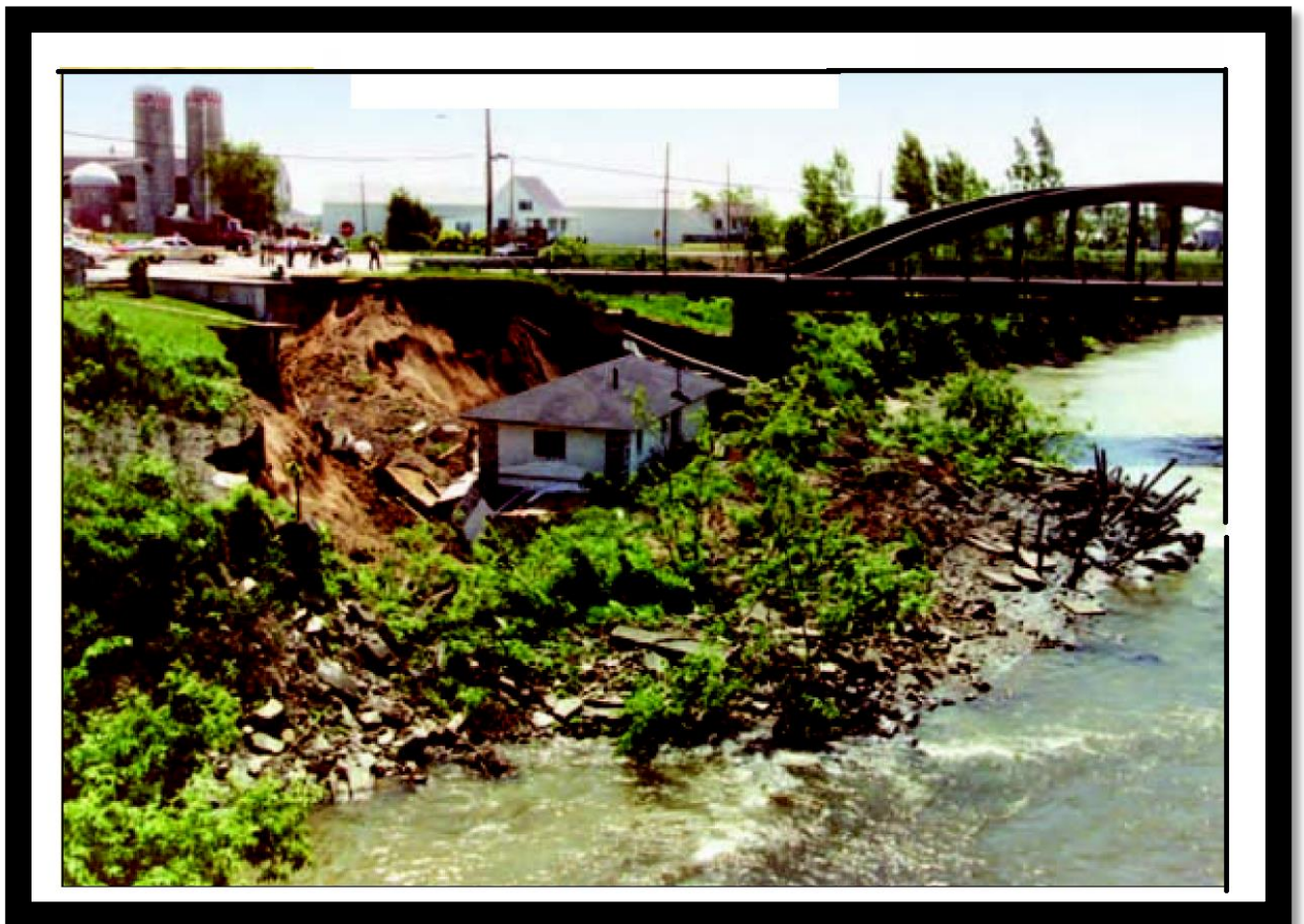


Figure I-8: glissement rotationnel (cas réel Québec).

❖ Glissement rotationnels complexes (composés):

Ce type de glissement est rare, il s'agit d'une succession de glissement rotationnel emboîter les uns dans les autres. Ils sont dus à la suppression provoquée par la butée du glissement précédent. Les causes de déclenchement sont principalement le résultat d'une activité intense de l'eau qui est engendrée soit par un ou des pics d'intensité des pluies, soit par l'action retardée des eaux de pluie sur la nappe de fracture. On observe en général la formation d'une marche d'escalier à l'amont et d'un bourrelet de pied à l'aval.

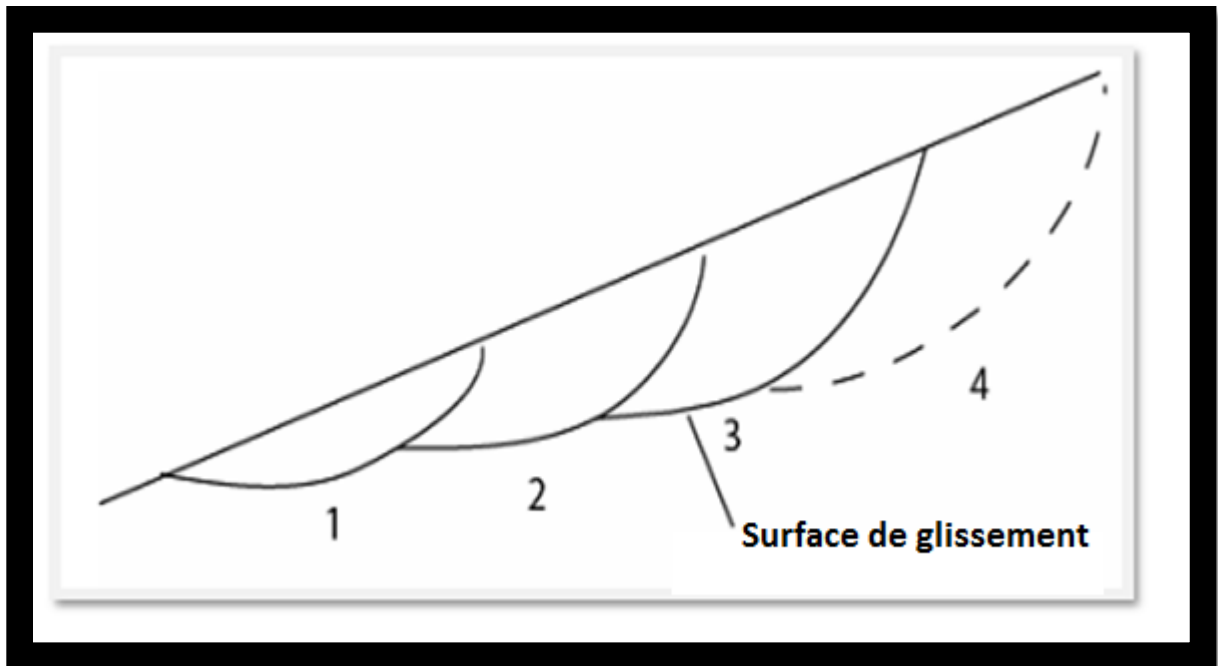


Figure I-9: glissement rotationnel complexe.

I-3-1-3-2-2-Classification selon la profondeur:

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements (comme mesure de leur activité).

Lors de l'évaluation du danger potentiel que représente un glissement, on ne doit pas seulement considérer le volume ou la vitesse du glissement.

Il faut aussi tenir compte des mouvements différentiels qui se manifestent et qui peuvent conduire au basculement des bâtiments ou à la formation de fissures.

Les glissements peuvent aussi se transformer en glissements coulée (coulées de terre) et atteindre des zones très étendues.

| Glissement | Surface de glissement |
|--------------|-----------------------|
| superficiel | 0 à 2 m |
| Semi profond | 2 à 10 m |
| Profond | > à 10 m |

Tableau I-1: Classification selon la profondeur de la surface de glissement (En m sous la surface du sol).

I-3-1-3-2-3-Classification selon la vitesse:

➤ **La cinématique:**

Le degré d'activité des différents mouvements peut également être classé à travers une échelle de vitesse de déplacement de la masse mise à 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.

| Classe de vitesse | Description | Vitesse (mm/sec) | Vitesse typique | Destructions significatives probables |
|-------------------|---------------------|--------------------|-----------------|--|
| 7 | Extrêmement rapide | 5×10^3 | 5 m/s | Catastrophe majeure; destruction de bâtiments par le déplacement du matériau ; plusieurs morts; rescapés peu probable. |
| 6 | Très rapide | 5×10^1 | 3 m/min | Perte de quelques vies; vitesse de déplacement très importante pour permettre aux gens de s'échapper. |
| 5 | Rapide | 5×10^{-1} | 1.8 m/h | Evacuation possible; destruction de structures, biens et équipements. |
| 4 | Relativement rapide | 5×10^{-3} | 13 m/mois | Possibilité de maintenir temporairement quelques structures. |
| 3 | Lent | 5×10^{-5} | 1.6 m/an | Possibilité d'envisager certaines constructions sur le versant si des travaux réguliers de |
| 2 | Très lent | 5×10^{-7} | 15 mm/an | Résistance de quelques structures aux mouvements de masse. |

| | | | | |
|---|------------------|--|--|--|
| 1 | Extrêmement lent | | | Imperceptible sans instruments de mesure ; possibilité d'aménagement avec précautions. |
|---|------------------|--|--|--|

Tableau I-2: Echelle de vitesse et importance des destructions probables.

La vitesse moyenne de mouvement des glissements atteint le plus souvent quelques millimètres par an pour un glissement substabilisé, très lent, et quelques centimètres à quelques décimètres par an pour un glissement actif. Il existe quelques cas exceptionnels où le glissement peut être bien plus rapide et où la masse en mouvement, sans perdre sa compacité, peut atteindre plusieurs décimètres par jour.

Exceptionnellement, des mouvements très rapides peuvent se produire.

| glissement | Vitesse de glissement |
|-------------------------------|-----------------------|
| Substabilisé, très lent | 0 -2 cm /an |
| Peut actif, lent | 2 -10 cm/an |
| Actif(ou avec phases rapides) | >10 cm/an |

Tableau I-3: Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.

➤ **La dynamique:**

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

D'après THERZAGHI ils existent quatre phases:

❖ **La phase de préparation:**

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

❖ **La phase de rupture (paroxysme):**

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

❖ **La phase d'amortissement (relaxation):**

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

❖ **La phase de stabilisation:**

Cette phase est caractérisée par la stabilité du versant pour une durée indéterminée.

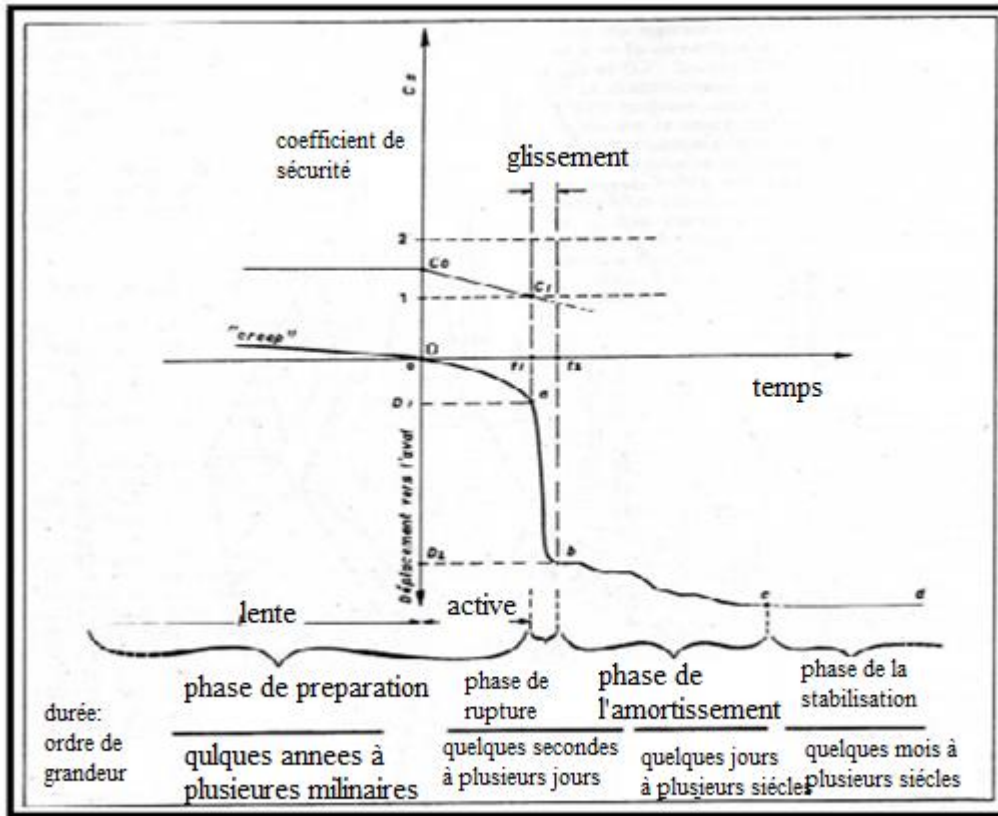


Figure I-10: illustration des quatre phases de glissement de terrains (d'après TIRZAGHI).

I-3-1-3-3-Comment se forme un glissement de terrain ?

Lorsque les forces s'exerçant sur une pente (forces motrices) dépassent la résistance des matériaux constitutifs de cette pente (forces résistantes), celle-ci subit une rupture et un glissement de terrain se produit.

La rupture de l'équilibre a pour origine soit l'augmentation des forces déstabilisantes, liées à la gravité, soit la diminution des forces résistantes (ou stabilisantes).

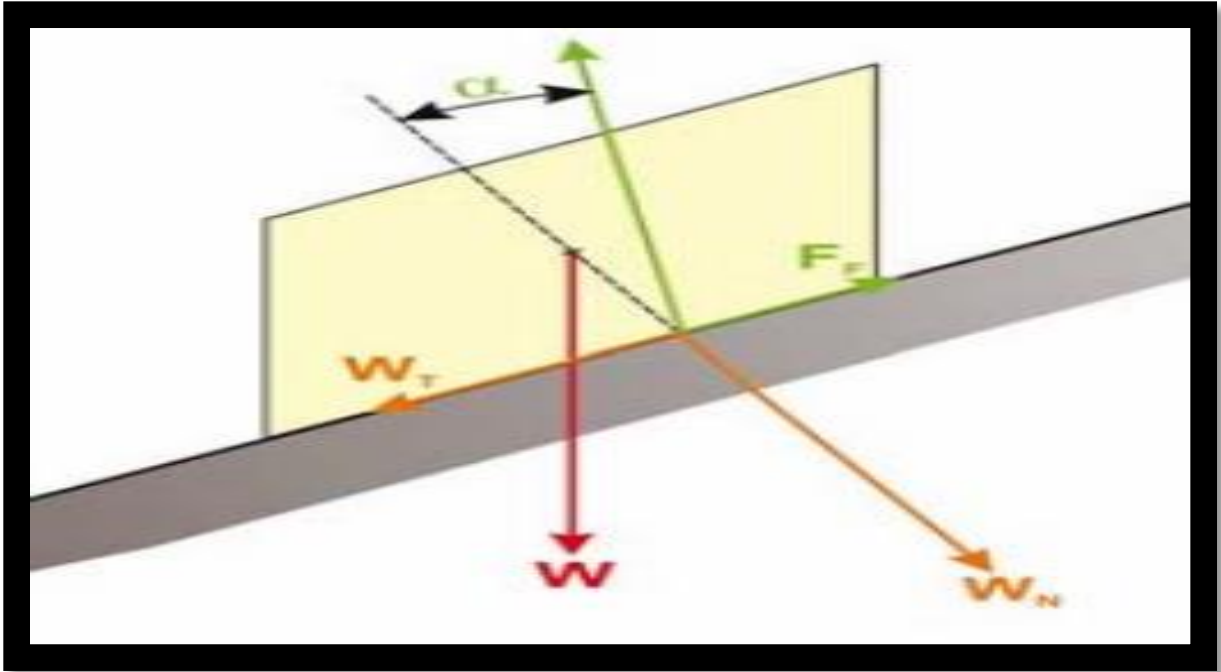


Figure I-11: comment se forme un glissement de terrain

Principes de bases:

Un objet est posé sur un plan est soumis:

- A une force motrice W_T (composante parallèle au plan de son poids W).
- A une force résistante F_F (composante parallèle au plan de frottement entre l'objet et le plan).

F_F est proportionnelle au produit:

- De la composante perpendiculaire au plan W_N du poids de l'objet.
- Et de la tangente de l'angle de frottement α entre l'objet et le plan.

Lorsque $W_T > F_F$ l'objet glisse sur le plan.

Lorsque $W_T < F_F$ l'objet reste fixe.

Lorsque $W_T = F_F$ l'objet est en équilibre ultime

I-3-1-4-la solifluxion:

C'est un mouvement lent affectant des terrains superficiels meubles sur des pentes très faibles. Il peut être dû à une alternance gel/dégel, au passage d'animaux et/ou à l'action des racines.

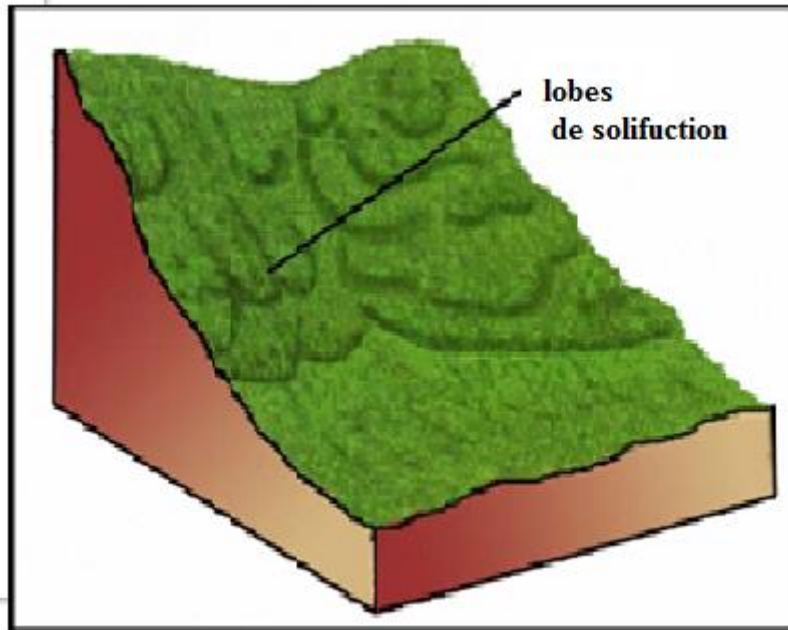


Figure I-12: phénomène de solifluxion.(source: BC Geological Survey).

I-3-1-5-le fluage:

Il s'agit d'une déformation irrégulière se développant sur des pentes faibles, sa vitesse est lente et continue dans le temps évoluant sous une contrainte constante.

Ce phénomène évolue de façon non perceptible, jusqu'à une accélération qui conduit à la rupture.

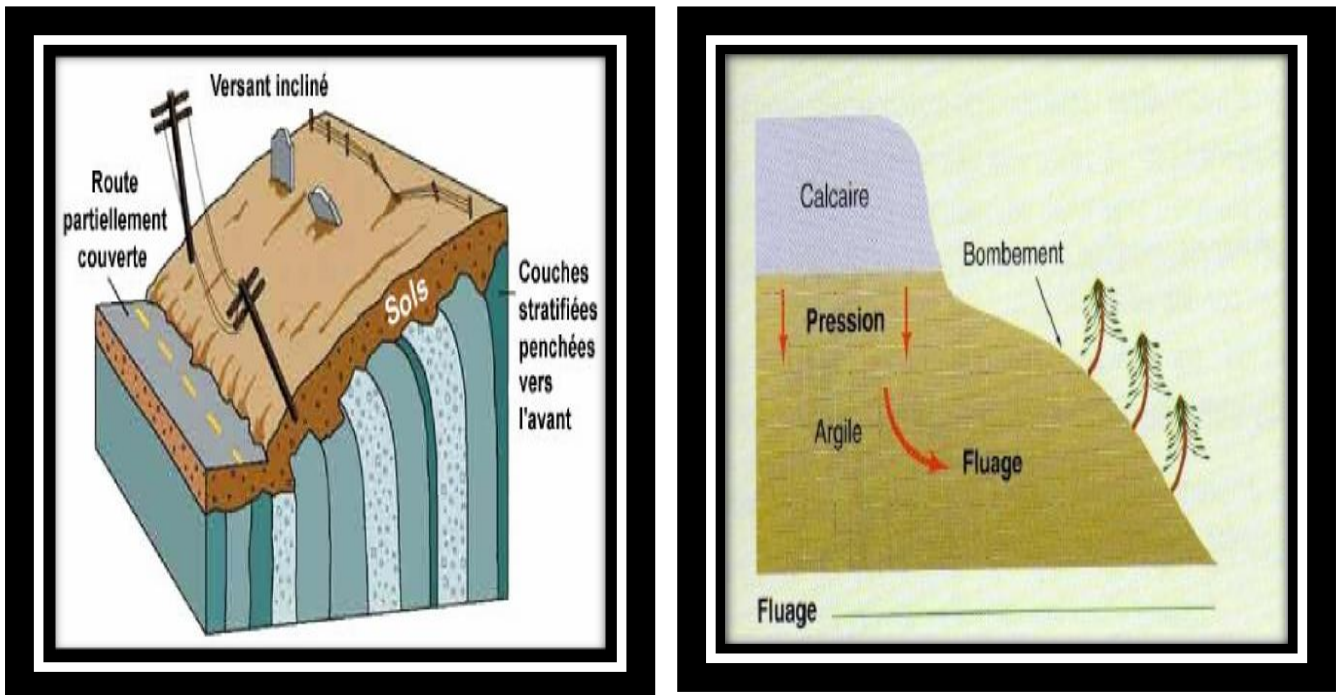
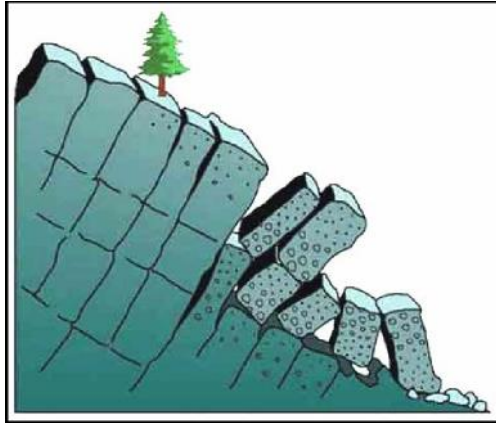


Figure I-13: Phénomène de fluage(Source: BC Geological Survey)

I-3-1-6-le fauchage:

C'est une déformation superficielle traduite en mouvement lent qui affecte des roches stratifiées redressées à la verticale, et entraîne un basculement vers l'aval des couches sur une épaisseur très variable. Des ruptures brutales se produisent et les matériaux se désagrègent et passent à l'état de rochers disloqués puis d'éboulis. Le phénomène de fauchage résulte suite à une action conjuguée entre une disposition structurale et une composition lithologique particulière.

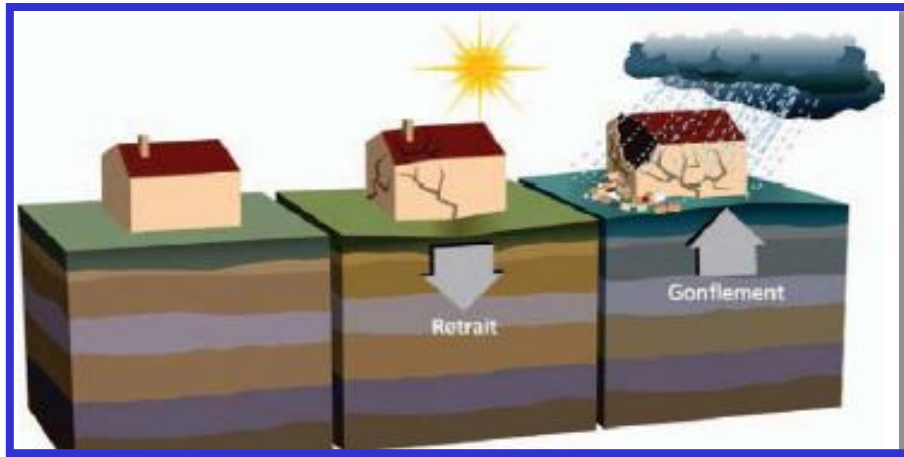


FigureI-14: phénomène de fauchage.

I-3-1-7-le retrait gonflement:

Le retrait gonflement des sols est défini comme étant: «des mouvements de terrains différentiels de petite amplitude, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau se modifie». Il se manifeste essentiellement dans des milieux à climat tempéré au cours des périodes de sécheresse prolongée. L'évaporation touche alors la partie la plus superficielle de la tranche du sol; cela se traduit par une diminution de volume (le retrait).

Pendant les périodes hivernaux (forte pluviométrie) la couche superficielle des argiles se sature en eau; cela se traduit par le gonflement



FigureI-15: Le phénomène de retrait – gonflement.

I-3-2-Les mouvements de terrain rapides:

Se propagent de manière brutale et soudaine: les principaux phénomènes qui font partie de ce type de mouvement de terrain regroupent:

- les chutes de pierres ou de blocs.
- les effondrements de cavités souterraines.
- les éboulements rocheux ou de coulées de boue.

I-3-2-1- Les écroulements et chutes de blocs:

Les écroulements et chutes de blocs sont des phénomènes rapides et brutaux qui affectent des roches rigides et fracturées. Il s'agit de masses de taille variable qui se détachent d'une pente escarpée ou d'une falaise. Les vitesses de déplacement sont rapides à extrêmement rapides, avec des rebonds et des trajectoires paraboliques. Dans le cas des roches sédimentaires, la stratification accroît le découpage de la roche et par conséquent les prédispositions à l'instabilité (présence d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable).



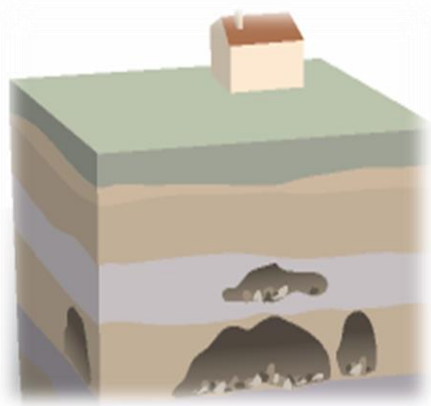
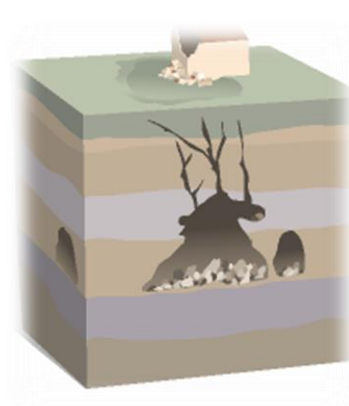
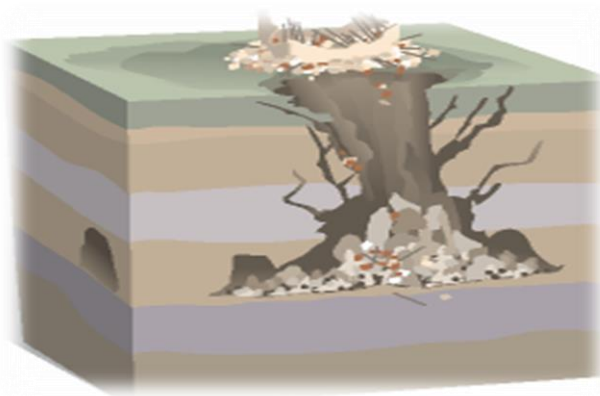
Figure I-16: phénomène d'écroulement(source: BRGM).

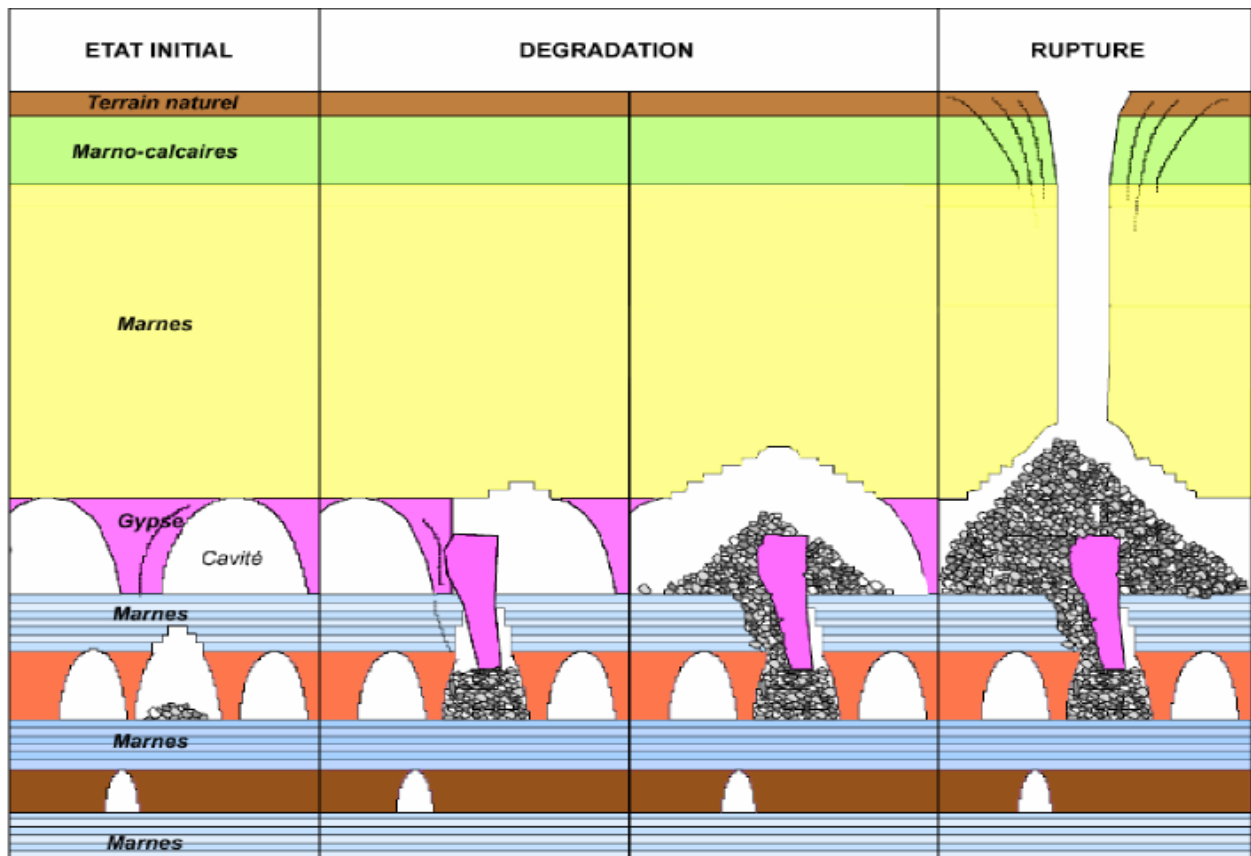


Figure I-17: Chute d'un gros bloc à Veynes (Hautes-Alpes,05) –1996.

I-3-2-2-les effondrements de cavités sous terrains:

Les effondrements se manifestent par des déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles, avec ouverture d'excavations grossièrement cylindriques. La dite rupture se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, puis détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture.

**figure I-18: cavité naturelle.****Figure I-19: effondrement de la cavité.****Figure I-20: Propagation du vide vers la surface.**



FigureI-21: Processus de formation d'un effondrement (Source: BRGM)

I-3-2-3-les coulées boueuses:

Ce sont des coulées de matériaux généralement saturés en eau. autrement dit ce sont des mouvements rapides d'un matériaux remmies ou non consolidés, leurs vitesses dépendent de la teneur en eau des matériaux transportés.

D'autres facteurs peuvent être causes de l'apparition de ces phénomènes tels que la nature géologique de terrain.

Divers matériaux peuvent être affectés par ces phénomènes et parmi eux: roches marneuses ou schisteuses, formations altérées, colluvions fines, moraines argileuses, etc.

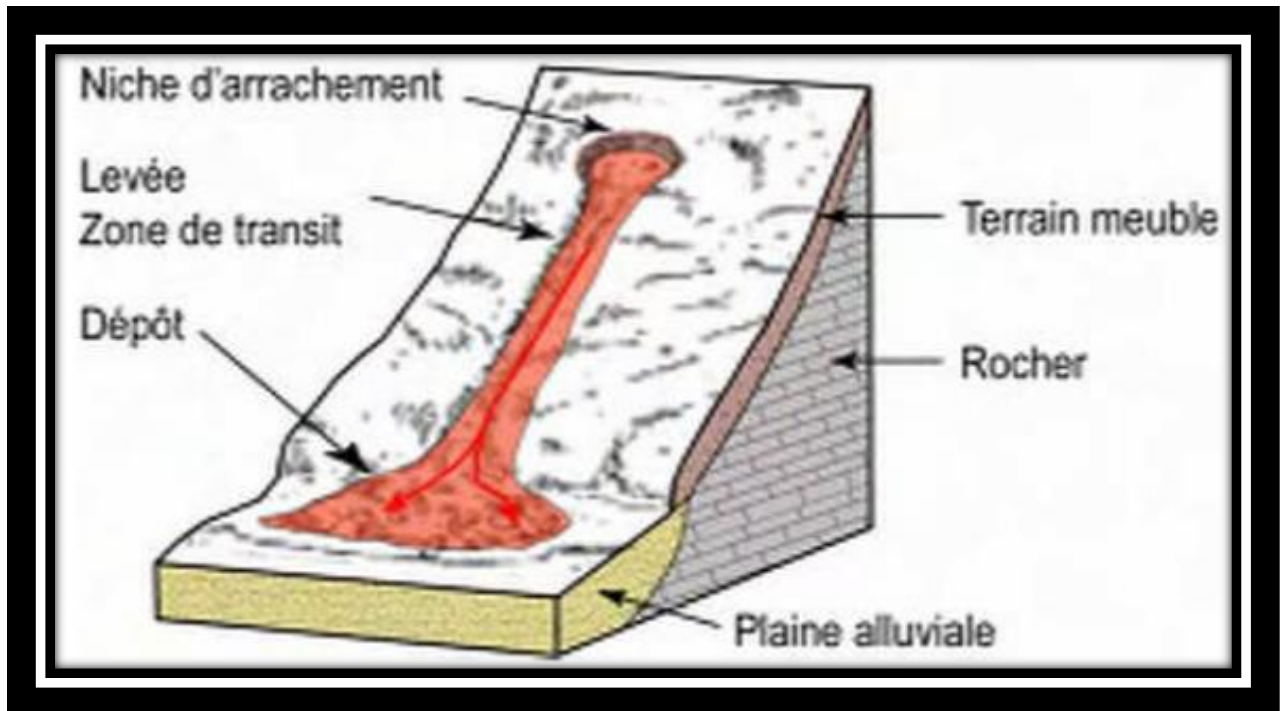


Figure I-22: Coulée de boue.



Figure I-23: coulées de boue affectants des versants suisses.

I-4-conclusion:

Dans ce chapitre nous avons cité les différentes instabilités pouvant affecter un versant. Les mouvements de terrain, qu'ils soient lents ou rapides, peuvent entraîner un remodelage des paysages.

Celui-ci peut se traduire par la destruction de zones boisées, la déstabilisation déversant ou la réorganisation de cours d'eau.

Les plus répandu de ces mouvements de terrain à l'échelle mondiale et notamment en ALGERIE sont les glissements de terrain.

II-1-Introduction:

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse lents induits par insuffisance de résistance au cisaillement sur une ou plusieurs surfaces de rupture généralement courbe ou plane, située à des profondeurs variant de quelques mètres à des centaines de mètres. En raison de l'immensité de son territoire et des divers environnements géologiques qui le composent, l'Algérie fait partie des zones susceptible à ce risque. Plusieurs versants Algériens sont affectés par ces catastrophes géologiques et leurs répartitions géographiques se concentrent sur les zones du nord. Afin de mieux comprendre ce danger primordial et d'arriver à stopper ou minimiser ses conséquences néfastes produites sur les zones ciblées des études morphologique et des renseignements sur les facteurs favorisant de leurs apparition sont nécessaires.

II-2-Les glissements de terrain à travers le monde:**II-2-1-Glisement de terrain de Saint-Jude en Montérégie, Québec:**

Figure II-1: glissement de terrain de Montérégie, Québec (source: états du monde).

II-2-1-1-Contexte géologique général:

En raison de l'immensité de son territoire et des divers environnements géologiques qui le composent, le Québec est exposé à différents types de dangers de glissement de terrain. Bien que tous les types de matériaux puissent être affectés, qu'ils soient meubles (gravier, sable, argile, etc.) ou consolidés (roc), les glissements de terrain se produisent le plus souvent dans les dépôts meubles et plus particulièrement dans les dépôts argileux.

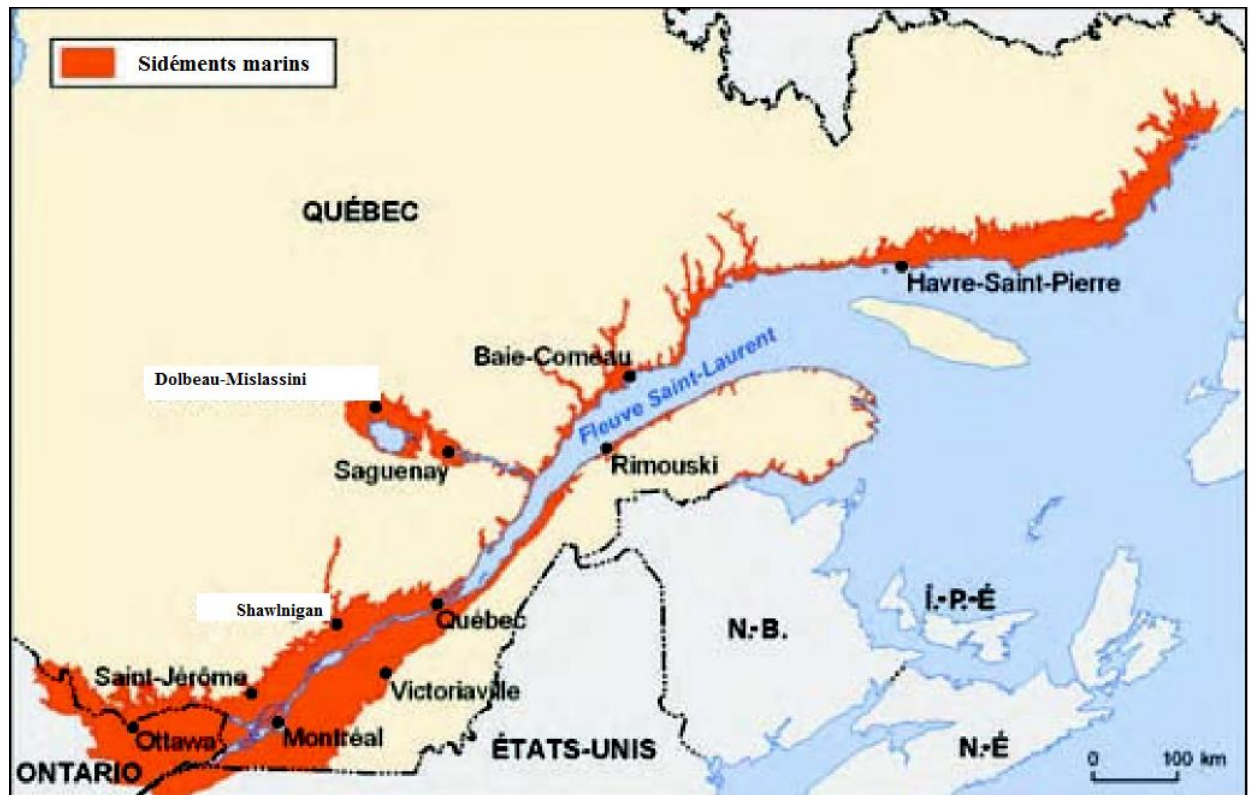


Figure II-2: Limite de la submersion marine au Québec.

La plupart des dépôts meubles constituant le sol québécois ont été mis en place pendant ou après le passage des derniers glaciers du Wisconsin qui ont recouvert l'ensemble de la province. Ces glaciers se sont retirés progressivement du sud du Québec vers le nord il y a environ 8 000 à 14 000 ans, laissant sur place des matériaux de grosseur hétérogène appelés tilt. De plus, leurs eaux de fonte ont entraîné le dépôt de grandes quantités de sable et de gravier à de nombreux endroits.

En même temps, les basses terres, comme celles de la vallée du Saint-Laurent, de la rivière Outaouais et de la rivière Saguenay jusqu'au lac Saint-Jean, ont subi des périodes d'invasion marine. Les matériaux argileux et silteux qui se sont déposés dans ces environnements marins atteignent par endroits des épaisseurs supérieures à 70 mètres et peuvent être parfois recouverts d'une épaisseur variable de sable et de gravier. La figure II-3 illustre la succession typique de ces dépôts.

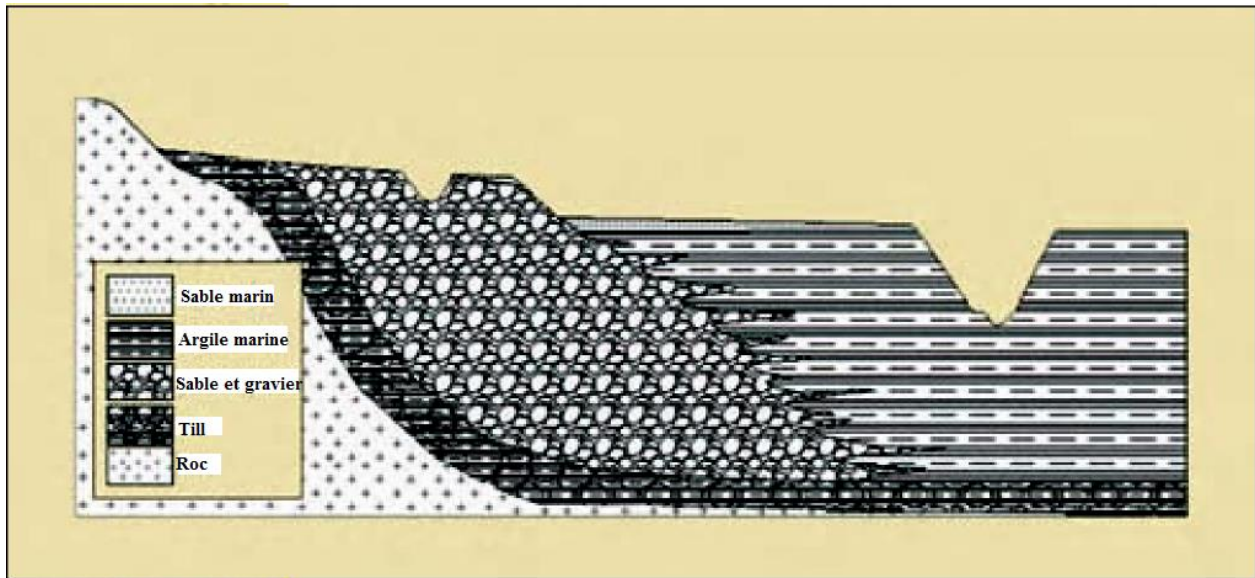


Figure II-3: Croquis de la stratigraphie des dépôts meubles (source: Google)

II-2-1-2-Dégâts engendrés par ces glissements:



Figure II-4: dégâts engendrés par un glissement au Canada. (source: Etat du monde)

Comme le montre la figure précédente de très importante masse de sol transporté par le glissement de terrain. Ce qui a engendré une instabilité du versant, ainsi qu'une déstabilisation au niveau du pont et aussi les constructions voisines.

Cas d'une zone au Québec avant modification du lit d'un cours d'eau.



FigureII-5: vue aérienne d'un site avant changement du lit des cours d'eau(source: Hydro-Québec photographies aériennes)



**Figure II-6: vue aérienne du site précédent après changement du lit d'un cours d'eau
(source: Hydro-Québec photographies aériennes)**

Suite à un changement majeur du lit d'un cours d'eau ce site est exposé à divers types d'instabilités terrestres. Cette zone est caractérisée par de grandes superficies, parfois plusieurs centaines de mètres carrés. Cette zone peut être touchée par les débris d'une coulée argileuse amorcée par un glissement rotationnel profond. Cette zone est composée de sols à prédominance sableuse, sans érosion, susceptible d'être affectée par des glissements d'origine naturelle ou anthropique.

I-2-2-Glisement de terrain de versant de Séchilienne (France):



Figure II-7: illustration de glissement Séchilienne (source: état de France).

Près de 70 ha est la superficie de sol en mouvement à la région Séchilienne. Cette zone est distante d'environ d'une vingtaine de kilomètres de Grenoble. Environ 3 millions de m³ est le volume de sol transporté par cette instabilité.

II-2-2-1-Historique sur le glissement de terrain de versant Séchilienne:

Le mouvement de versant de Séchilienne se situe dans le massif externe cristallophyllien de Belledonne, dans les Alpes occidentales. Les terrains concernés sont principalement constitués de micaschistes affectés d'une tectonique polyphasée complexe (Giraud et al., 1990). Le mouvement de versant est situé entre la faille N20°E de Belledonne passant à Vizille à l'ouest et un grand accident tectonique appelé « synclinal médian » d'orientation N20°E traversant la ville de Séchilienne à l'est.

Des datations par cosmo nucléides et des études réalisées montrent que la déstabilisation du versant des Ruines a commencé il y a quelque 10 000 ans, bien après le retrait des glaciers qui avaient creusé la vallée (Le Roux *et al.*, 2009). Les photos aériennes des années 1940 montrent clairement l'escarpement du Mont Sec.

II-2-2-2-Causes probables du glissement:

Les différentes séries de mesure des précipitations ont montrés l'existence d'une relation liant entre précipitation et déplacement du sol.

Les mesures extensométriques dans la zone ont permis d'estimer les vitesses d'ouverture des fractures de sol suite aux précipitations; qui sont de l'ordre de plus de 2 mètres par an.

II-2-3-Colombie et Venezuela: glissements de terrain, fissures et failles.

Le phénomène naturel a touché plus de 20 fermes et maisons dans la région de Las Tres Marias, Turbaco, la Colombie, où une faille géologique se situe. Selon les géologues, qui sont arrivés dans la zone sinistrée, le glissement s'est produit apparemment à cause des micro tremblements de terre, qui a conduit à l'activation de la faille géologique Pasacaballos, qui traverse ce secteur. Dans certains endroits, la route a glissé et, dans un de ces endroits jusqu'à une profondeur de dix mètres.



Figure II-8: fissuration et affaissement causé par le glissement de terrain en Colombie(source: état du monde)



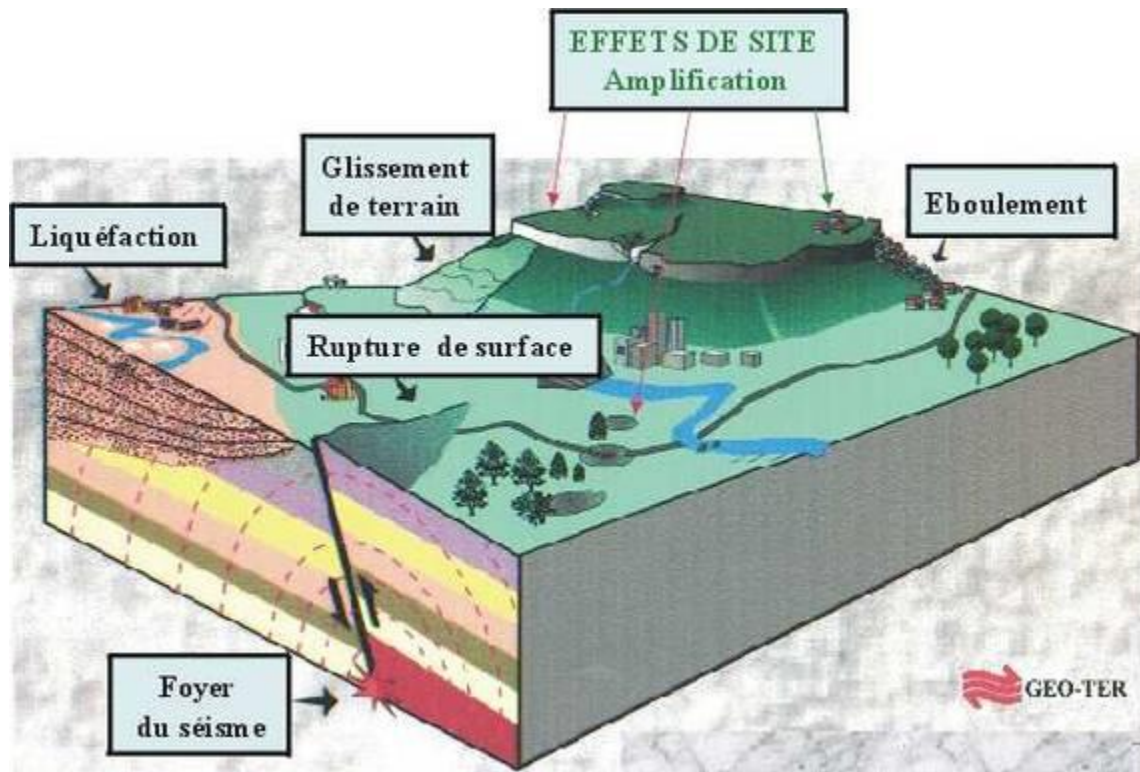
Figure II-9: dégradation d'une route suite au glissement de Venezuela (source: état de monde).

Divers facteurs ont été responsables de déclenchement de ce phénomène naturelle; et les plus remarquables sont la forte sismicité qui règne dans cette région. Le séisme, que l'on appelle plus communément tremblement de terre, est la manifestation du passage d'ondes dans le sol. Par l'action de ces vibrations, les différents terrains ondulent selon leurs propres caractéristiques.

Mais si l'énergie du séisme est supérieure à la capacité de vibration du terrain, alors celui-ci devient instable et casse. D'où la création de nouvelles fractures qui peuvent amener à des glissements de terrain.

Toutefois, ce sont les fractures déjà existantes qui sont les plus grandes zones de faiblesse lors d'un séisme. Ce sont aussi des zones qui ont tendance à canaliser les ondes sismiques lorsque se produisent des tremblements de terre. C'est pourquoi on observe souvent des glissements de terrain dans les zones où il existe de nombreuses discontinuités.

Il faut aussi analyser le comportement du terrain face aux ondes sismiques. En effet, si le terrain est granuleux avec une forte concentration en eau, l'action des ondes sismiques provoque un phénomène de liquéfaction. Le sol va alors se comporter comme un fluide et cela donnera lieu à un glissement de terrain si la pente du versant est suffisante.



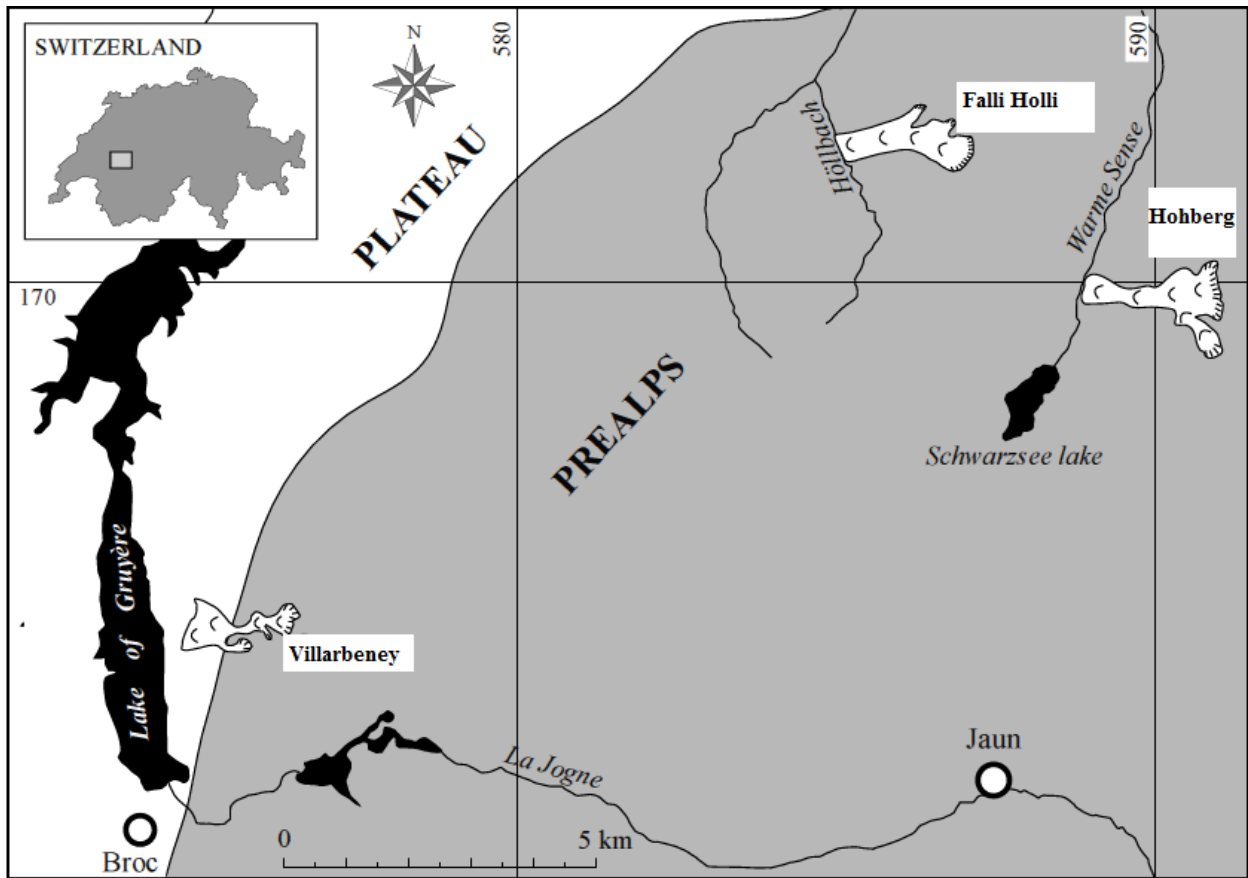
FigureII-10: illustration des réponses des versant à un séisme (source: BRGM)

II-2-4-Cas des glissements suisses:

Plusieurs versants suisses ont connus des instabilités terrestres, l'un des glissements les plus remarquables en suisse est celui du Holberg situés dans les Préalpes fribourgeoises. Le choix a été déterminé sur la base de plusieurs critères, tels que le type d'instabilité, le volume important de sol transporté par ce glissement. Le site retenu est défini globalement comme un "glissement de terrain profonds", autrement dit des instabilités représentées par le déplacement d'une masse de plus de 10 mètres d'épaisseur le long d'une surface de glissement (KIENHOLZ & KRUMMENACHER, 1995; LATELTIN et al).

Ce glissement, plus communément appelé glissement du Holberg, a été choisi comme site de référence en raison des nombreux travaux d'investigation dont il a été l'objet depuis plusieurs années. Il est situé dans les Préalpes fribourgeoises à environ 7 km au sud de Plaffeien et 1.5 km

au nord du Schwarz Sée, en rive droite de la Warne Sense. Il s'étend sur près de 2 km² et implique un volume d'environ 30 millions de m³ (RAETZO et al., 2000).



FigureII-11: localisation du glissement de Holberg (source: Daniel OSWALD de Fribourg, Suisse)



FigureII-12: illustration du glissement de terrain affectant le versant du Holberg(source: Google- glissement Suisse).

Les multiples études et investigations géotechniques réalisées sur ce site ont montrés que les facteurs déclencheurs de ce glissement sont divers et les plus favorisants sont la forte pluviométrie qui caractérise la suisse ainsi que l'inclinaison des pentes du sol suisse.

L'activité du glissement du Holberg est liée aux conditions climatiques de moyen, court et très court terme, et le déclenchement d'une accélération majeure, comme celle de 1999 par exemple, intervient quand ces conditions relatives aux trois termes sont défavorables.

Et par la suites les essais in situ réalisés sur le sol de ce versant ont montré la faible perméabilité de ce sol qui a engendré par la suite d'important écoulements souterrains.

II-2-5-Glissements de terrain en Algérie:

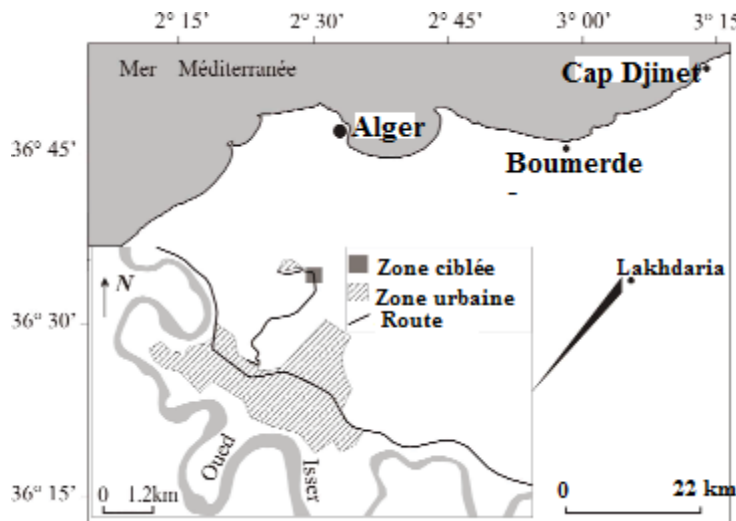
II-2-5-1-Cas de glissement de terrain qui a touché la willaya de LAKHDARIA:

A la suite de pluies torrentielles ayant frappé la région de Lakhdaria au cours de l'hiver 2006, le glissement d'un talus routier a emporté la moitié de la chaussée sur une quarantaine de mètres laissant un escarpement de cinq mètres de haut.

La chaussée restantes ainsi que quelques maisons étaient menacées par un éventuel second glissement comme l'attestaient les nombreuses fissures et déformations observées autour de l'escarpement.

Le glissement a eu lieu près de la ville de Lakhdaria, à quelques 70 km au sud-est d'Alger, le long d'une route conduisant à un lotissement situé à plus d'un kilomètre au nord du chef-lieu.

Du point de vue morphologique le site est dans son ensemble accidenté, le talus en contre bas de la route est raide avec une pente dépassant les 60%, alors qu'en amont elle est d'environ 20%. Le glissement s'est produit sur le passage d'une Châaba (talweg), siège régulier de ruissellements importants en période hivernale (EMSEG, 2006).



FigureII-13: situation du secteur ciblé (source: Bulletin du Service Géologique National)

Sur le plan géologique le site d'étude est formé par des marnes et marno-calcaires du Sénonien appartenant aux nappes telliennes.

Il s'agit de marnoschistes avec des intercalations de calcaires disséminés sous forme d'amas, de bancs lenticulaires et de gros nodules à patine jaune.



FigureII-14: détail des marnoschistes sénoniens friables enrobant des nodules de calcaire.

Le sondage carotté réalisé en 2006, un mois après l'événement, à l'arrière de l'escarpement montre, sous une couche de remblais de 60 cm, 7 mètres de marne schisteuse, friable, surmontant des marnoschistes compacts, traversés jusqu'à 14 mètres de profondeur (EMSEG, 2006).

II-2-5-1-1-Conséquences néfastes engendrées par ce glissement:

Le glissement de terrain s'est produit dans les terrains marnoschisteux. Il se caractérise, en tête, par une rupture qui se manifeste par un escarpement de cinq mètres de haut sur environ quarante mètres de long.

Les débris de bitume et de béton du trottoir sont visibles sur le corps du glissement. La voie large de dix mètres a été complètement détruite sur six mètres. Des fissures et des déformations ont affecté la chaussée sur 20-25 mètres le long de la route de part et d'autre de l'escarpement. Ainsi, la route a été complètement déstabilisée sur une longueur totale de 80 mètres.

Suite à ce phénomène des constructions voisines ainsi que des vies humaines sont exposées au danger.



Figure II-15: vue depuis le nord-ouest sur le glissement du talus routier.

La figure II-15 illustre clairement les matériaux transportés par ce glissement terrestre, et les deux figures suivantes nous montre l'état critique dont lequel la route affectée est mise.

état médiocre causé sur la route



FigureII-16: (b) déformation et fissuration de la chaussée.

(c)vue latérale depuis le sud sur l'escarpement décrivant une surface de rupture circulaire.

II-2-5-1-2-Causes probables de l'apparition du glissement de Lakhdaria:

Les études menées par divers auteurs nous ont permis la compréhension de la géométrie de ce glissement ainsi que les facteurs encourageant son évolution.

La méthode H/V de bruit de fond réalisée en 2006 un mois après l'apparition de cette instabilité ,a montré que ce glissement est de forme circulaire.

L'existence du siège régulier de ruissellements importants en période hivernale (EMSEG, 2006) et couche de sol encore fortement remanié, sont les causes les plus probable de ce glissement.

II-2-5-2-Glisement des abattoirs Ténès (Chlef):

Le glissement des abattoirs Ténès, se trouvant sur un talus de 10 m environ de hauteur. Ce glissement a été provoqué dans les années 80 sous l'effet des infiltrations souterraines ayant fait déplacer la masse de remblai composée d'alluvions récentes.



Photo II-17: Le glissement de la route des abattoirs.

L'étude a été réalisée par la DTP (Antenne de Chlef), ou une solution a été dégagée qui consiste à recharger le pied du talus tout en proposant des murs de soutènement reposant sur des pieux ancrés à plus de 25 m de profondeur, mais cette solution n'a pas été réalisé.

Par conséquent, de grave préjudices ont été observés sur le terrain, dont la partie se trouvant en haut du talus a été complètement déplacée et touchant même les fondations des bâtiments se trouvant à côté de l'emprise.

II-2-5-3-Glisements de terrains en Kabylie:

Plusieurs versants de la région de Tizi-Ouzou ont répondu à des phénomènes d'instabilités terrestres d'ampleurs variables.

Les plus spectaculaires sont ceux d'Ain El Hammam, d'Azazga et de Tizirt vues des désordres qu'ils ont engendré.

II-2-5-3-1-Glisement de terrain d'Azazga:

La daïra d'Azazga est situées à environ 20 kms à l'Est de la ville de Tizi-Ouzou dans des terrains argileux et marneux(flysch).Plusieurs versant de cette région ont répondu à des instabilités terrestres depuis 1952, suite à la forte période neigeuse de février 2012, les instabilités de centre – ville ont été réactivées et se développent dans une pente de faible inclinaison(entre 10° à 15°). Ces derniers mouvements de terrain ont mis la vie de plusieurs personne et d'importantes infrastructures en danger.

II-2-5-3-1-1-Désordres provoqué par le glissement d'Azazga:

Les mouvements de terrains affectant la région d'AZAZGA sont de natures et d'ampleurs diverses. Ils se manifestent sous des formes variées, allant des petites loupes de glissement observées sur les flancs de coteaux, aux énormes coulées boueuses qui mettent en jeux des volumes considérables de terres et de roches.

Des routes sont dégradées et emportées par ce phénomène naturelle et des constructions sont déstabilisées.



Figure II-18: affaissement considérable du sol support d'une chaussée.

La figure II-18 nous montre l'état fâcheux dont lequel est mise la chaussée, ainsi que l'état dégradé de bitume engendré par le glissement de terrain.



Figure II-19: fermeture d'une voie de la route.

Plusieurs conduite d'eaux alimentant la région en eau potable ont été endommagées suite à ce glissement de terrain et des dizaines de village sont privées d'eau potable; la figure II-20 nous illustre clairement l'état destructif causé sur les conduite d'eau.



Figure II-20: endommagement des conduite en eau potable.

II-2-5-3-1-2-Causes probable du glissement d'Azazga:

Les glissements observés sont les résultats de l'action combinée de plusieurs facteurs.

❖ Facteurs géologiques et géotechniques:

La région d'Azazga est située sur des flysch. Des compagnes de reconnaissance réalisées sur ce site ont conclus la présence de zone de remaniement situées à l'interface entre le substratum et les couches superficielles (LCTP 2004; LNHC 2003).

❖ Facteurs hydro-climatiques:

L'eau est l'une des menaces principales du sol, sa bonne gestion pourra assurer la stabilité d'un versant. La région d'Azazga est caractérisée par un climat de forte précipitation et une importante couverture neigeuse.

Son hydrologie est caractérisée par la présence de divers cours d'eaux. Les nappes souterraines, et plus exactement leurs fluctuations liées aux conditions météorologiques sont très souvent à l'origine de déclenchements des mouvements de versants tel que les glissements.

❖ **Les facteurs anthropiques:**

La présence de l'homme dans un espace se traduit par des remaniements de terrain et une modification des conditions d'équilibre des versants, ce qui peut contribuer à les déstabiliser.

La concentration des eaux par suite de rejets non maîtrisés ou de rupture de canalisations, la surcharge de terrains par suite de remblaiements intempestifs peuvent, par exemple, déstabiliser profondément les terrains. La mise en place d'infrastructures peut donc mener à la réactivation d'un glissement ancien ou bien accélérer les processus de déstabilisation en cours, voire déclencher un glissement dans une zone initialement stable mais fragile.

Les travaux en pied de versants peuvent également avoir des conséquences considérables: le fait de modifier ou de faire disparaître des terrains situés en aval, par exemple en effectuant des terrassements, a pour effet de déstabiliser l'ensemble de la masse amont qui prenait appui dessus pour assurer son équilibre.

II-2-5-3-2-Cas de glissement de terrain d'Ain El Hammam:

La région d'Ain El Hammam est distante d'environ 50 kms au Sud Est de la ville de Tizi-Ouzou. Les terrain qui composent cette région ont dominance schisteuse et micacées(GEOMICA, 2006).

Plusieurs instabilités qui remontent aux années 1970 ont affecté cette région(LNTB,1972).

Ces instabilités ont trouvé leurs réactivations et leurs réapparitions sur plusieurs versants et le plus phénoménal est celui qui a touché le centre-ville de cette commune.

II-2-5-3-2-1-Dégâts engendrés par ce glissement:

Le glissement d'Ain El Hammam s'étend sur une superficie supérieure à 23 Ha (Djeral et Melbouci,2012), plusieurs secteurs sont déstabilisés par ce mouvement mettant d'importantes infrastructures en dangers ainsi que des vies humaines.

Des fissurations au niveau des gabionnages, des affaissements des routes, endommagement des réseaux des eaux, des écartements des joints de rupture des bâtiments et des fissurations des murs sont les indices de sa vulnérabilité.

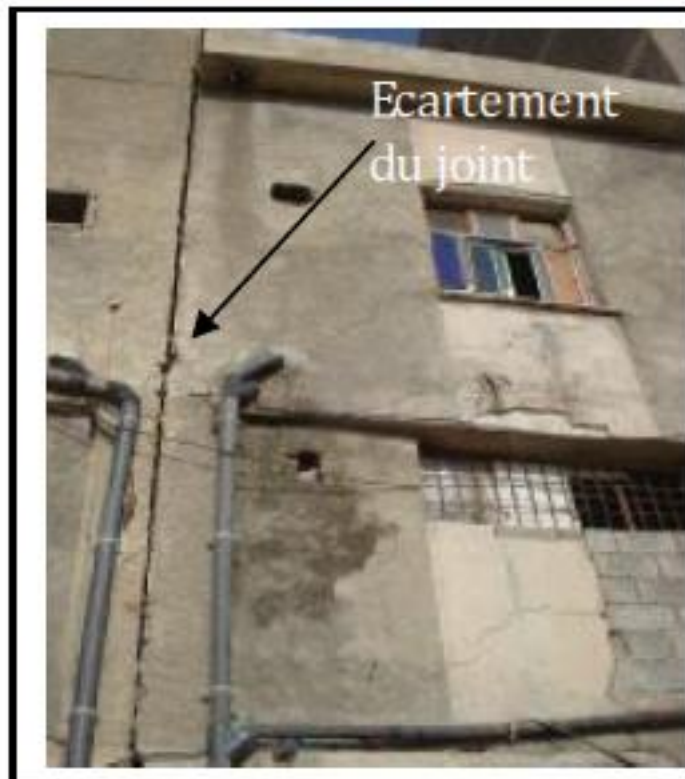
Les figures suivantes nous illustre clairement les conséquences médiocres que ce mouvement a engendré sur le site affecté.



FigureII-21: fissuration et déstabilisation au niveau du gabionnage(source: Djerbal,2010)



Figure II-22: affaissement de la route (source: Djerbal,2010)



FigureII-23: écartement du joint d'un immeuble (source: Djerbal,2010)



FigureII-24: affaissement du sol support du trottoir (source Djerbal, 2010)



Figure II-25: affaissement du sol de marché (source: Djerbal,2010)

II-2-5-3-2-2 Causes probables du glissement d'Ain El Hammam:

Les glissements de terrains sont des phénomènes naturels qui répondent suite à divers facteurs; ils peuvent se produire de manière brutale ou à la suite de la déstabilisation progressive (sur une longue période) d'un terrain en pente, traduisant sa perte d'équilibre.

Plusieurs facteurs ont favorisé la réactivation du glissement d'Ain El Hammam et ont donné terme à son réapparition. Les plus probables sont:

- ❖ Les facteurs géologiques et géotechniques qui ont favorisé la réapparition de ce mouvement: la structure schisteuse de substratum, la fissuration des roches, l'importante perméabilité des couches superficielles ainsi que les faibles caractéristiques du sol qui le compose.
- ❖ Les facteurs hydro-climatiques: la forte précipitation en longue durée (plus de six mois), l'importante couverture neigeuse et la présence de plusieurs cours d'eaux.

- ❖ Les facteurs anthropiques: les différentes modifications sur les versant (terrassements, surcharges, déviations des cours d'eaux etc...) ainsi que l'effet du déboisement des forêts.

II-3-Conclusion:

Il est vrai que la terre est glissante depuis longtemps, mais ces glissements sont encouragés par la mauvaise gestion de ces lieux, les constructions anarchiques, la mauvaise gestion de l'assainissement et des eaux de pluie. Nous avons illustré à travers ce chapitre les différents renseignements sur les glissements de terrain qui nous sert comme guide sur la compréhension de ces phénomènes dévastateurs de la nature.

A travers cette partie nous avons cité un facteur d'apparition et de réactivation des glissements de terrain commun qui est l'eau.

Sur les pentes, l'action déstabilisatrice de l'eau infiltrée dans le sol est triple:

- ❖ accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau: cet effet est le plus souvent mineur.
- ❖ changement de comportement rhéologique: le sol passe de l'état solide à l'état de fluide visqueux; certaines coulées de boue ou laves torrentielles sont ainsi engendrées par l'imbibition d'une masse de sol. On peut aussi évoquer, lors d'un séisme, la liquéfaction des sables sous nappe qui est à l'origine de nombreux glissements sur très faible pente, ou le comportement thixotropique de certaines argiles sensibles à forte teneur en eau. Par ailleurs, des circulations d'eau souterraine peuvent engendrer sur le long terme une altération progressive des terrains encaissants, avec dégradation de leurs caractéristiques mécaniques.
- ❖ action mécanique défavorable des pressions d'eau souterraine.

III-1-Introduction:

Plusieurs régions en Algérie ont été affectées par les glissements de terrain. Ces mouvements de terrain font partis de l'actualité quotidienne. La Kabylie au cours de ces dernières années a connu plusieurs instabilités de terrain, plusieurs secteurs sont touchés (Ain El Hammam, Azazga, Irdjen, Illilten et Tizirt...).

La région de Tizirt à l'image de toute l'Algérie est concernée par ces instabilités terrestres, cette partie est la passerelle à la compréhension de ces phénomènes géologiques.

III-2-Présentation de la région de Tizirt:**III-2-1-Situation géographique:**

La région de Tizirt est située à 39 km au nord de la ville de Tizi-Ouzou, elle est distante d'environ 139 km de la capital « Alger », elle est limitée par:

- la mer méditerranée au nord.
- la commune d'Ifflissen, à l'Est.
- La commune de Mizrana à l'ouest.
- Les communes de Boudjima et Timizart au sud.



Figure III-1: situation géographique de Tizirt sur une carte de Tizi-Ouzou (source cfto, 2010)

III-2-2- Caractéristiques climatiques:

Les conditions climatiques, plus que d'autres facteurs qui régissent l'écoulement superficiel, jouent un rôle important dans le régime hydrologique d'un cours d'eau. Les facteurs climatiques les plus déterminants sont les précipitations, les températures de l'air et de l'eau, le vent et l'évaporation.

Ces caractéristiques climatiques sont observées à la station météorologique de Tizi-ouzu, située à l'altitude $H=188$ m, et elle couvre la région d'étude.

III-2-2-1- TEMPERATURES:

La température est l'un des principaux facteurs conditionnant le partage des masses d'eaux atmosphériques. Elle influe sur l'évaporation ainsi que sur la vapeur d'eau qui alimente les précipitations. Nous disposons d'une série de relevés moyens, maximaux et minimaux sous abri sur la période 1989-1999, ainsi que les températures extrêmes observées durant cette période.

Le tableau III-1 donne la répartition mensuelle des valeurs moyennes des températures en degrés Celsius($^{\circ}$).

| Mois | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sep | Oct. | Nov. | Dec | Moy |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T min | 1.9 | 9.2 | 2.7 | 4.1 | 8.2 | 12.9 | 16.4 | 17.7 | 13.5 | 9.8 | 4.3 | 2.7 | _ |
| T max | 20.3 | 22.3 | 26.1 | 28.1 | 34 | 38.6 | 42.3 | 42.5 | 38.3 | 33.6 | 27.2 | 21.7 | _ |
| T moy | 10.1 | 10.9 | 13.0 | 14.9 | 19.6 | 23.8 | 27.2 | 27.9 | 24.0 | 19.3 | 14.5 | 11.3 | 18.0 |

Tableau III-1: Répartition mensuelle des températures moyennes en ($^{\circ}$).

Les températures minimales sont observées en janvier, avec une moyenne de 1.2° C et une température absolue négative de -0.05° C en 1992. Les températures maximales sont relevées en juillet et août avec une pointe au mois d'août soit une moyenne de 27.9° C et un maxima de 42.5° C alors que la chaleur extrême atteint les 46.5° C en 1994.

III-2-2-2- HUMIDITE RELATIVE:

C'est le rapport de la tension de vapeur réelle (observée) à la tension de vapeur saturante à la même température, exprimée en pourcentage (%).

Elle indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation.

L'humidité relative est à l'origine de toutes précipitations, en outre elle régit l'évaporation de l'eau sur la végétation, le sol et les nappes d'eau.

La répartition moyenne mensuelle de l'humidité relevée, mesurée au psychomètre sur la période 1989-1999, est donnée au tableau suivant:

| Mois | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sep | Oct. | Nov. | Dec | Moy |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| min | 55.4 | 50.4 | 44.2 | 42.1 | 41.8 | 33.8 | 27.4 | 28.3 | 33.9 | 41.7 | 51.8 | 58.5 | |
| max | 92.6 | 93.5 | 90.9 | 90.5 | 89.0 | 83.0 | 77.2 | 80.3 | 82.9 | 88.4 | 91.9 | 93.2 | |
| moy | 77.9 | 76.7 | 71.5 | 69.6 | 67.7 | 59.7 | 51.9 | 53.9 | 60.7 | 69.3 | 76.3 | 79.1 | 67.8 |

Tableau III-2: Répartition mensuelle de l'humidité relative moyenne en %.

Au cours de l'année, l'humidité moyenne mensuelle dépasse les 50%. Elle varie de 79.1% en décembre, à 51.9% en juillet. Durant la période d'observation, un maximum absolu de 97% en février 1993 et un minimum de 21% en juillet 1994 ont été enregistrés, la moyenne des maxima dépasse les 90% de novembre à avril. En conclusion, l'humidité relative est importante dans la région d'étude.

III-2-2-3- Les vents:

Le déséquilibre momentané entre les zones de hautes pressions et les zones de basses pressions donnent naissance aux vents. Le vent transporte donc les masses d'air humide des océans et des mers vers les continents, tout en augmentant l'évaporation à la surface des sols et des plans d'eau.

| Mois | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sep | Oct. | Nov. | Dec | Moy |
|------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|
| v | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 1.8 | 2.1 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.6 |

Tableau III-3: Répartition mensuelle des vitesses moyennes des vents en m/s.

La vitesse est relativement faible et homogène durant toute l'année. La moyenne annuelle est de 1.6 m/s.

Les vents les plus dominants sont de direction Ouest Est en hiver et d'Est-Ouest en été.

III-2-2-4-Evaporation:

L'évaporation est l'une des caractéristiques climatiques les plus importantes dans le cycle hydrologique. Ce phénomène permet l'alimentation en vapeur d'eau de l'atmosphère par les cours d'eau, des lacs ainsi que les végétaux (évaporation), provoqué par le déficit d'humidité dans l'air ambiant.

Cette fonction constitue une perte directe à partir des écoulements et des plans d'eau. En Algérie, la hauteur d'eau évaporée annuellement par une surface d'eau est presque toujours supérieure à la quantité de précipitation sur la même surface.

Des mesures d'évaporations (en mm) sont effectuées régulièrement à la station météorologique de Tizi-Ouzou, sur piche et sur le bac d'évaporation, type, Colorado.

Les valeurs moyennes mensuelles observées sur piche pour la période 1989-1999 sont dans le tableau suivant.

| Mois | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sep | Oct. | Nov. | Dec | Moy |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| E | 41.3 | 52.9 | 65.5 | 71.5 | 92.6 | 133 | 189 | 184 | 128 | 86.2 | 55.7 | 43.9 | 1144.1 |
| E % | 3.63 | 4.62 | 5.72 | 6.25 | 8.12 | 11.6 | 16.5 | 16.1 | 11.2 | 7.53 | 4.87 | 3.84 | 100 |

Tableau III-4: Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne.

III-2-2-5-Précipitations:

L'écoulement superficiel est la résultante du phénomène aléatoire des précipitations sur les caractéristiques physique et morpho métriques de tous les bassins versants et un rapport direct existe entre les précipitations et les apports de même période. En régime climatique de la région, les précipitations ont en fait deux origines:

- Les précipitations frontales de convergence, dues à l'opposition des grandes masses d'air polaires et tropicales, elles sont en partie responsables des chutes de neiges en altitude.

- Les précipitations de convection dues à l'ascension rapide des masses d'air chaudes tropicales provoquant une situation instable orageuse et des averses très violentes.

Les précipitations du front polaire sont les plus fréquentes et les plus abondantes. Elles alimentent généralement le régime des pluies d'hiver, alors que les précipitations de convection sont à l'origine des averses orageuses de printemps et d'été pouvant provoquer des crues catastrophiques.

a-Réseau pluviométrique existant:

La région d'étude dispose d'un poste pluviométrique situé à une altitude proche du site du bassin versant d'étude.

Les caractéristiques géographiques du poste pluviométrique sont présentées au tableau n°5.

La densité et la répartition des postes pluviométriques dans la région d'étude permettent une étude des précipitations à l'échelle du bassin versant. Bien que l'ONM recommande un minimum de 20 années d'observations pour une estimation fiable des paramètres hydrologiques, les périodes d'observations du poste pluviométrique dont nous disposons présentent une période de 35 ans.

| N° | Code | Nom de la station | Période de fonctionnement | Nombre d'année observées |
|----|--------|-------------------|---------------------------|--------------------------|
| 01 | 020810 | Azaib Mizrana | 1970-2005 | 35 |

Tableau III-5: caractéristiques géographiques du poste pluviométrique.

b- Précipitations moyennes annuelles:

Le tableau ci-dessous donne la répartition moyenne annuelle établie sur la base des observations faites à la station El Azaib Mizrana (code 20810) avec une altitude proche du site du bassin versant d'étude.

| MOIS | Sept | Oct | Nov | Dec | Janv | Fevr | Mars | Avri | Mai | Juin | Juil | Aout | AN |
|------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| P moy (%) | 4,6 | 9,3 | 15,1 | 15,6 | 14,5 | 12,9 | 10,2 | 10,2 | 5,8 | 1,1 | 0,5 | 1,0 | 100,0 |
| P moy (mm) | 37,7 | 75,4 | 122,7 | 127,0 | 117,8 | 105,1 | 82,7 | 76,4 | 46,7 | 8,7 | 3,9 | 8,4 | 812,4 |

Tableau III-6: Répartition mensuelles des précipitations.

Pour donner un aperçu sur l'évolution annuelle des précipitations, nous avons représenté la répartition moyenne annuelle sur le graphique suivant:

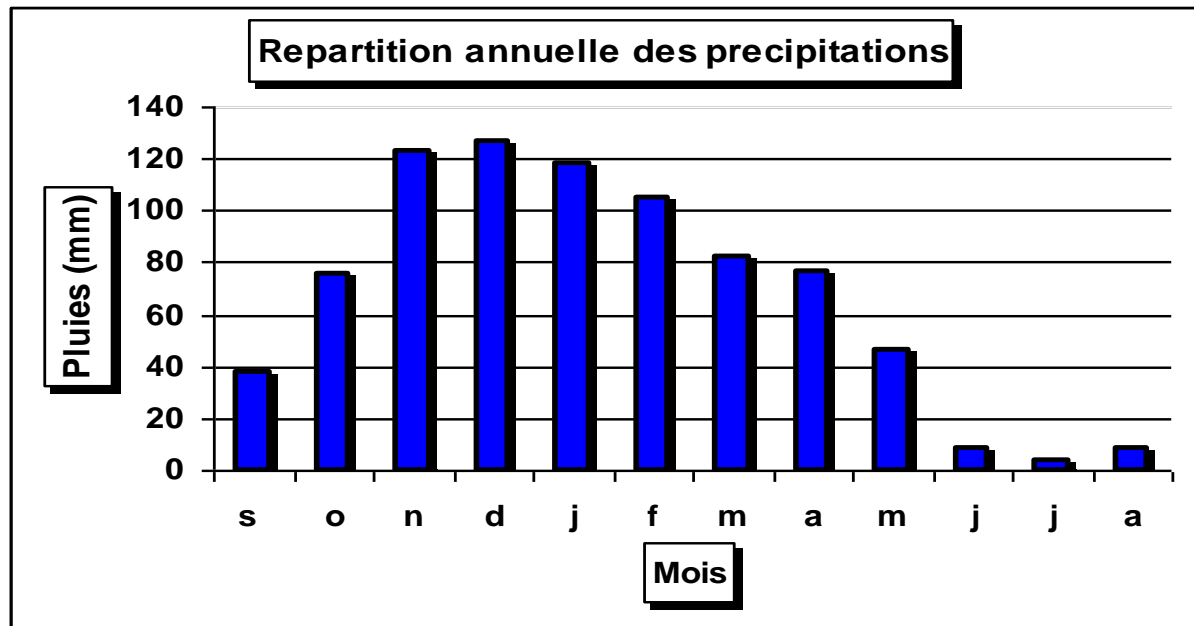


Figure III-2: La pluie moyenne interannuelle est de 812.4 mm.

III-2-3-Aperçu géologique:

III-2-3-1-Contexte géologique régional:

Le nord de l'Algérie correspond à une frontière de plaques majeure. Cette frontière, active, concentre la presque totalité de la déformation actuelle liée à la convergence Afrique-Europe en Méditerranée occidentale. Le raccourcissement se répartit en effet entre la terre (~3 mm/an) et la mer (~2 à ~3 mm/an) (Calais et al, 2003; Nocquet et Calais, 2004; Meghraoui et Doumaz, 1996; Serpelloni et al, 2007).

Les récents travaux (Bracène et Frizon de Lamotte, 2002, Roca et al. 2004) résument sur une coupe au large de l'Algérie la vision actuelle des structures à l'échelle lithosphérique (Figure III-9).

Si la vergence opposée des structures terre-mer y est bien visible, de nombreuses inconnues demeurent en raison de la mauvaise connaissance des structures profondes, portant notamment sur:

- (1) la disposition, le nombre et l'enracinement des accidents à vergence continentale dans le bloc des Kabylie et équivalents latéraux.
- (2) la géométrie du contact majeur entre zones interne et externe de la chaîne Maghrébine, qui scelle la paléo subduction Téthysienne.

(3) la nature, l'âge et la tectogenèse de la zone transitionnelle qui s'étend au-delà des zones internes, notamment sur l'éventuel coulissage tardif entre ces deux zones.

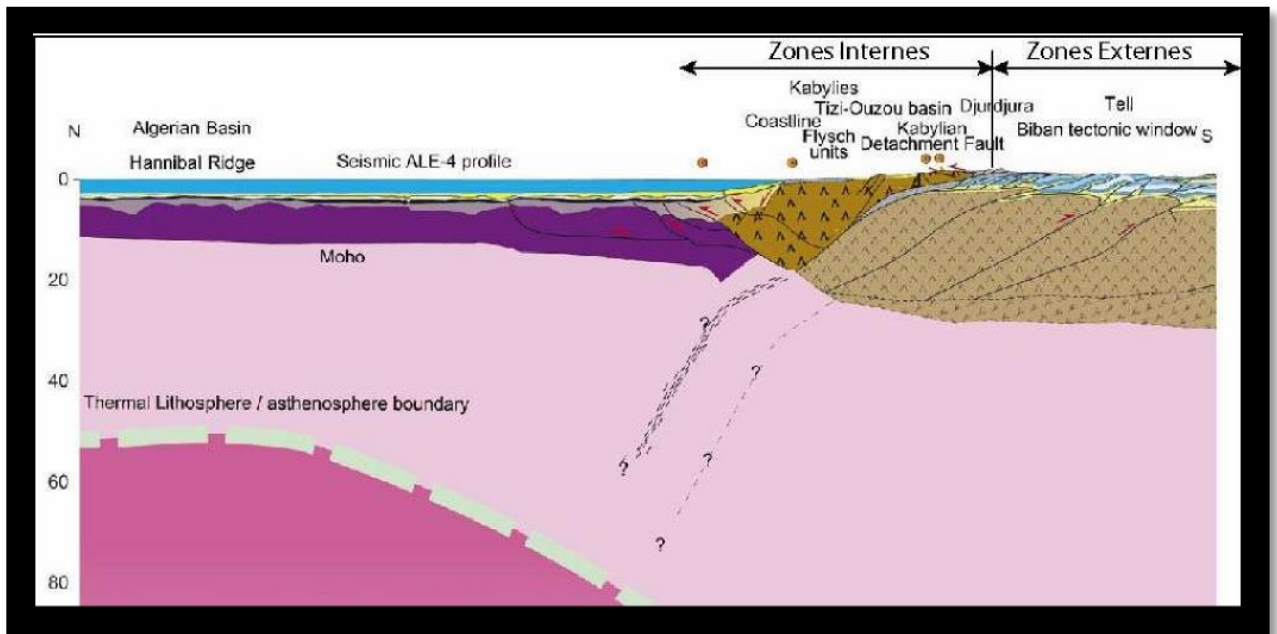


Figure III-3: coupe de la vision actuelle des structures à l'échelle lithosphérique.
(Source ANTEA-TTi-Hydro environnement).

Les unités géologiques décrites dans la notice explicative de carte géologique de la wilaya de Tizi-Ouzou, éditée en 1951 montre que la région de Tizirt est située sur des terrains marneux surmontés par des dépôts quaternaires récents.

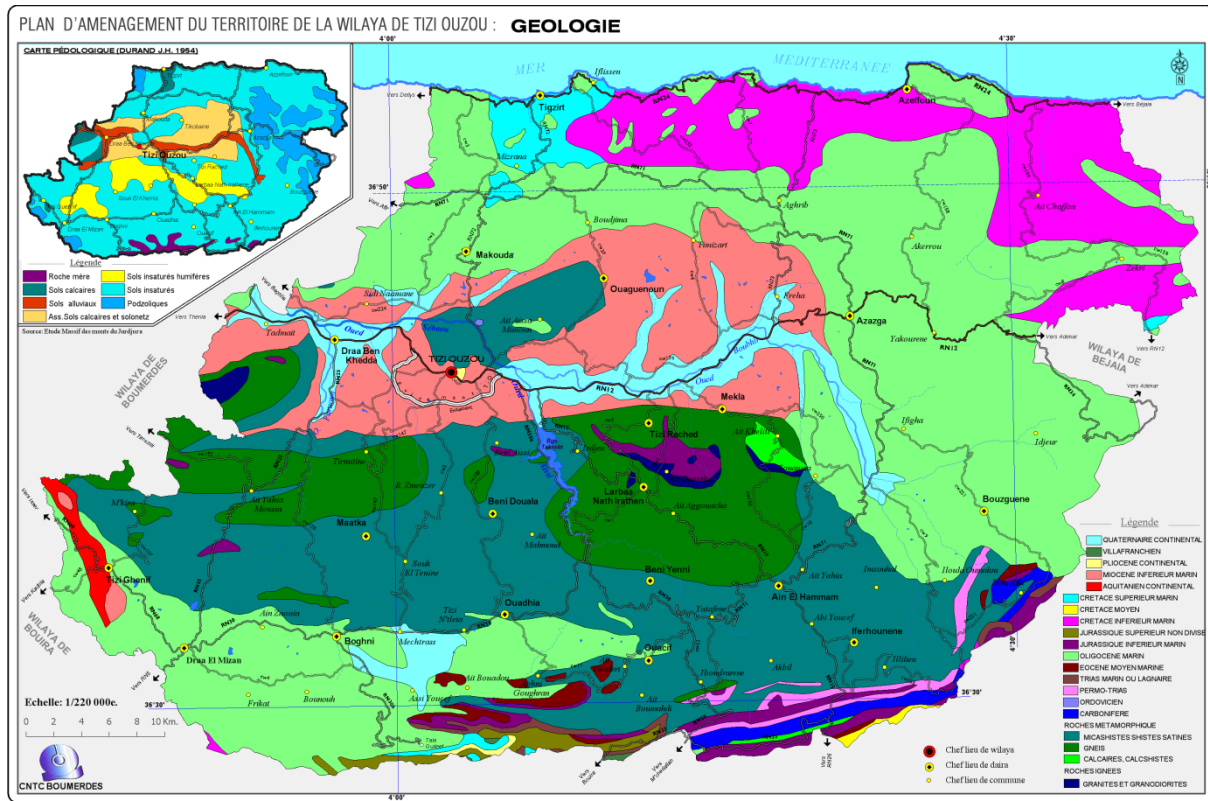


Figure III-14: Carte géologique de la wilaya de tizi-ouzou (Source: carte géologique de l'Algérie 1/500000)

III-2-3-2-Formations géologiques reconnues:

Des levés géologiques réalisés en septembre 2010 par le groupement ANTEA-TTi-Hydro environnement ont apportés des informations essentielles pour la connaissance des contextes géologiques et hydrogéologiques et pour la compréhension des mécanismes entraînant l'instabilité des terrains proches de la côte.

La connaissance des formations géologiques s'appuie aussi sur les 7 sondages carottés (S01 à S07) réalisés en 2009, dont l'implantation et les résultats synthétiques sont rappelés ci-après:

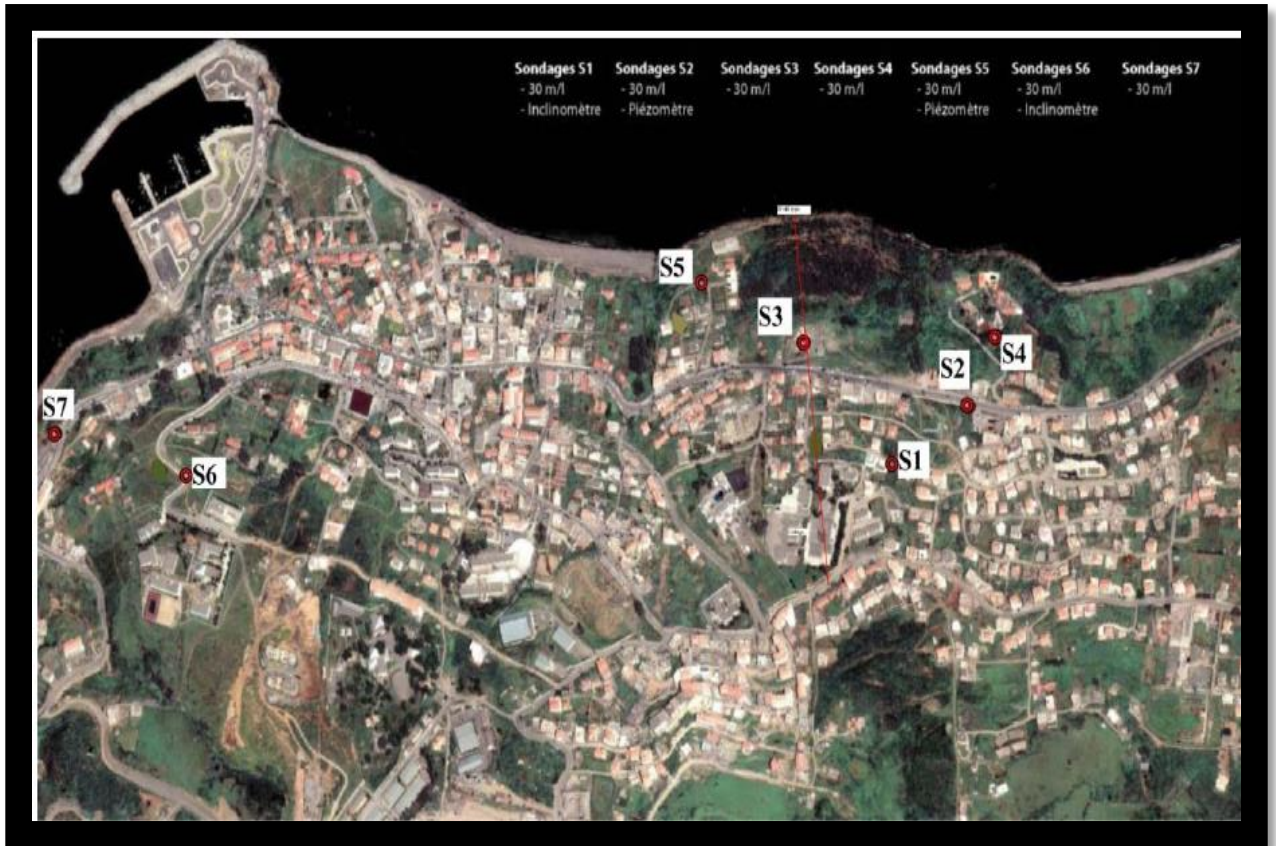


Figure III-5: localisation des sondages carottés réalisés à Tizirt (source ANTEA-TTi-Hydro environnement).

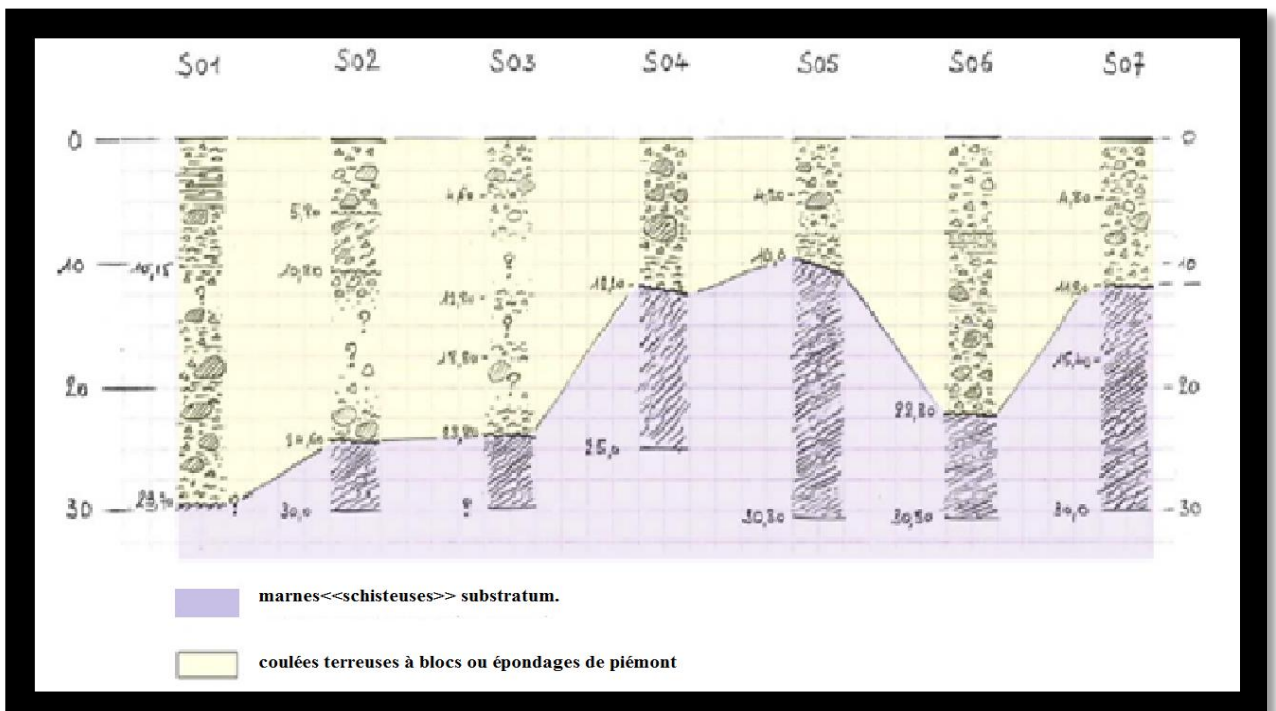


Figure III-6: coupes synthétiques des sept sondages carottés.(Source ANTEA-TTi-Hydroenvironnement).

Les coupes synthétiques des sept sondages permettent de dégager deux formations géologiques principales:

- un substratum « marno-schisteux »;
- une couverture quaternaire meuble.

III-2-3-2-1-Description du substratum « marno-schisteux »:

D'une façon générale, les pentes montagneuses qui dominent les quartiers urbanisés sont constituées de roches sédimentaires appartenant au Crétacé (marnes pélitiques d'aspect schisteux) et à l'Eocène (marno-calcaire et grès compacts).

Ces couches gréseuses compactes de l'Eocène se rencontrent plutôt dans les parties hautes. Elles sont observables dans les carrières (pierres à bâtir) et des entailles au sud.

Les « marnes schisteuses » du Crétacé constituant le substratum rocheux d'une grande partie de la ville et de toute la côte présentent une structure générale inclinée de 20° à 40° vers le sud (pendage à tendance amont par rapport à la pente générale du versant).

Elles sont visibles au centre de la ville, notamment dans les talus en amont du tribunal, sous 1 à 3 m de colluvions.

En s'approchant de la côte, la profondeur du substratum devient plus importante, mais reste irrégulière.

Son toit a été touché à 10 m de profondeur au droit du sondage S05 et à plus de 30 m de profondeur au droit du sondage S01.

III-2-3-2-2-Description de la couverture quaternaire meuble:

Les dépôts quaternaires recouvrent le substratum rocheux sur une épaisseur très variable entre le pied des reliefs montagneux (secteur de Taka-Behri-Cheurfa) et la côte. Ils sont constitués principalement de matériaux limono-argileux parfois sableux d'aspect terreux à « pierres » polygéniques et blocs gréseux parfois très volumineux (> 10 m³).

Il s'agit de formations remaniées de l'Eocène, mêlées fréquemment à des colluvions marno-argileuses altérées, plus particulièrement près du substratum « marneux » en place.

Ces dépôts quaternaires correspondent à des épandages de piémont avec des intercalations argileuses et/ou sableuses peu épaisses, stratifiées. Dans ces épandages sont intercalées des coulées torrentielles ou terreuses qui ont remanié divers terrains meubles dont des colluvions et des graves coulées alluviales.

III-2-3-3-Traits géomorphologiques:

Les traits géomorphologiques principaux de la région sont le résultat de phénomènes néotectoniques bien connus, marqués par des phases d'érosion importantes.

Ainsi, l'examen des photographies aériennes et les observations de terrain tendent à indiquer qu'en maints endroits, le talus côtier abrupt, soumis une érosion vive, résulterait d'un soulèvement général lié à cette activité néotectonique jusqu'à une époque récente (période gréco-romaine).

La terrasse étendue qui porte le cœur de la ville correspond aussi à une place ancienne soulevée au quaternaire.

Ce soulèvement expliquerait par ailleurs, entre autres causes, l'apparition de coulées terreuses (coulées de boues) importantes qui ont repoussé le trait de côte, en particulier entre la plage Tassalast et la plage Ferraoun. Ces grandes coulées terreuses très anciennes chargées des gros blocs gréseux de l'Eocène constituent le fait marquant du contexte géologique local.

Les terrains remaniés dans ces coulées sont variables, depuis une terre argileuse à cailloutis jusqu'à des amas de blocs gréseux volumineux caractéristiques des transports de matériaux rocailloux lors de l'écoulement des laves boueuses.

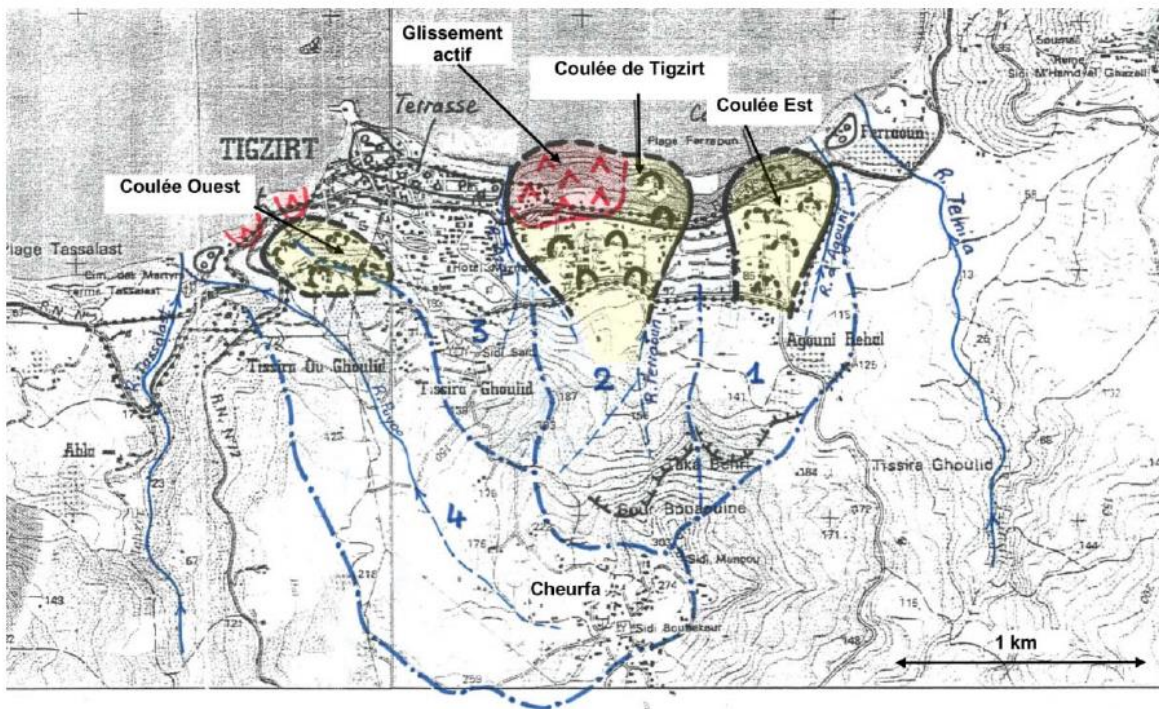


Figure III-7: différents coulées dans la région de Tizirt.

III-2-4-Schéma hydrogéologique:

L'urbanisation de Tizirt s'est développée sur les pentes exposées vers le nord du massif montagneux de Bouaouine-Cheurfa entre les deux vallées de Tassalast à l'Ouest et de Temila à l'Est. Ainsi les bassins versants, qui drainent vers la ville les eaux souterraines peu profondes et sur tout les eaux de ruissellement, sont peu étendus. Quatre bassins versants principaux ont été distingués.

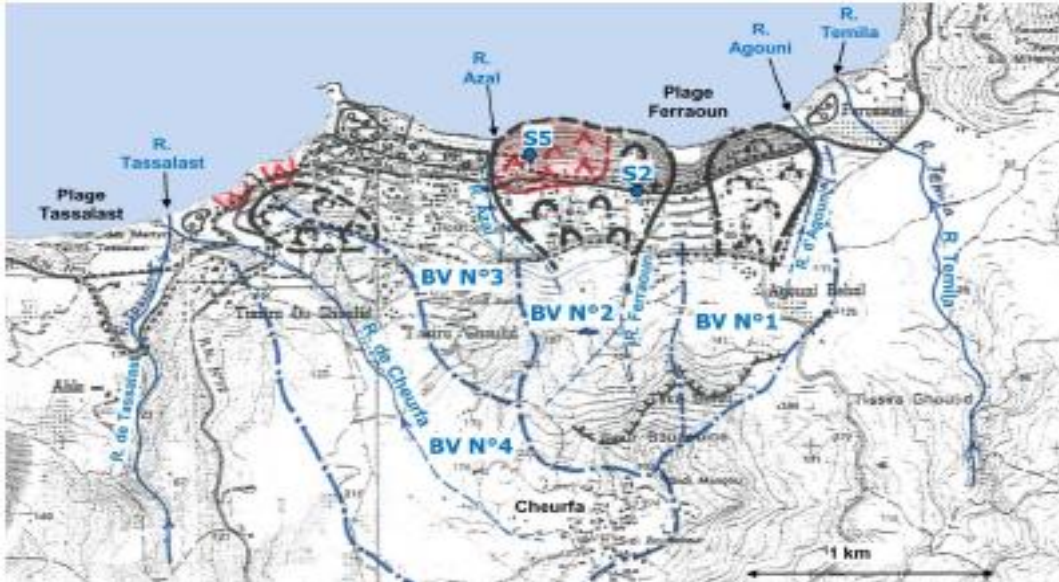


Figure III-8: carte des différents bassin versant de Tizirt (source ANTEA-TTi-Hydro environnement)

Tous ces bassins versants ont en commun de ne pas présenter en partie haute de grosses sources mais plutôt des petites émergences diffuses formant des zones humides sur des replats. Aussi le réseau hydrographique est-il mal développé, fonctionnant de façon temporaire en périodes pluvieuses avec du ruissellement, principalement en hiver.

III-2-4-1-Schéma hydrologique général:

Une partie des précipitations s'infiltré dans les formations rocheuses relativement perméables (grès et calcaires fracturés) du massif montagneux de Cheurfa. Le drainage souterrain diffus s'effectue latéralement, en direction structurale, vers les vallées à l'Est (R. Temila) et à l'Ouest (R. de Cheurfa), une partie rejoignant au SW le ruisseau Tassalast, permanent (B.V. n° 4).

Plus à l'aval, dans les pentes qui dominent la ville, les infiltrations s'effectuent dans la couverture quaternaire meuble, perméable en grand.

Les circulations d'eau souterraine diffuses suivent alors la topographie du toit des marnes schisteuses. Cette topographie étant mal connue, il est difficile de dessiner les axes principaux des écoulements souterrains.

Sous la ville, les marnes schisteuses du Crétacé sont peu perméables, même si localement leur fracturation et leur altération peuvent favoriser une rétention d'eau (d'un point de vue géotechnique ça rapporte des conséquences néfastes).

Deux piézomètres S2 et S5 ont été installés afin de mesurer la profondeur de niveau d'eau dans le terrain de la région de Tizirt.

Le tableau III-7 résume les résultats enregistrés par la campagne de mesure:

| dates | Profondeur du niveau d'eau par rapport à la tête du piézomètre (à peu près au niveau du sol) | |
|--------------------|--|--------------------|
| | S2 (Piézomètre 02) | S5 (Piézomètre 05) |
| 21/12 /2009 | 6.88 m | 0,44 m |
| 14/09/2010 | 17,87 m | <7,35 m |
| 08/03/2011 | 10,85 m | 0,55 m |

Tableau III-7: résultats enregistrés par une campagne de mesure

III-2-5-Sismicité de la région:

La sismicité historique et instrumentale enregistrée en Algérie du nord couvre la période allant de 412 à 2010 comme le montre la figure ci-dessus. Le catalogue de sismicité utilisé est un catalogue qui couvre la région suivante: Longitude 3°15E à 4.5°E et latitude 36.15°N à 37.15°N.

La source primaire pour la période 1900 à 1995 était le catalogue compilé par Bennouar (1993) mis à jour par l'auteur jusqu'en 1995. La source primaire pour la période antérieure à 1900 était le catalogue du CRAAG (1994). Pour la période postérieure à 1995 nous avons utilisé les données du catalogue du CRAAG et les données mondiales gérées par le site de l'ANSS (Advanced National Seismic System) et Centre Sismologique Euro-Méditerranéen (CSEM), France.

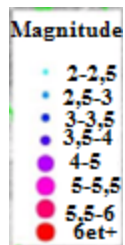
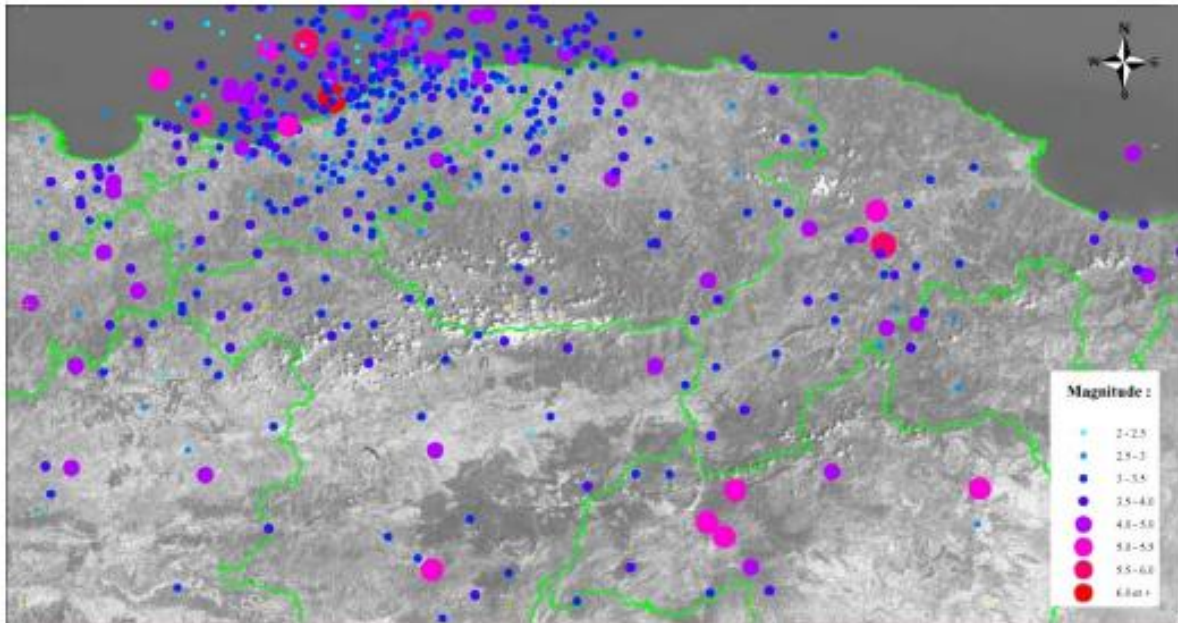


Figure III-9: Sismicité historique de la zone ciblée (1900-2010).
 (Source: CRAAG, ANSS, CSEM, NEIC, MDD)

Donc de la figure précédente, on déduit que la région de Tizirt se situe sur la zone de moyenne sismicité, dont la magnitude est comprise entre 3 et 4.

III-2-6-Urbanisation à Tizirt:

L'urbanisation à Tizirt est mal contrôlée depuis les années 1970 (entailles, modification des écoulements superficiels naturels, infiltrations liées à un réseau de collecte défectueux ou mal entretenu). Ce qui a engendré par la suite l'apparition de l'instabilité des mouvements de terrain et des dégradations des constructions, et les plus remarquables durant les périodes hivernales.

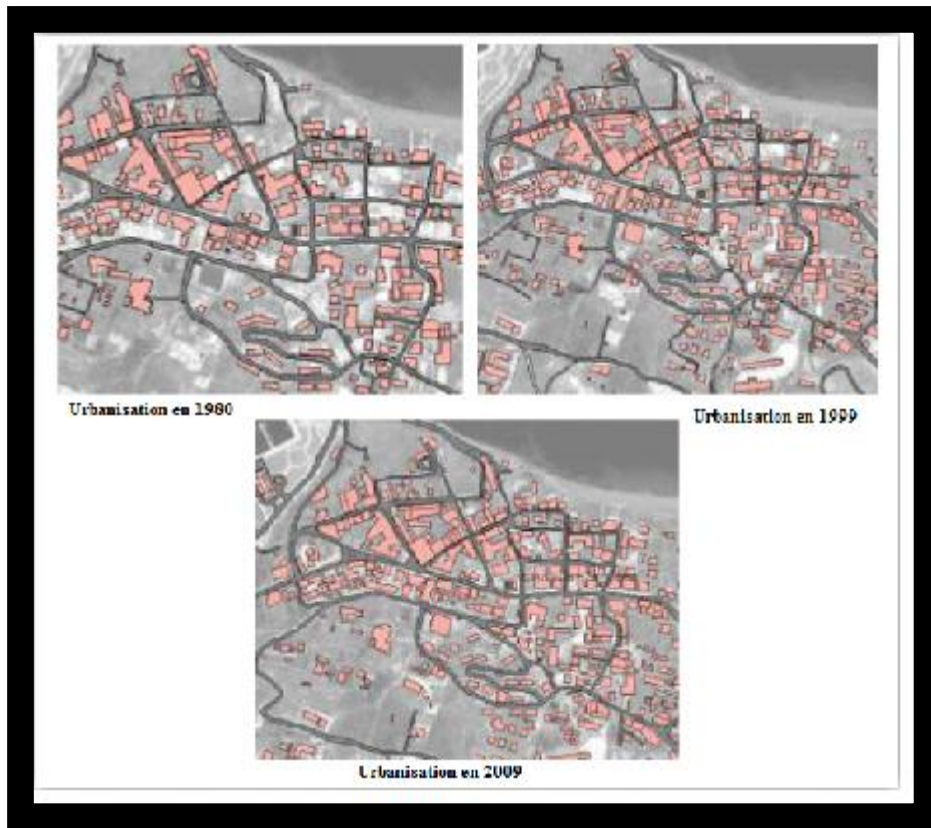


Figure III-10: évolution de l'urbanisation à Tizirt entre 1980 et 2009 (Source: ANTEA-TTi-Hydro environnement).

A partir des figures III-10, on constate l'évolution remarquable de l'urbanisation à Tizirt au cours des trente dernières années. Le tableau III-8 nous montre les statistiques de cette évolution:

| Année | Surface du thème habitation | En % /année d'avant | Surface des thèmes route | En % /année d'avant |
|-------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| 1980 | 111 050 m ² (11.1 ha) | 0 | 153 100 m ² (11.5 ha) | 0 |
| 1999 | 270 100 m ² (27.0 ha) | +143 | 269 000 m ² (26.9 ha) | +75 |
| 2009 | 342 000 m ² (34.2 ha) | +26 | 293 000 m ² (29.3 ha) | +8 |

Tableau III-8: statistiques d'évolution de l'urbanisation à Tizirt.

III-3-Investigations géotechniques dans la région de Tizirt:

III-3-1-Sondages carottés:

Le groupement ANTEA-TTi-Hydro environnement a mandaté le BET GEOMICA pour réaliser 7 sondages sur le site urbain de Tizirt.

Cinq sondages ont été réalisés sur le glissement Est et deux sondages sur les glissements à l'Ouest.

- ❖ Deux sondages ont été équipés d'inclinomètres (S01 et S06).
- ❖ Deux sondages ont été équipés de piézomètres (S02 et S05).

L'implantation des sondages est indiquée sur la figure III-11. Les coupes lithologiques des sondages sont présentées en figures III-12, III-13, III-14 et III-15.



Figure III-11: localisation des sondages carottés (source ANTEA-TTi Hydroenvironnement)

III-3-2-Levers géologiques de terrain:

Ils ont consisté surtout à relever sur des extraits de plans non référencés:

- des indices de mouvement (fissures, arrachements,).
- les limites approximatives des glissements actifs .
- des affleurements divers de substratum marno-schisteux et d'entailles dans le quaternaire.

Résultats des sondages carottés:

Sondage inclinométrique S01:

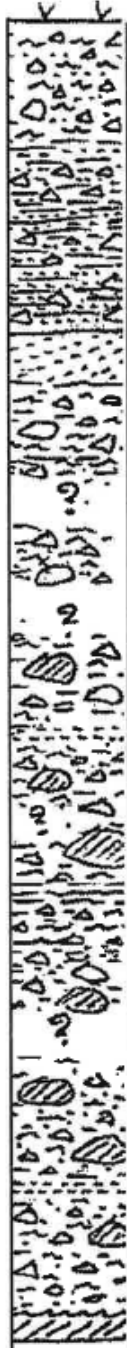
| Prof. (m) | Log | % Carbo | Description lithologique | Formation | |
|-----------|--|---------|---|----------------------------|--|
| 0 |  | 90 | Argile limoneuse versicolore, brune à cailloutis et petits blocs gréseux. | Couverture meuble remaniée | |
| 2 | | 50 | Limons sableux, friables avec éléments gréseux | | |
| 4 | | 40 | Limons sableux non récupérés | | |
| 6 | | 60 | Limons sableux, plus ou moins argileux gris à bruns à petits éléments épars | | |
| 8 | | 70 | Blocs de grès Argile brune plastique, humide à cailloux et petits blocs gréseux | | |
| 10 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 14 | | | | | Pierres et blocs de grès 20 à 80 cm dans matrice limoneuse, sableuse et argileuse non récupérée Passée sableuse humide 10 cm à 10,10 m de profondeur. |
| 16 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 20 | | | Argile brune à noirâtre humide, plastique à cailloutis gréseux entre 20,0 et 21,0 m de profondeur | | |
| 22 | | | Blocs gréseux abondants dans une matrice sablo-argileuse à argileuse gris fobcé. | | |
| 24 | | | | | |
| 26 | | | Passée sableuse de 10 cm | | |
| 28 | | | Nombreux petits éléments gréseux. matrice non récupérée | | |
| 30 | | | Marnes grises altérées, très peu consistantes | Marnes | |

Figure III-12: Coupe de sondage S01.

Sondage inclinométrique S04:


| Prof. (m) | Log | % Carbo | Description lithologique | Formation | |
|-----------|--|---------|---|----------------------------|--|
| 0 |  | 90 | Argile limoneuse versicolore, brune à cailloutis et petits blocs gréseux. | Couverture meuble remaniée | |
| 2 | | 50 | Limons sableux, friables avec éléments gréseux | | |
| 4 | | 40 | Limons sableux non récupérés | | |
| 6 | | 60 | Limons sableux, plus ou moins argileux gris à bruns à petits éléments épars | | |
| 8 | | 70 | Blocs de grès Argile brune plastique, humide à cailloux et petits blocs fréseux | | |
| 10 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 14 | | | | | Pierres et blocs de grès 20 à 80 cm dans matrice limoneuse, sableuse et argileuse non récupérée Passée sableuse humide 10 cm à 10,10 m de profondeur. |
| 16 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 20 | | | Argile brune à noirâtre humide, plastique à cailloutis gréseux entre 20,0 et 21,0 m de profondeur | | |
| 22 | | | Blocs gréseux abondants dans une matrice sablo-argileuse à argileuse gris fobcé. | | |
| 24 | | | | | |
| 26 | | | Passée sableuse de 10 cm | | |
| 28 | | | Nombreux petits éléments gréseux. matrice non récupérée | | |
| 30 | | | Marnes grises altérées, très peu consistantes | Marnes | |

Figure III-13: Coupe de sondage S04.

Sondage inclinométrique S06:

| Prof. (m) | Log | % Carbo | Description lithologique | Formation | Obs |
|-----------|-------|---------|---|--|---|
| 0 | | | | | |
| 2 | | 30 | <i>Pierres émoussées dans matrice terreuse, argileuse marron</i> | Remblais | <i>Perte d'eau variable</i> |
| 4 | 4,20 | 40 | <i>Petits blocs gréseux. matrice brune terreuse non récupérée</i> | | |
| 6 | 6,10 | 20 | <i>De 7-7,60 m : débris polugéniques dans matrice organique grise</i> | Eboulis-colluvions | <i>Matrice argileuse importante jusqu'à 11m</i> |
| 8 | 7,60 | 95 | <i>Argile grise plastique Argile compacte marron à brique Marne argileuse plastique brune à débris "plaquettes" passant à une mame schisteuse brune très altérée vers 10 m.</i> | | |
| 10 | 10,95 | 95 | <i>Passage à une mame schisteuse, grise, très friable vers 13 m. Bonne récupération : So : 30°</i> | Marnes altérées | |
| 12 | 12,95 | | | | |
| 16 | | 90 | <i>Marne pélitique schisteuse gris foncé, très friable, tectonisée et altérée, homogène. Récupération en majorité de débris Ensemble peu consistant</i> | Marnes schisteuses peu consistantes | |
| 20 | 20,05 | | | | |
| 22 | | 90 | | | |
| 24 | 24,00 | 70 | <i>Idem avec passées un peu plus compactes. So : 30°</i> | | |
| 26 | 26,50 | | | | |
| 28 | | | <i>Marnes schisteuses gris foncé, feuilletées ou tectonisées. Passées très friables . Important manque.</i> | | |
| 30 | 30,30 | | | | |

Figure III-14: Coupe de sondage S06.

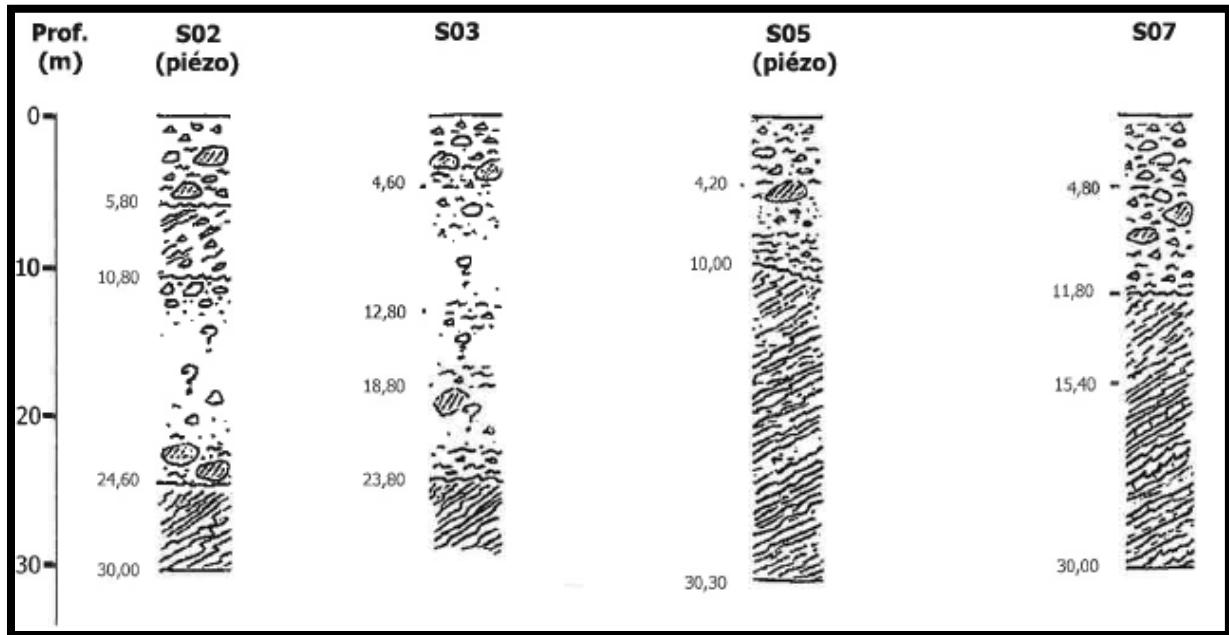


Figure III-15: Coupe synthétique des sondages: S02, S03, S05 et S07

III-3-2-1-Discutions des résultats des sondages:

❖ Piézomètre S05:

Le piézomètre S05 est situé à l'ouest du glissement en contrebas de la route principale sur la côte. L'ouvrage n'est pas équipé de capot de protection ni de bouchon, c'est un simple tube PVC de 40mm de diamètre, dépassant de 16cm du sol dans un terrain végétalisé.

Le niveau d'eau dans l'ouvrage est mesuré à 62 cm par rapport au sommet du tube PVC, soit 44 cm par rapport au sol, la profondeur du piézomètre étant de 15,74 m par rapport au sommet du tube PVC.

❖ Piézomètre S02 :

Le piézomètre S2 est situé sur la chaussée de la route principal, dans la zone de glissement. L'ouvrage n'est pas équipé de capot de protection ni de bouchon. C'est un simple tube PVC de 40 mm de diamètre ouvert sur la chaussée.

Le niveau d'eau dans l'ouvrage est mesuré à 6,88 m par rapport au sommet du tube PVC, situé au raz du sol, la profondeur du piézomètre étant de 26.10 m par rapport au sommet du tube PVC.

❖ Autres observations:

Le sondage carotté S04 n'a pas été rebouché. Le niveau d'eau est visible à moins de 0.5 m de profondeur. Ce niveau ne peut toute fois être considéré comme représentatif (il peut résulter d'un remplissage du forage par les eaux de ruissellement).

Essais au pénétromètre dynamique:

L'appareil utilisé est un pénétromètre dynamique lourd. On a réalisé cinq essais sur le site (cinq implantations); ils ont été poursuivis jusqu'au refus.

Le principe d'un essai à la pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol un train de tige muni d'une pointe conique, et ce par l'intermédiaire de coups donnés par une masse déterminé tombant d'une hauteur déterminée. Les principaux renseignements recueillis au terme de ces essais peuvent être synthétisés, ci-dessous, par essais.

Essai n°1

| Tranche de terrain | Résistance minimale (bars) | Observations |
|--------------------|----------------------------|--|
| 0,00 à 3,00m | 30 | -la résistance varie peu à travers cette tranche. -la résistance moyenne est relativement faible. |
| 3,00 à 5,00m | 42 | -Augmentation sensible de la résistance. -zone d'assez forte compacité. -Présence de bancs ou gros galets très durs. |
| 5,00 à 6,40m | 98 | -Zone de très forte compacité. -Massif dure à partir de 5,00. |

Essai n°2

| Tranche de terrain | Résistance minimale (bars) | Observations |
|--------------------|----------------------------|--|
| 0,00 à 2,00m | 35 | -La résistance moyenne est relativement faible. -Tranche de faible compacité. |
| 2,00 à 4,20m | 57 | -Forte amélioration de la résistance. -Forte compacité. |
| 4,20 à 6,00m | 48 | -Résistance assez forte. -Compacité moyenne. |
| 6,00 à 7,80m | 82 | -Augmentation très nette de la résistance. -Amélioration sensible et continue à partir de 7,20m -Massif dur de 7,20m |

Essai n°3

| Tranche de terrain | Résistance minimale (bars) | Observations |
|--------------------|----------------------------|---|
| 0,00 à 3,00m | 35 | -Résistance faible à moyenne. -Tranche d'assez faible compacité. |
| 3,00 à 5,00m | 57 | -Amélioration sensible de la résistance. -Tranche très compacte. |
| 5,00 à 8,00m | 93 | -Amélioration nette et progressive de la résistance. -Tranche très compacte. |

Essai n°4

| Tranche de terrain | Résistance minimale (bars) | Observations |
|--------------------|----------------------------|---|
| 0,00 à 2,50m | 44 | -Tranche de résistance moyenne. |
| 2,50 à 7,60m | 61 | -Zone d'éboulis représentés par de très gros galets et des blocs. -Forte résistance. |
| 7,60 à 8,80m | 93 | -Amélioration nette de la résistance. -Base des éboulis très compacte. |

Essai n°5

| Tranche de terrain | Résistance minimale (bars) | Observations |
|--------------------|----------------------------|---|
| 0,00 à 2,20m | 35 | -Tranche d'assez forte résistance. |
| 2,20 à 3,80m | 105 | -Zone d'éboulis. -Présence de gros blocs -Forte résistance et très bonne compacité. |

III-4-Indices d'instabilités:

Plusieurs secteurs ont été affectés par le mouvement de terrain, A travers nos visites techniques au site glissé, nous avons constaté les dégradations suivantes:

- ❖ Inclinaison des dispositifs de soutènements (gabionnage figure III-18).
- ❖ Fissures multidirectionnelles importantes au niveau de la RN72 (figure III-19).

- ❖ Affaissement de la partie avale de la chaussée avec d'importants escarpements (allant jusqu'à 3 m) en cascades et basculements des garde-corps de la chaussée (figure III-17)
- ❖ Fuites d'eau provenant probablement des réseaux d'assainissement et d'eau potable de la ville.
- ❖ Un important suintement d'eau sur une chaussée du RN°24 à la sortie ouest.

Les différents signes d'instabilités et les conséquences érosives engendrées par ces instabilités sont illustrés sur les figures suivantes.



Figure III-16: arrachement sur chaussée dans le secteur ouest de la ville de Tizirt.
(Source ANTEA-TTi-Hydro environnement).



Figure III-17: affaissement au niveau de la route nationale N°24 (photo prise le 03 /11/2014).

Affaissement important au niveau de la route nationale N°24 reliant entre le chef-lieu Tizirt et le chef-lieu Dellys.

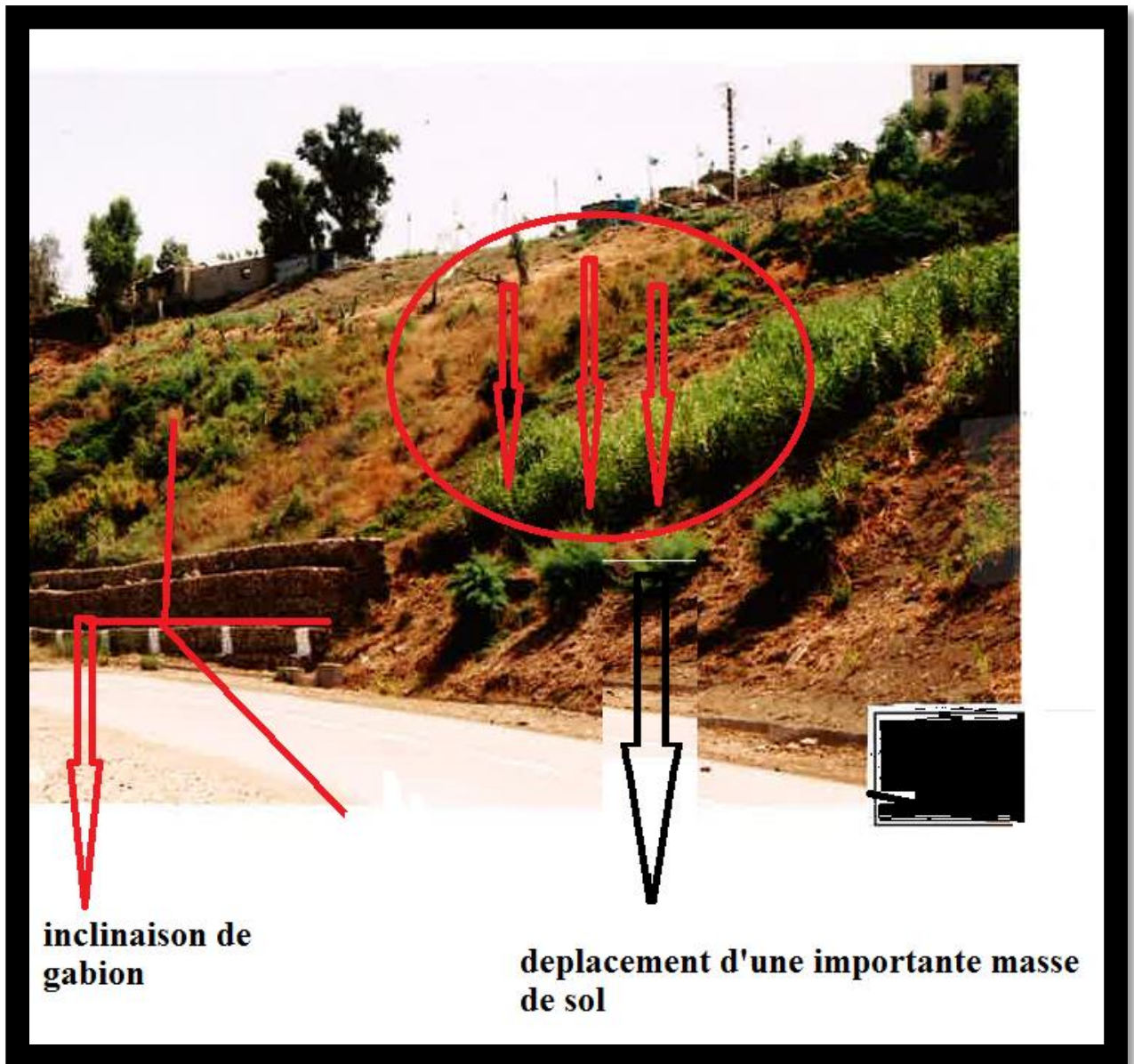


Figure III-18: basculement du sol en amont vers l'aval (photo prise le 03/11/2014).



Figure III-19: apparition des fissures et affaissements de la RN°72 (Photo prise le 03/11/2014).

III-5-Conclusion:

Le phénomène d'instabilité qui a affecté la région étudiée est lié à une conjoncture de facteurs:

- ❖ Un contexte hydrogéologique très pénalisant:

Les circulations d'eau traversent les terrains instables y développant des contraintes hydrostatiques et hydrodynamiques. Les niveaux d'eau peuvent être localement sub-affleurants.

- ❖ Des séismes générant des contraintes défavorables sur les terrains:

Les récents évènements ont eu pour conséquence une mise en pression des terrains, associée à une accentuation / diminution des contraintes verticales et l'apparition de contraintes horizontales déstabilisatrices.

- ❖ Des aménagements réalisés au cours des dernières années:

Les constructions de voiries, de bâtiments et des terrassements « récents » ont modifié l'état de contraintes entraînant un changement de degré de stabilité déjà précaire.

- ❖ L'action érosive générée par la mer:

Le pied de versant est baigné par la mer entraînant un lessivage des fines.

IV-1-Introduction:

Parmi les maux dont souffre la région de Tizirt les glissements de terrain. Il a été constaté que la terre savonneuse varie par endroit, allant de 11 jusqu'à 50 mètres. La totalité de la terre souffrant de glissement est estimée à 150 ha. Ce glissement de terrain qui est une menace sur cette ville en plusieurs endroits différents. Le plus grave est sans doute celui qui touche la partie Ouest de la ville.

Le problème a été sans cesse posé aux autorités locales et de la wilaya. Ce qui nous a sensiblement encouragé et poussé à mener une analyse de ce phénomène, afin de révéler les causes déclenchant, ainsi que les facteurs accélérant.

Ce chapitre fera l'objet d'une analyse numérique de cette instabilité.

IV-2-Notion de facteur de sécurité:

Le danger de l'apparition d'un glissement peut être estimé par l'analyse de la variation du facteur de sécurité en fonction de la forme et de la position de la surface possible de glissement pour la quelle le facteur de sécurité a la valeur minimum qui représente la surface critique de rupture.

Nous allons nous efforcer de montrer le mécanisme qui conduit à la rupture de certaines pentes naturelles. Nous verrons les méthodes de calcul qui permettent d'évaluer si un versant est stable ou non.

Il existe plusieurs méthodes dans la littérature. Elles apparaissent en général trop simples et trop figées ou trop élaborées et de maniement délicat. Ces dernières diffèrent entre elles par les conditions d'équilibre statique utilisées et par les hypothèses admises pour annuler l'indétermination statique du problème.

Le principe de calcul de stabilité des pentes consiste à déterminer le facteur de sécurité **F_s** par lequel il faut diviser la résistance de la surface de glissement pour que la masse potentiellement stable soit à la limite de l'équilibre. Ce facteur peut être décrit de la façon suivante:

$$F_s = \frac{Q_{\max}}{Q}$$

Avec:

Q: cette valeur définit la sollicitation vectorielle ou tensorielle appliquée au massif (force H, force V, moment M).

Q_{max}: valeur maximale de Q.

Le facteur de sécurité pourrait être calculé, pour un paramètre sélectionné, en prenant le ratio de la valeur à la rupture, par la valeur calculée sous les conditions de projet de ce paramètre.

On peut citer plusieurs exemples:

F_w = niveau de l'eau à la rupture / niveau de l'eau initial (ou de projet)

F_L = chargement ultime / chargement appliqué

$F_S(Q) = a_{max}(\text{rupture}) / a_{max}(Q)$; Q : le chargement sismique d'accélération maximale a_{max}

On distingue deux démarches pour le calcul de facteur de sécurité:

1- Dans la première, le glissement a déjà eu lieu, il s'agit d'une valeur de F_s inférieure ou égale à 1, donc:

- soit on connaît la surface exacte et on cherche à déterminer, pour $F_s=1$, les caractéristiques correspondantes.

- soit on a les caractéristiques et on cherche à déterminer la surface de glissement.

2-La deuxième, la plus fréquente, consiste à déterminer la marge de sécurité disponible et adopter les solutions adéquates pour améliorer la sécurité de l'ouvrage en répondant à des exigences en fonction de l'emploi des versant.

IV-2-1-Choix de la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité:

Le facteur de sécurité minimal F_s adopté est assez rarement inférieur à 1.5.

Il peut quelquefois être égal à 2, voire à 2.5 pour des ouvrages dont la stabilité doit être garantie à tout prix (grand risque pour les personnes, site exceptionnel), ou pour des méthodes dont l'incertitude est grande (analyse en contrainte totale avec risque d'erreur sur la valeur de la cohésion drainé C_u).

Pour certains sites peu importants ou pour certains ouvrages courants, et lorsqu'il n'y a pas de risque pour la vie humaine, on peut accepter des valeurs plus faibles pendant un moment très court ou pour des fréquences faible: 1.2 voire 1.1. Mais pour pouvoir se rapprocher ainsi de 1, c'est-à-dire de la rupture, il faut être sûr de la validité des hypothèses et des paramètres adoptés, ce qui est souvent difficile en géotechnique.

Le tableau ci-dessous, nous donne les valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entoure:

Tableau VI-1: état des ouvrages en fonctions des valeurs des facteurs de sécurité.

| FS | Etat de l'ouvrage |
|----------|---|
| <1 | danger |
| 1.0-1.25 | sécurité contestable |
| 1.25-1.4 | sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants sécurité contestable pour les barrages, ou bien quand la rupture serait catastrophique |
| >1.4 | satisfaisante pour les barrages |

La définition des seuils des facteurs de sécurité dépend de l'approche adoptée, des fréquences de sollicitations de l'ouvrage en question et du risque créé par la rupture. En condition normale, Fellenius propose un seuil égale à 1.25, alors que $F_s = 1.5$ pour Bishop (l'approche de Fellenius est plus conservatoire que celui de Bishop).

IV-2-2-METHODES DES ELEMENTS FINIS:

Le choix des hypothèses de calcul et, notamment, d'un modèle de comportement pour chaque sol présent sous l'ouvrage à étudier doit tenir compte des contraintes économiques et de délai de l'étude (durée des calculs, temps passé par les ingénieurs à réaliser l'étude numérique), et aussi des informations disponibles sur les différents aspects du problème. Par ailleurs, une trop grande complexité du modèle numérique peut créer des risques d'erreurs importants et rendre l'exploitation des calculs compliqués à cause du nombre des variables calculées.

La modélisation par éléments finis d'un ouvrage est donc constituée par un ensemble d'hypothèses, toujours simplificatrices, et la mise en œuvre d'une suite de modèles, chacun plus ou moins approché:

- modèle géométrique (maillage, limites entre les couches, discontinuités, etc.).
- modèle de charge (estimation des forces et des pressions, des déplacements imposés, définition du phasage des travaux, conditions aux limites, décomposition en incréments pour la résolution en comportement non linéaire, etc.).
- modèle hydraulique (sol saturé, état initial, écoulement permanent ou transitoire, position de la surface libre, consolidation, etc.).
- modèles de matériaux (élasticité, élastoplasticité, viscoplasticité, etc.);
- modèles de structures (poutres, coques, plaques, élasticité, élastoplasticité, etc.).
- modèles d'interaction sol-structures (lois d'interface, modules de réaction, etc.).

Ces hypothèses ne sont pas fondamentalement différentes de celles de toutes les études géotechniques, mais la complexité plus grande des modèles de calcul oblige à fixer plus de conditions et à déterminer plus de paramètres que dans les calculs courants.

IV-3-Présentation de l'outil numérique utilisé (Présentation du code PLAXIS):

IV-3-1-Généralités:

Dans sa version originale, le code de calcul par éléments finis PLAXIS traite la stabilité des digues en terre. Dans sa version actuelle, il permet de traiter différents types de problèmes géotechniques (fondations, tunnels, ouvrages de soutènement, etc.), les calculs s'effectuant en déformations planes (Analyse bidimensionnelle ou Analyse 2D) ou en déformations axisymétriques (Analyse tridimensionnelle ou Analyse 3D).

L'algorithme général de résolution des équations non linéaires du code PLAXIS s'effectue selon un processus itératif permettant de déterminer à chaque pas de temps de calcul les champs de déplacements, de vitesses et d'accélération correspondantes aux chargements appliqués; l'équilibre résultant rapidement.

Les modèles de calcul implémentés dans le code PLAXIS couvrent pratiquement l'ensemble des aspects théoriques et expérimentaux du comportement des sols courants (élasticité linéaire de Hooke, pour simuler le comportement des structures rigides massives placées dans le sol; plasticité parfaite isotrope de type Mohr-Coulomb pour simuler le comportement de la plus part des sols fins; élastoplasticité de type hyperbolique avec écrouissage en cisaillement pour simuler le comportement des sables et des graves, mais aussi des argiles et des limons; élastoplasticité de type Cam Clay pour simuler le comportement des argiles molles normalement consolidées; viscoplasticité pour simuler le comportement des sols mous en fonction du temps (fluage et consolidation).

IV-3-2-Calcul du coefficient de sécurité avec plaxis:

La méthode de diminution des propriétés mécaniques des matériaux (méthode "φ- c réduit") permet de calculer des coefficients de sécurité. Cette méthode très approximative, utilisée dans l'étude de stabilité des pentes se base essentiellement sur le concept d'équilibre limite où ce dernier est étudié le long d'un cercle de glissement potentiel supposé.

Dans cette approche, les caractéristiques $\tan\phi$ et c du sol sont réduites progressivement jusqu'à l'obtention de la rupture. Le coefficient M_{sf} permet de définir la valeur des caractéristiques du sol à une étape donnée de l'analyse:

$$M_{sf} = \frac{\tan\phi \text{ donnée}}{\tan\phi \text{ réduit}} = \frac{c \text{ donnée}}{c \text{ réduite}}$$

où les caractéristiques notées "donnée" font référence aux valeurs initiales des propriétés des matériaux et les caractéristiques notées "réduit" se rapportent aux valeurs réduites utilisées au cours de l'analyse. Contrairement aux autres coefficients, M_{sf} vaut 1.0 au début d'un calcul pour utiliser les valeurs non réduites des caractéristiques des matériaux.

Le coefficient de sécurité global est déterminé comme suit:

$$F_s = \frac{\text{résistance disponible}}{\text{résistance à la repture}} = \text{valeur de } M_{sf} \text{ à la rupture. (manuel de plaxis).}$$

IV-4-Présentation du model géométrique de la zone d'étude:

La vue aérienne représentée sur la figure IV-1 fournit une localisation des mouvements gravitaires actifs ou des terrains potentiellement instables.



Figure IV-1: vue aérienne des trois sites affectés par l'instabilité de terrain à Tizirt (source: Google Earth).

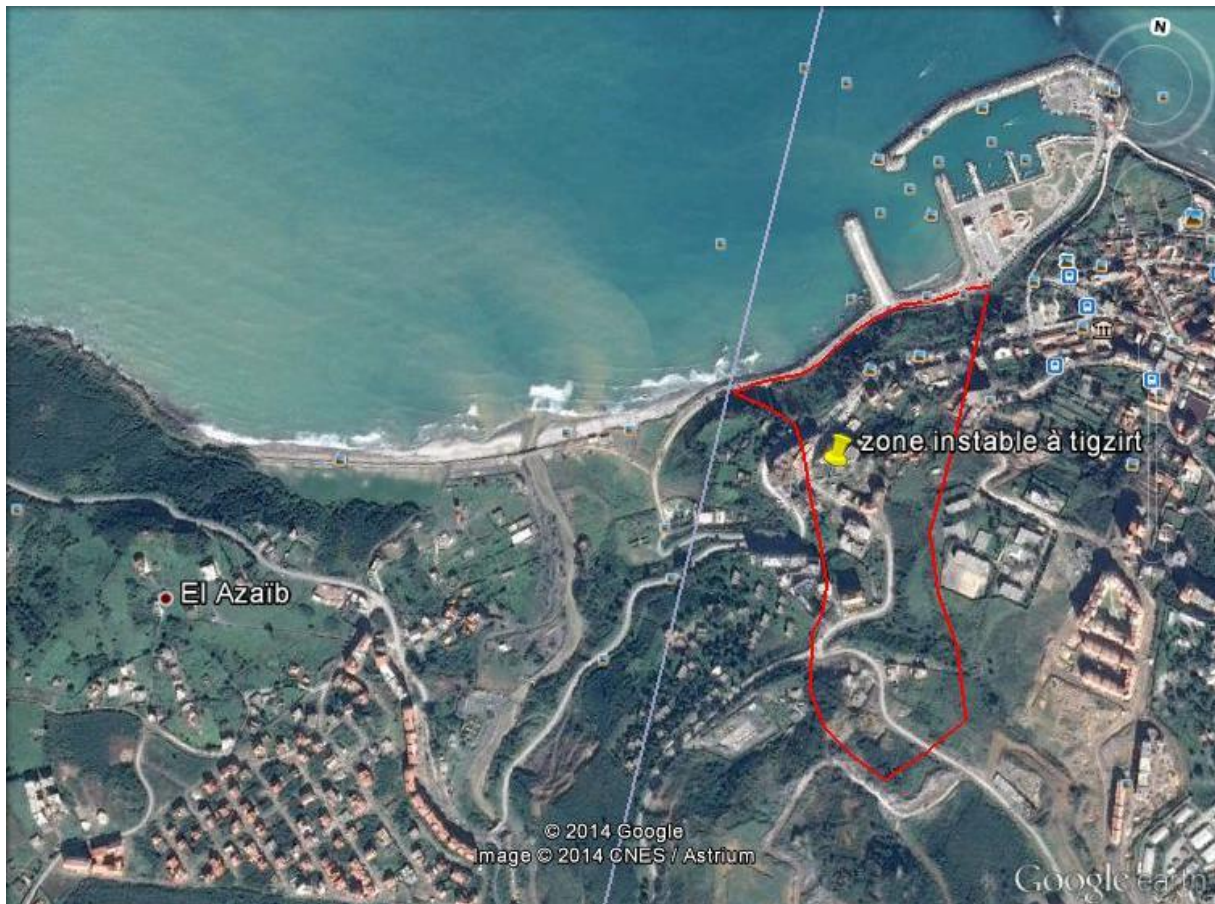
Trois secteurs sont touchés par des glissements actifs de nature et d'ampleurs très différentes. Les trois sites localisés sur la figure IV-1, représentent les endroits les plus réponsus au phénomène d'instabilité du terrain.

01: c'est le secteur ouest qui correspond à notre étude.

02: c'est le secteur central.

03: c'est le secteur est.

La figure IV-2 représente une vue aérienne de secteur ouest; qui ferra l'objet de notre étude.



FigureIV-2: Localisation du site d'étude (vue aérienne réalisée par Google Earth).

Une coupe transversale a été réalisée par GOOGLE Earth dont la topographie du site comporte une pente moyenne assez faible d'environ 13% (figureIV-3).

Nous avons fait appel à autocad pour la construction d'un modèle géométrique de ce site d'étude.



Figure IV-3: profil topographique du site d'étude (réalisé sur Google Earth).

Nous avons fait appel à Autocad pour la construction d'un modèle géométrique de ce site d'étude.

Les différents sondages réalisés (S6 et S7) sur la zone ouest de la ville de Tizirt nous ont permis de représenter les différentes couches constituant le sol du versant que nous souhaitons analyser.

Le plan d'implantation de ces sondages a été illustré sur la figure IV-4.

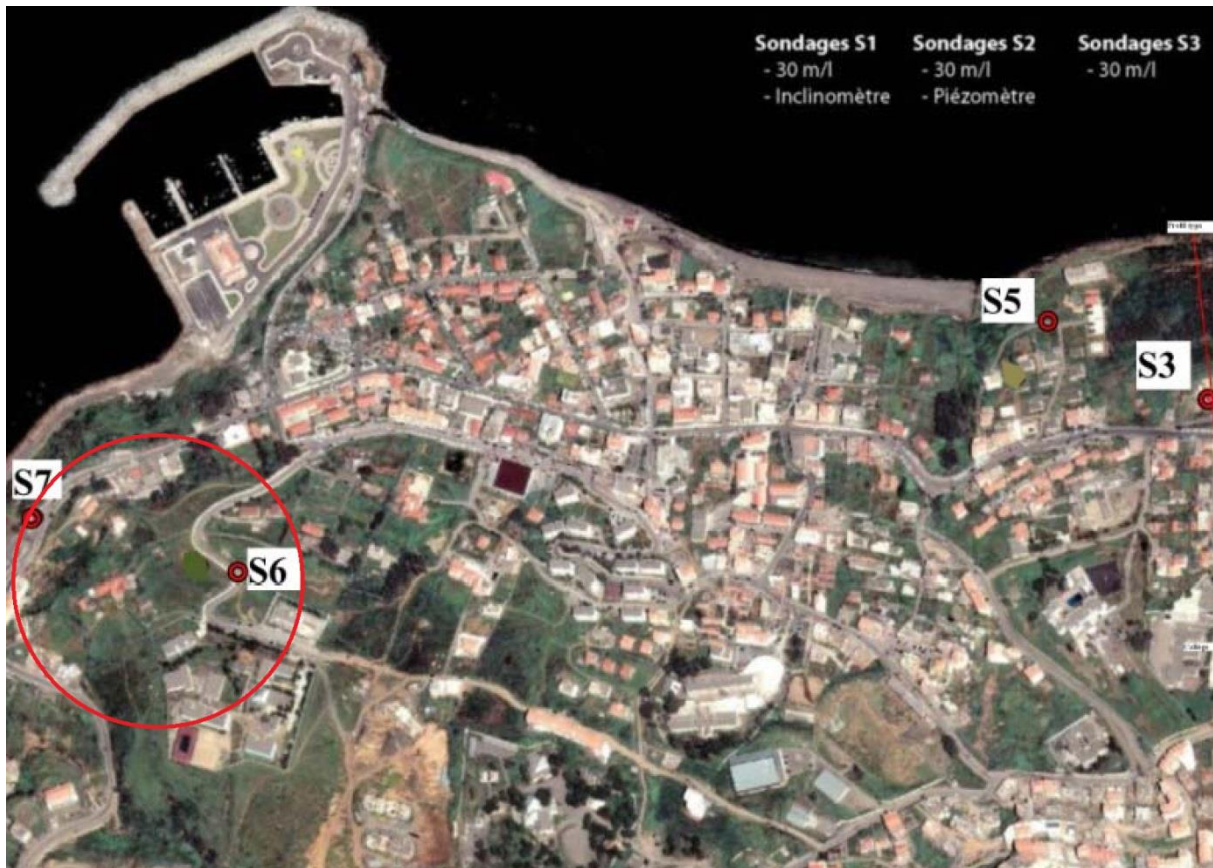


Figure IV-4: localisation des sondages réalisés à la sortie Ouest de la ville de Tizirt (S6 et S7) source Google Earth.

Deux (02) sondages carottés ont été réalisés dans le site d'étude:
+ Sondage carotté (Sc 06):

00.00 - 04.20 m: Remblais.

04,20-11.00 m: Eboulis-Colluvions.

11.00 - 13.00 m: Marnes altérées et remaniées.

13.00 - 30.00m: Marnes schisteuses peu consistantes.

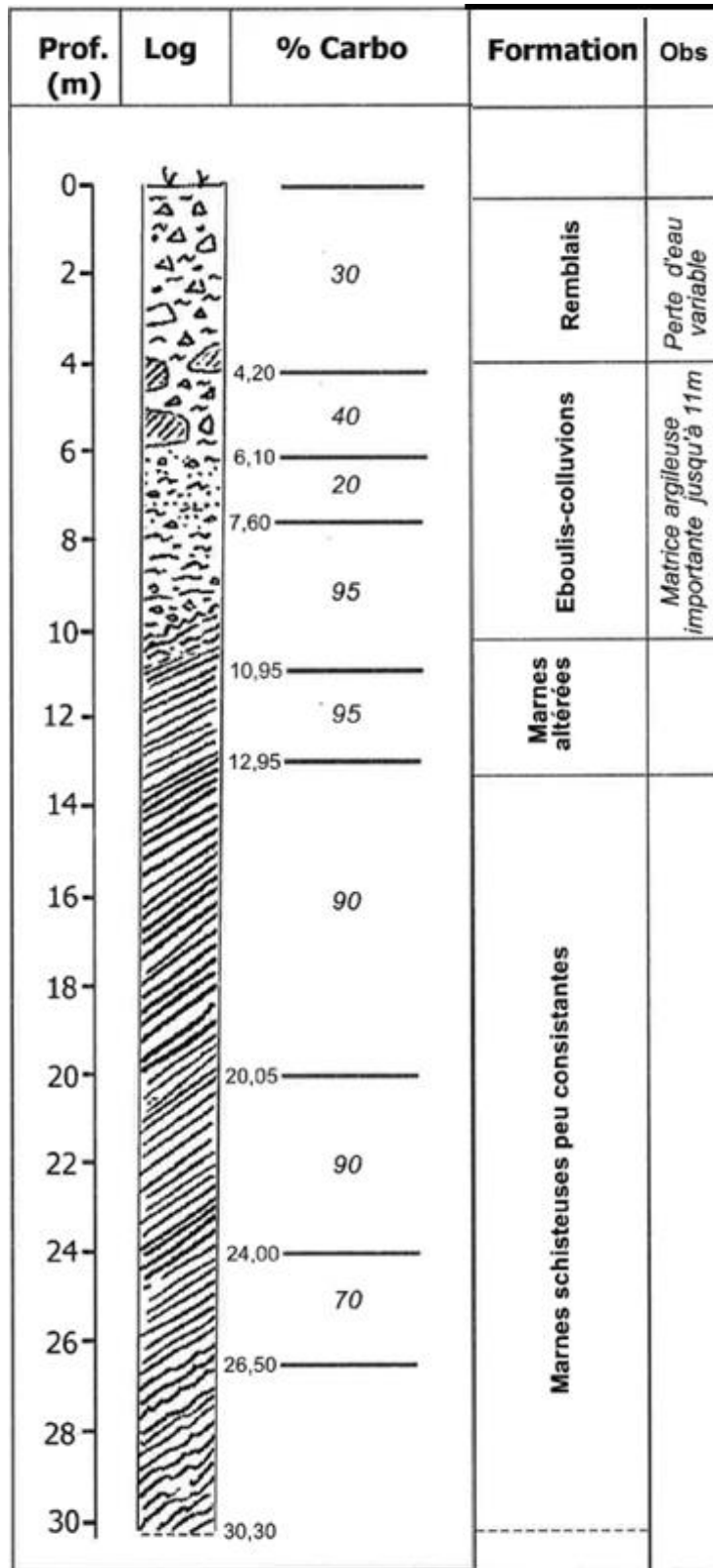


Figure IV-5: coupe de sondage Sc06.

+ Sondage carotté (Sc 07):

00.00 – 04.80 m: Pierres émoussées dans une matrice terreuse argileuse.

04.80 – 11.80 m: Eboulis –Colluvions.

11.80 – 15.40 m: Passage à une marne schisteuse très friable.

15.40 – 30.00 m: Marnes Compacte.

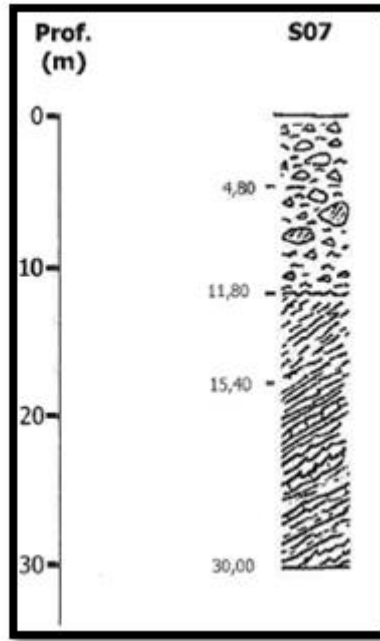


Figure IV-6: coupe de sondage Sc07.

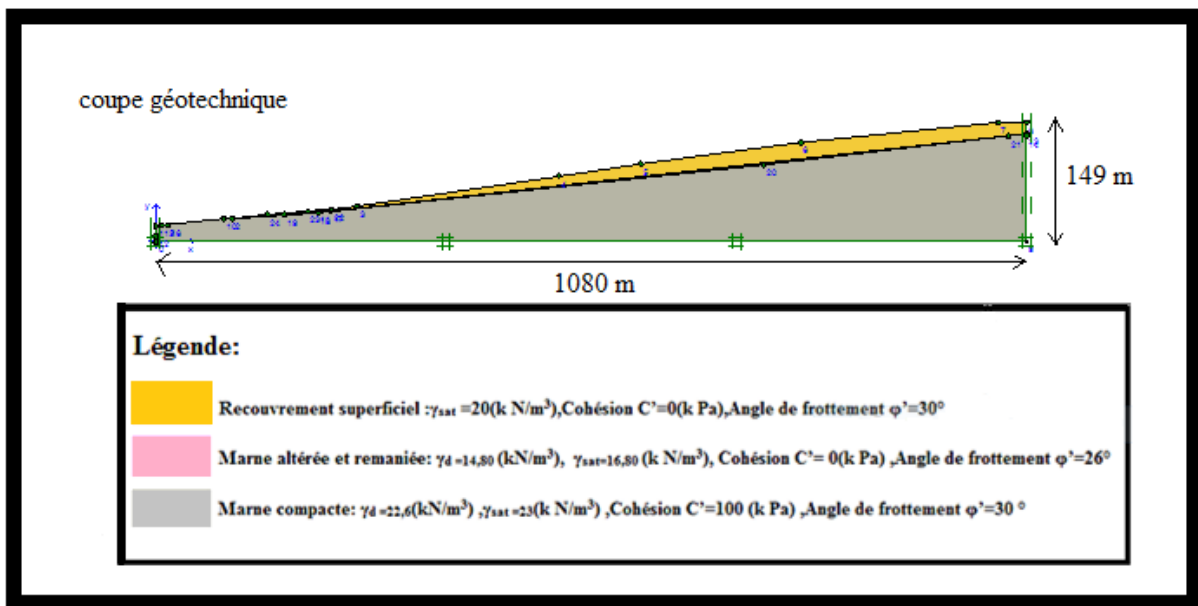


Figure IV-7: la coupe géotechnique adoptée pour le site d'étude. (Réalisée sur Autocad et appelée sur plaxis).

Le tableau IV-2 regroupe les caractéristiques des différentes couches du terrain:

Tableau IV-2: Récapitulatif des propriétés géotechniques (mécaniques) des matériaux qui composent le sol du versant de Tizirt.

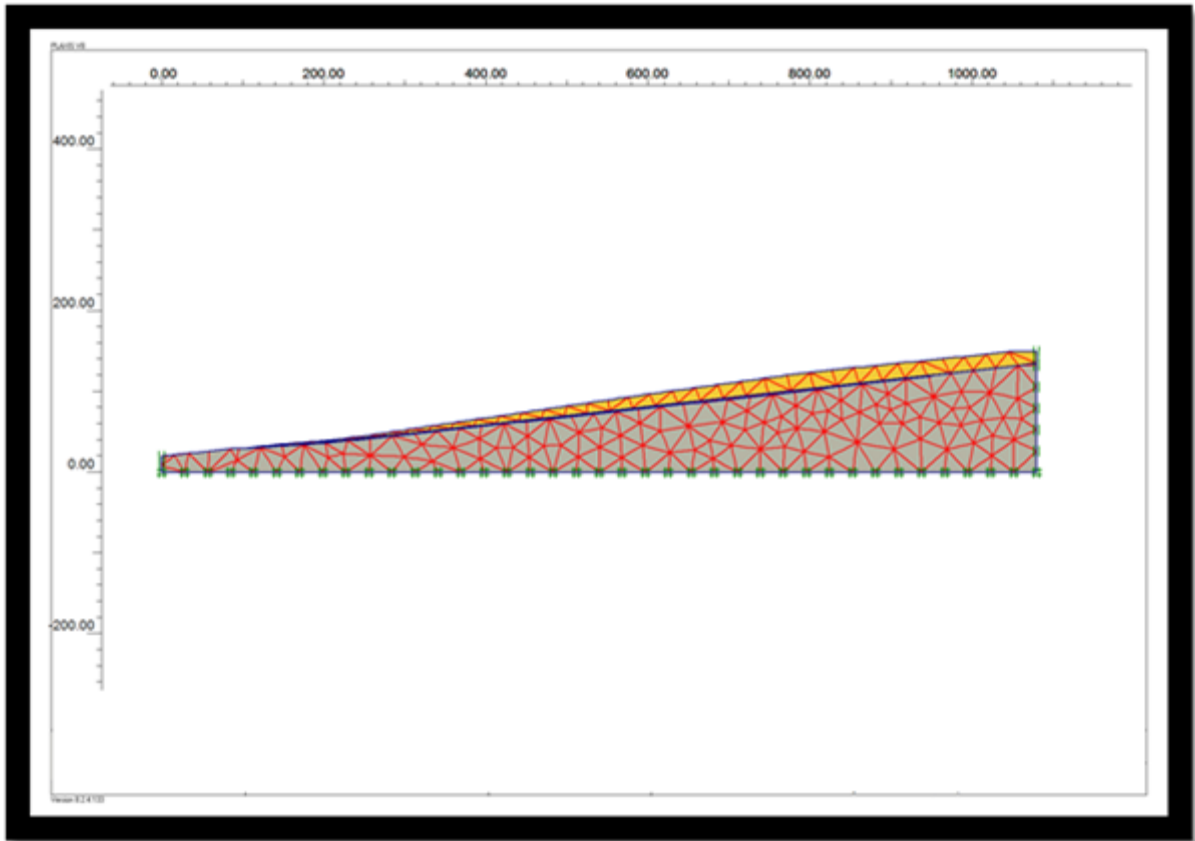
| Propriété Matériau | Poids volumique sec γ_d (kN/m ³) | Poids volumique saturé γ_{sat} (k N/m ³) | Cohésion C' (k Pa) | Angle de frottement ϕ' (°) | Module de Young E (MPa) | Coefficient de Poisson ν |
|------------------------------|--|--|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Recouvrement superficiel | 17.30 | 20 | 0 | 30 | 800 | 0.33 |
| Marne altérée et remaniée | 14.80 | 16.80 | 0 | 26 | 200 | 0.30 |
| Marne compacte | 22.6 | 23 | 100 | 30 | 1700 | 0.30 |

- **Génération du Maillage:**

Lorsqu'un modèle géométrique est entièrement défini et que les propriétés des matériaux sont assignées à toutes les couches et à tous les éléments de structure, la géométrie doit être divisée en éléments finis afin de réaliser le calcul par éléments finis.

L'élément fondamental utilisé dans notre modèle est l'élément triangulaire à 15 nœuds, il fournit l'interpolation d'ordre deux et l'intégration numérique se fait sur trois points de Gauss. Le triangle à 6 nœuds est un élément relativement précis donnant de bons résultats pour les analyses standards en déformations, à condition d'utiliser un nombre suffisant d'éléments.

Le maillage utilisé pour les calculs est présenté sur la figure VI-8, il est constitué de 659 éléments, il est réalisé en élément fini à 15 nœuds, chargé par le poids propre de sol (pression interstitielle comprise).



FigureIV-8: Géométrie, maillage et conditions aux limites cinématiques.

Les conditions aux limites imposées sont définies par des déplacements horizontaux bloqués et des déplacements verticaux libre sur les bords latéraux, et par des déplacements verticaux et horizontaux bloqués à la base du modèle numérique.

Pour les conditions hydrauliques, le niveau de la nappe phréatique est variée pour chaque cas de calcul.

- **CALCUL DE COEFFICIENT DE SECURITE:**

L'analyse de la stabilité avec le logiciel Plaxis a permis de calculer le coefficient de sécurité à partir de la méthode de réduction des paramètres de résistance au cisaillement du sol. Dans cette approche, les caractéristiques de résistance du sol sont réduites progressivement jusqu'à l'obtention de la rupture (l'instabilité de pente). La formule donnant le coefficient de sécurité s'écrit alors:

$$F_s = \frac{(\tan \varphi)_{\text{real}}}{(\tan \varphi)_{\text{failure}}} = \frac{C_{\text{real}}}{C_{\text{failur}}}$$

Ces caractéristiques sont réduites progressivement jusqu'à l'apparition de la rupture.

Quatre combinaisons ont été envisagées pour le calcul:

- ❖ Un premier calcul (cas N°01), qui fera l'objet d'un calcul à sec, ou on prend le versant à son état sec afin d'estimer les actions des eaux sur le sol.
- ❖ Un second calcul (cas N°02), concerne le model ou le niveau d'eau est supposé atteindre le terrain naturel (versant entièrement saturé) pour simuler les infiltrations et les fuites d'eau en surface.
- ❖ Un troisième calcul (cas N°03), concerne le model ou le niveau d'eau est rabattu de 2 m du niveau de terrain naturel.
- ❖ Un quatrième calcul (cas N°04), dans lequel l'effet combinés des eaux et des surcharges est considéré.

IV-5-résultats de calculs:

Cas 01:

Le modèle géométrique est représenté sur la figure IV-9. Dans ce cas de calcul le versant est soumis uniquement à l'action de son poids propre ou bien en état sec (calcul à sec).

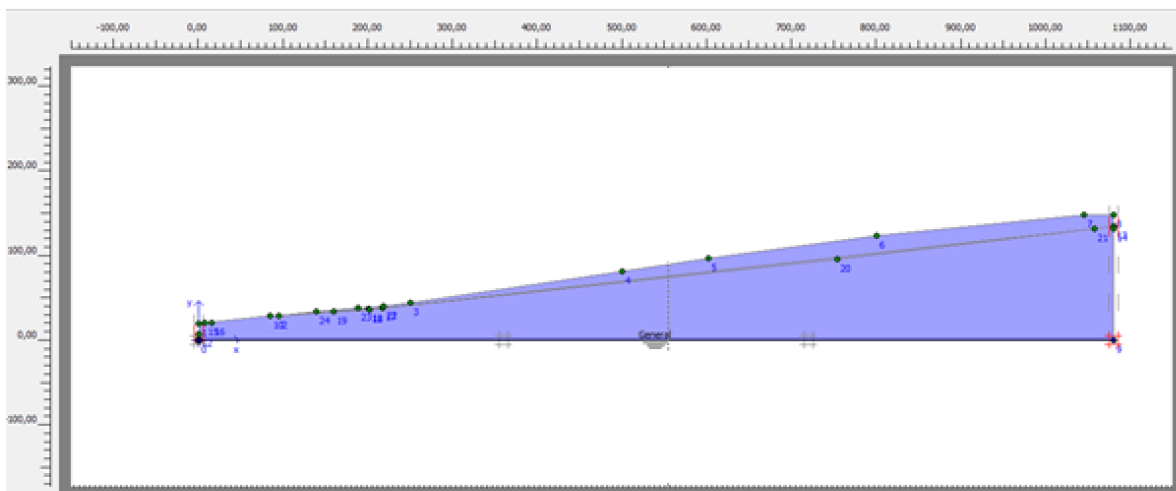


Figure IV-9: Le modèle géométrique de référence pour le calcul à sec.

Le degré de saturation pour ce cas de calcul est nul, la figure IV-10 représente le maillage déformé du model plaxis, les déductions tirées à travers l'analyse de la figure montrent que ce cas de calcul est suivit par la stabilité du versants, avec des déplacements totaux presque nuls qui peuvent être ignorés.

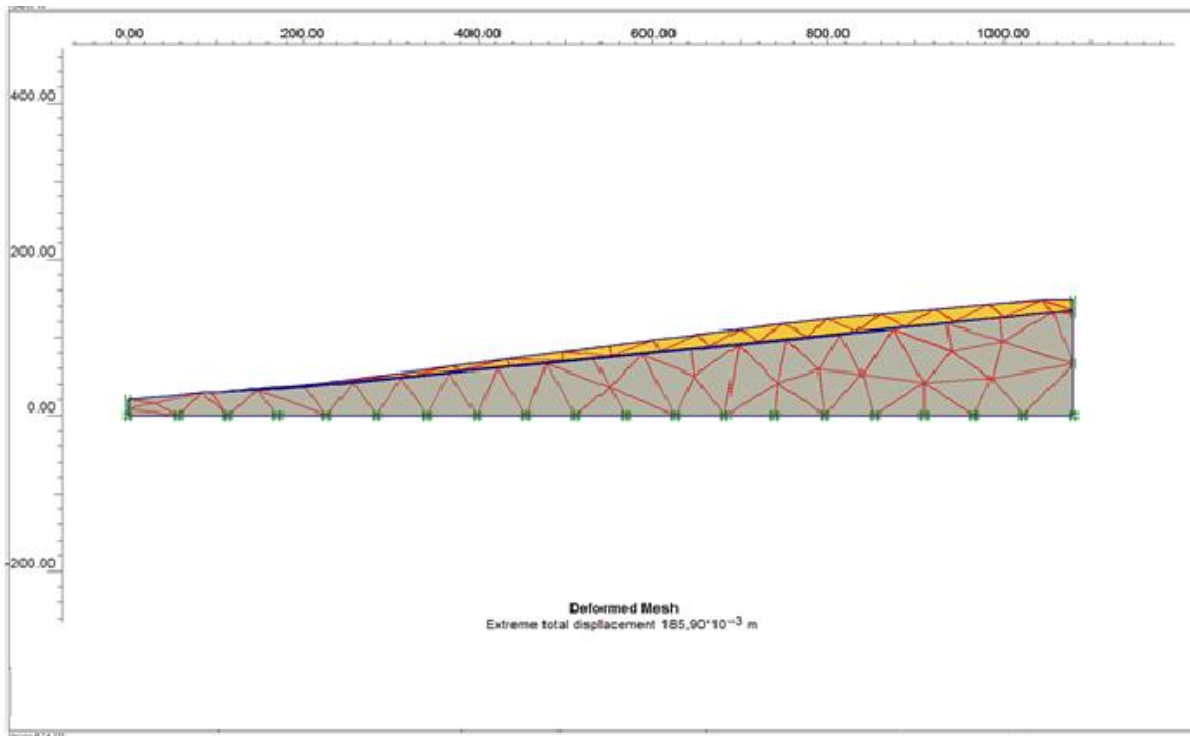


Figure IV-10: le maillage déformé de model plaxis (cas de calcul à sec).

La IV-11 représente les déplacements verticaux engendrés pour ce cas de calcul avec des tassements très faible d'ordre millimétriques (25 mm) qui peuvent être ne pas pris en considération.

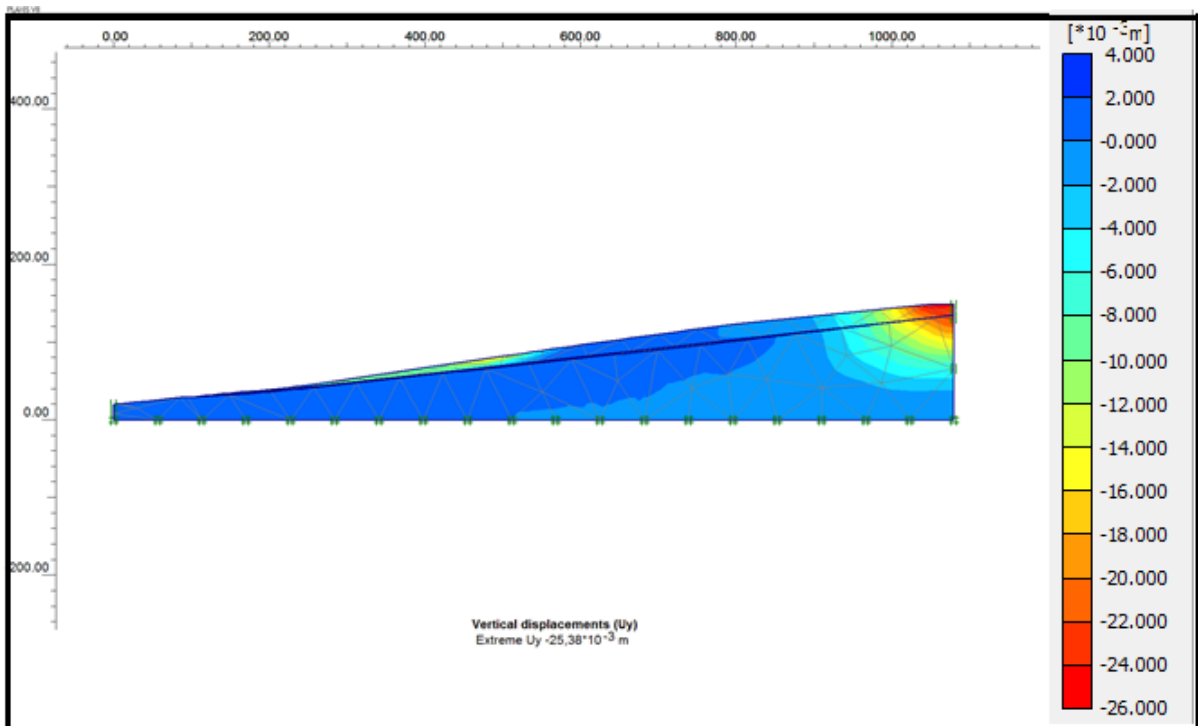


Figure IV-11: les déplacements verticaux (calcul à sec).

Le résultat de calcul de facteur de sécurité enregistré à la fin de calcul pour ce cas est mentionné sur la figure IV-12, avec une valeur de 2,486.

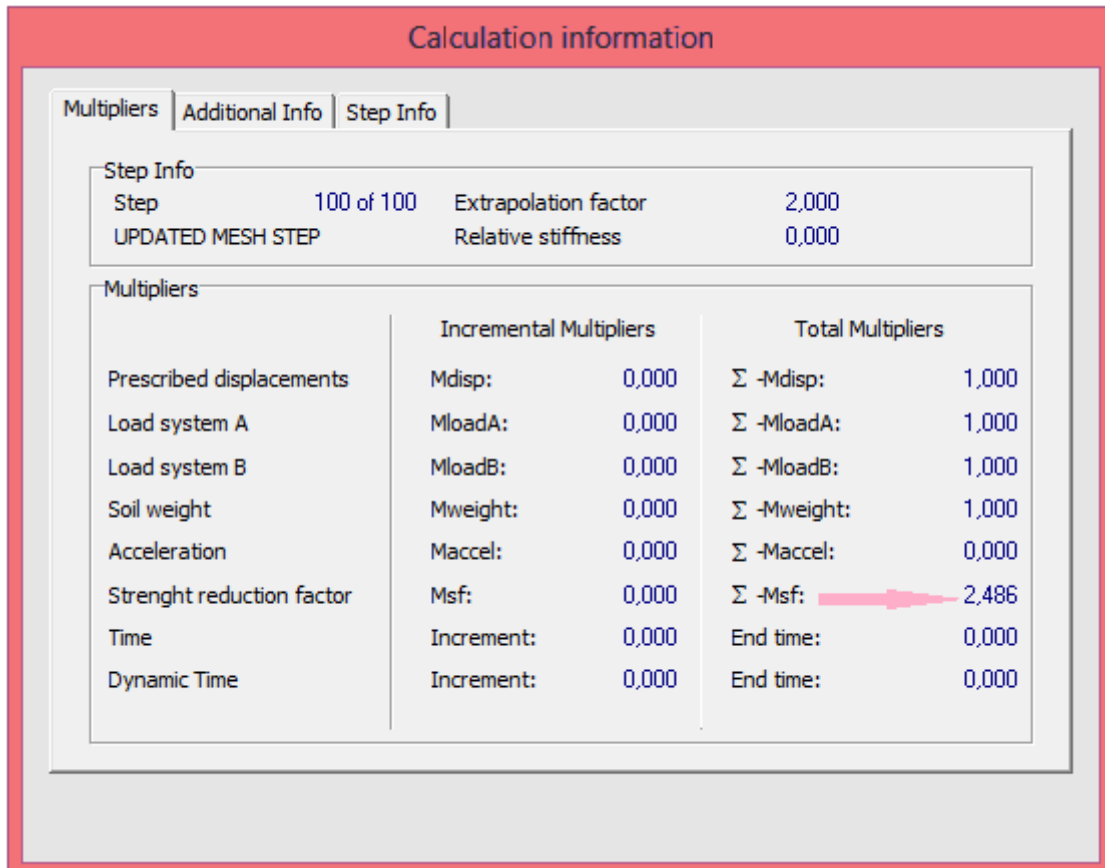
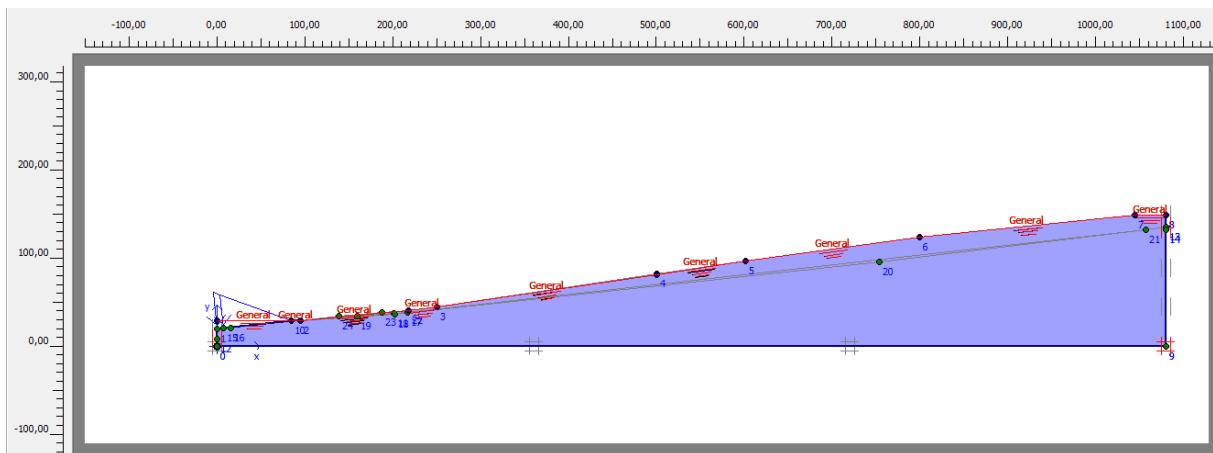


Figure IV-12: résultat de facteur de sécurité.

Cas N°02:

Le niveau d'eau est supposé atteindre le niveau de terrain naturel (saturation du versant en eau), figure (IV-13).



FigureIV-13: profil géotechnique avec présence de nappe phréatique en surface libre du profil.

Les pressions interstitielles engendrées par la présence d'eau dans la pente sont illustrées sur la figure IV-14.

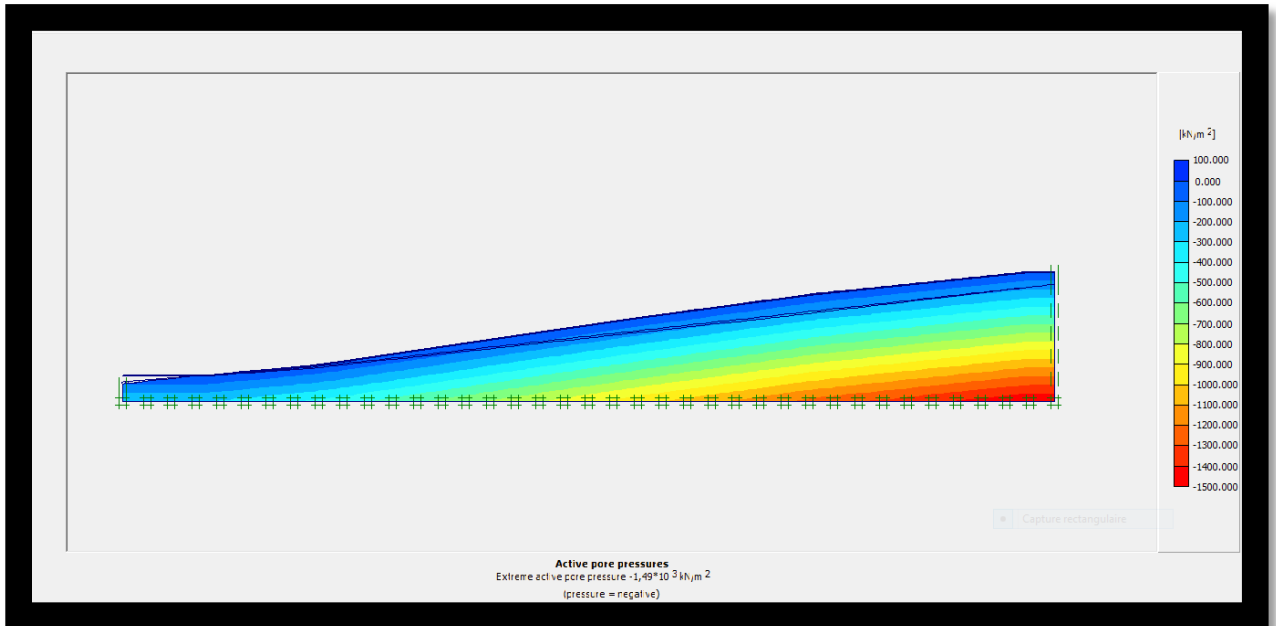


Figure IV-14: Les pressions interstitielles.

Pour ce cas de calcul le versant a été complètement saturé en eau; la figure IV-15 nous montre le degré de saturation en eau dans le profil.

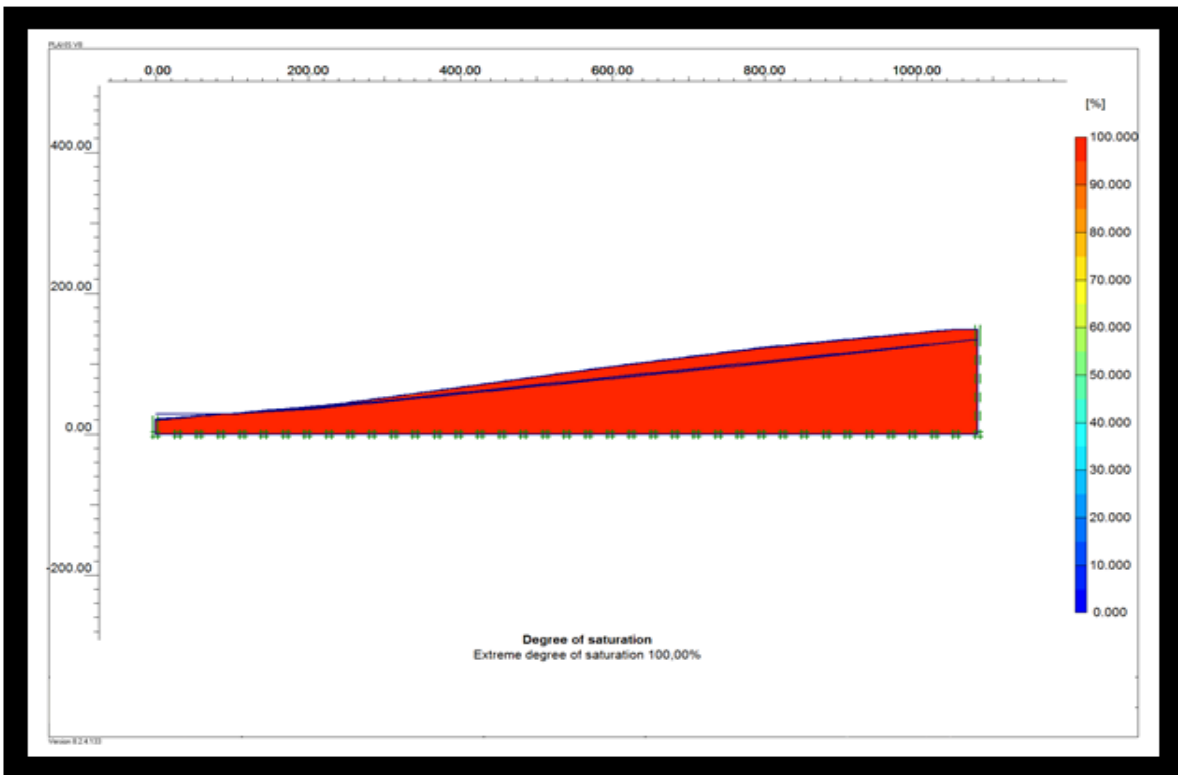


Figure IV-15: degré de saturation en eau dans le profil.

Les principaux résultats de ce cas de calcul sont les déplacements aux nœuds et les points de contraintes.

Le maillage déformé de notre modèle est présenté sur la figure IV-16. Cette déformation est due seulement au poids propre de terrain (ainsi que les pressions interstitielles), à travers cette figure on déduira que la rupture est de forme plane.

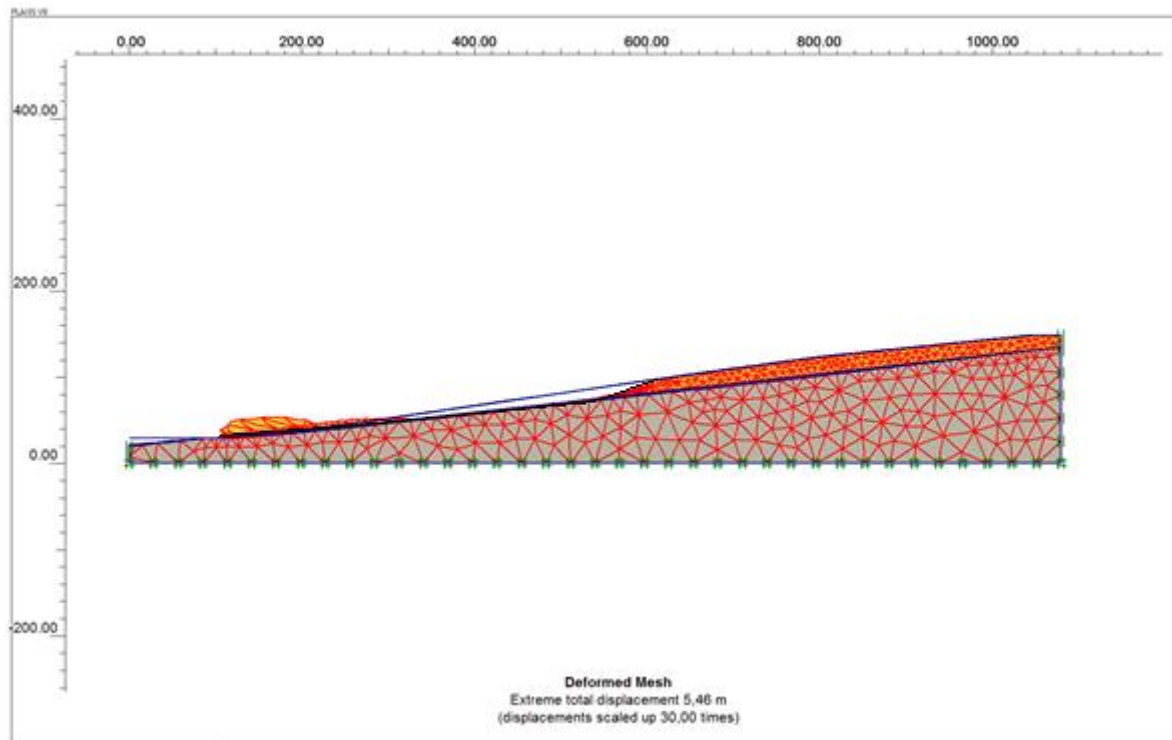


Figure IV-16: Maillage déformée du modèle Plaxis.

La figure IV-17 indique la distribution des déplacements totaux avec une valeur maximale de 5.46m, ces déplacements diminuent en fonction de profondeur jusqu'à une valeur nulle à la base du versant. Cette distribution de déplacements donne une idée sur la masse du sol en mouvement et celle stable.

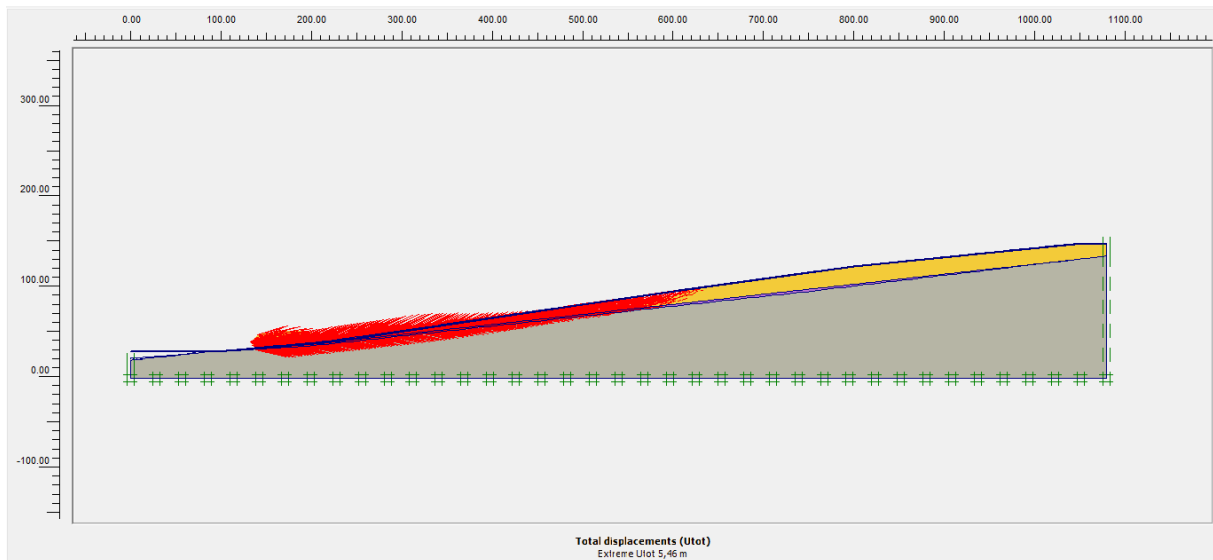


Figure IV-17: les déplacements totaux.

A travers la figure IV-18; nous déduisons que les déplacements verticaux dans le versant sont de l'ordre de $919,92 \times 10^{-3}$ m.

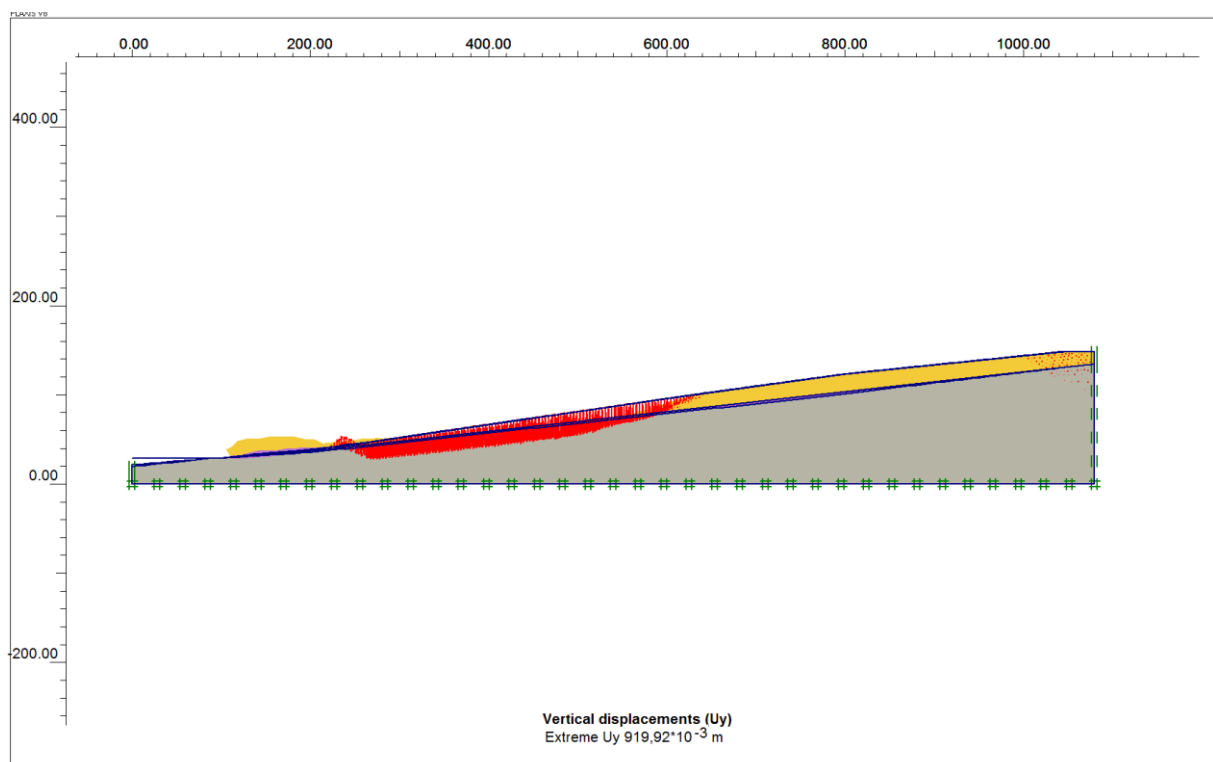


Figure IV-18: Déplacements verticaux du modèle Plaxis.

La figure IV-19 nous renseigne sur la plasticité du site étudié, et à partir de cette figure nous allons déduire les points plastiques du site qui se concentrent au niveaux de le première et de la deuxième couche de sol.

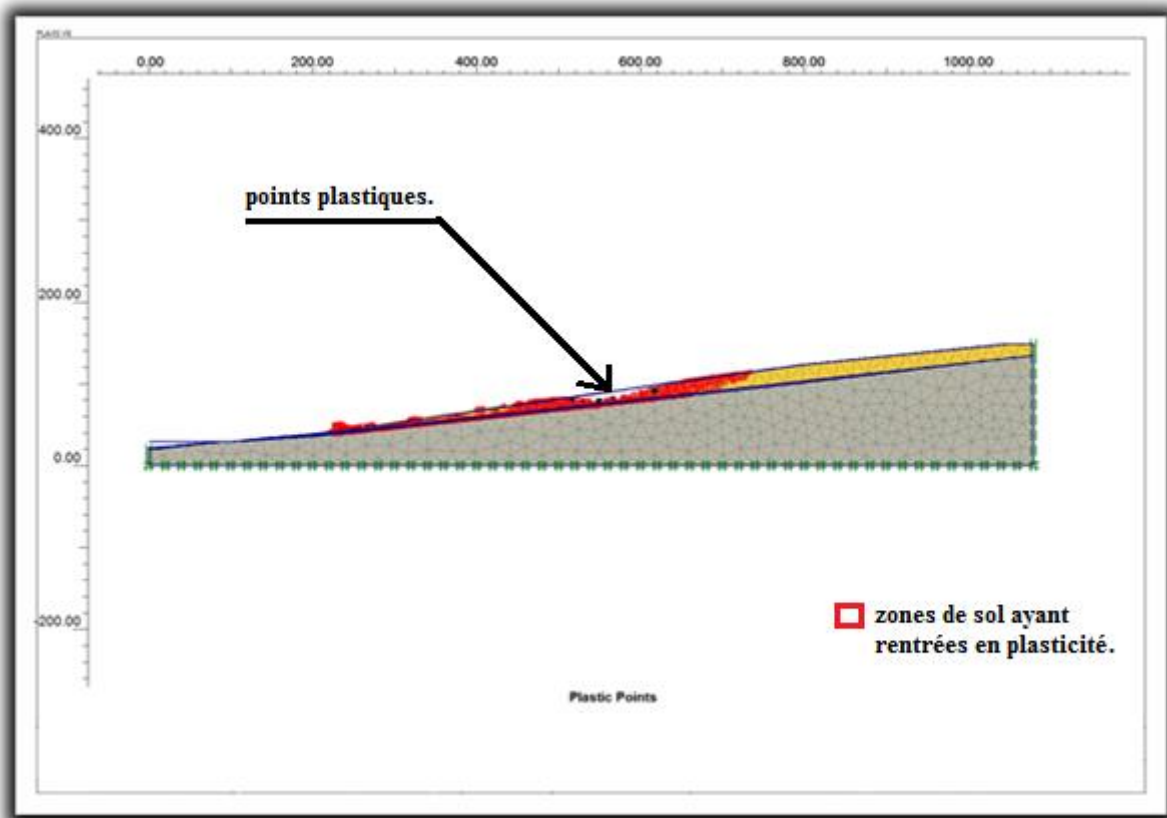


Figure IV-19: Indicateurs de plasticités du modèle Plaxis.

Le résultat de calcul de facteur de sécurité pour ce 2^{ème} cas est illustré sur la figure IV-20.

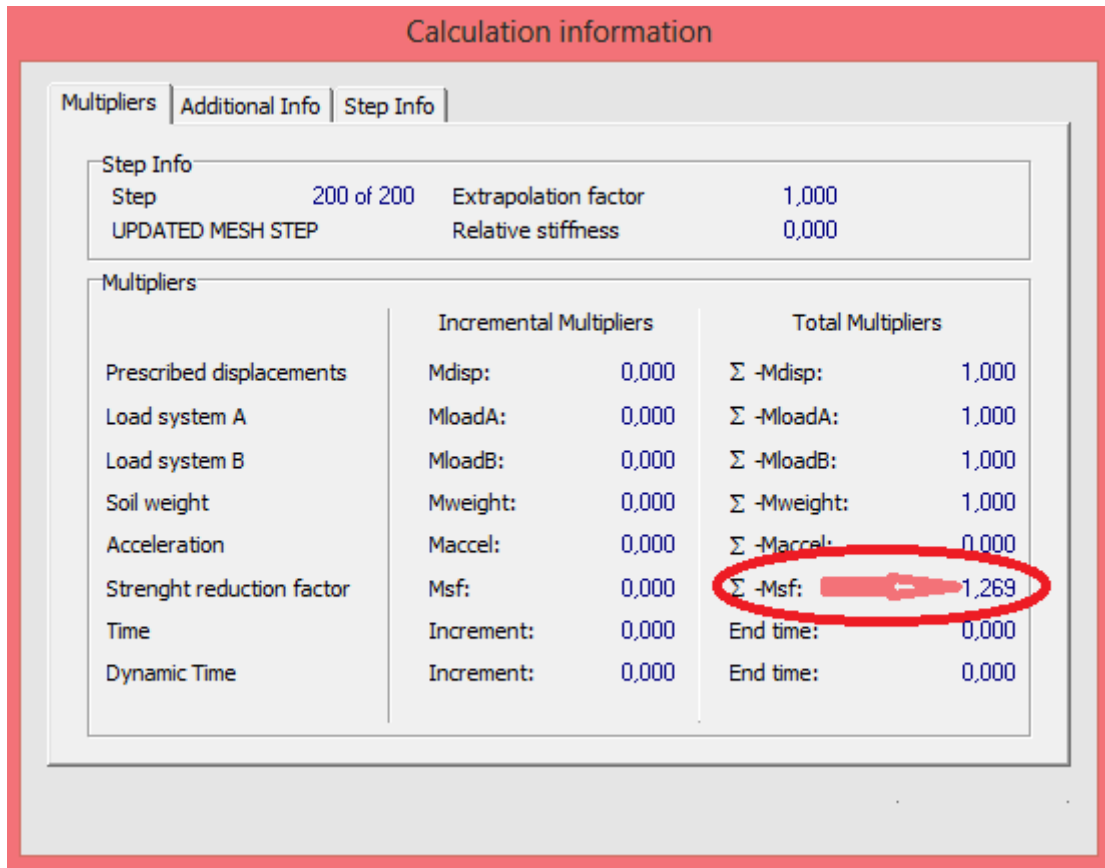
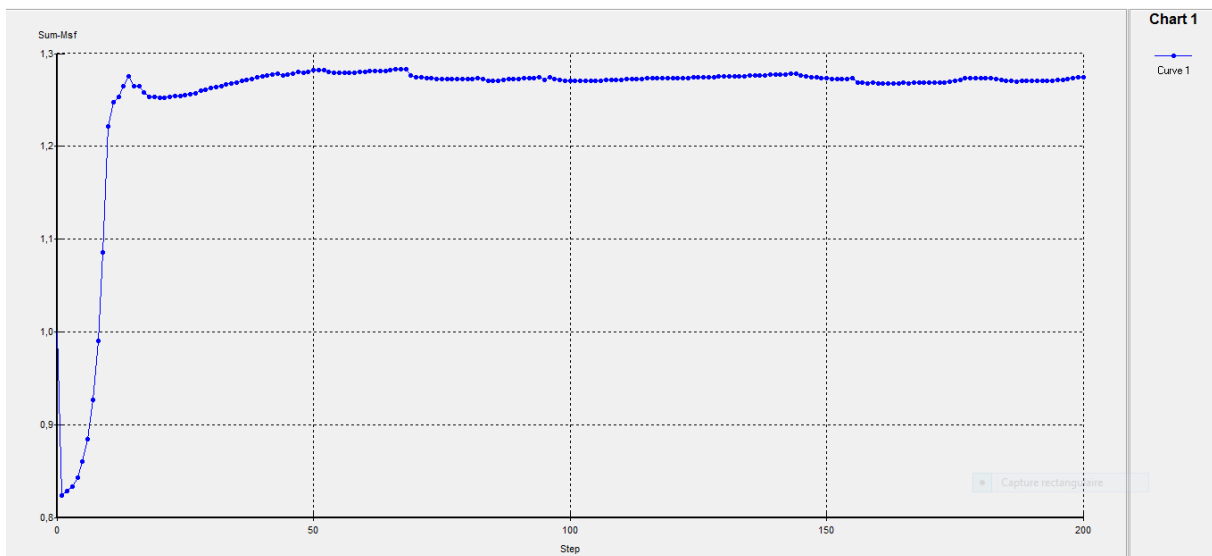


Figure IV-20: facteur de sécurité enregistré à la rupture (pour le 2^{ème} cas).

La courbe IV-21 représente l'évolution des facteurs de sécurités en fonction des pas de calcul, le facteur de sécurité enregistré à la rupture est de 1,269.



Courbe IV-21: évolution du facteur de sécurité en fonction des pas de calcul.

Cas n°3:

Le profil considéré pour ce calcul est représenté sur la figure IV-22; dont le niveau d'eau est supposé rabattu de 2m du niveau du terrain naturel.

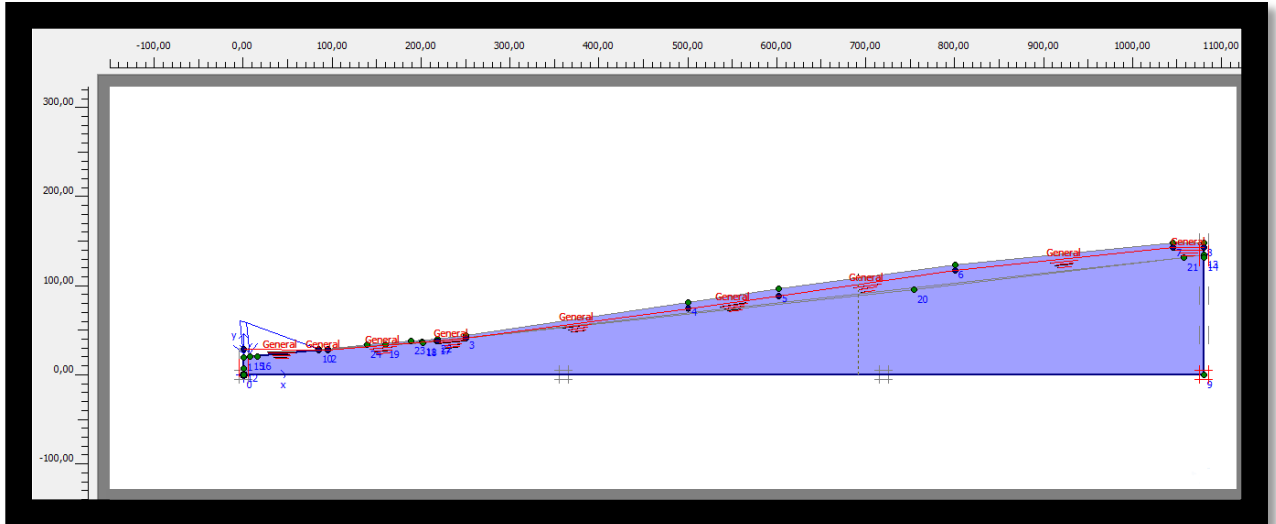


Figure IV-22: profil géotechnique avec rabattement de niveau de la nappe phréatique.

La figure IV-23 illustre le maillage déformé de model plaxis.

L'analyse du maillage déformé, nous a permet de conclure que la rupture s'est produise au niveau de la couche marneuse altérée, et de forme plane.

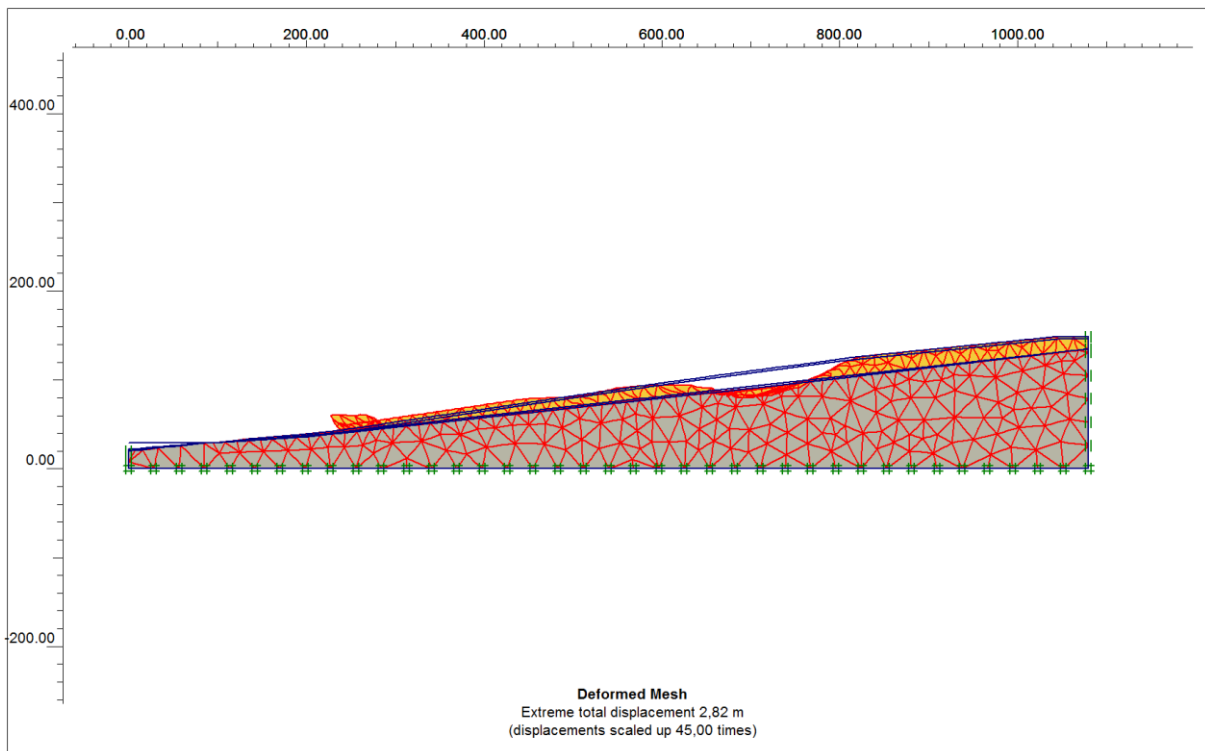


Figure IV-23: le maillage déformé de model plaxis (rabattement de niveau de la nappe phréatique).

Les déplacements totaux enregistrés pour ce calcul ont été mentionné sur la figure IV-25, les déplacements totaux ont diminué de 5,46m à 2,82 m.

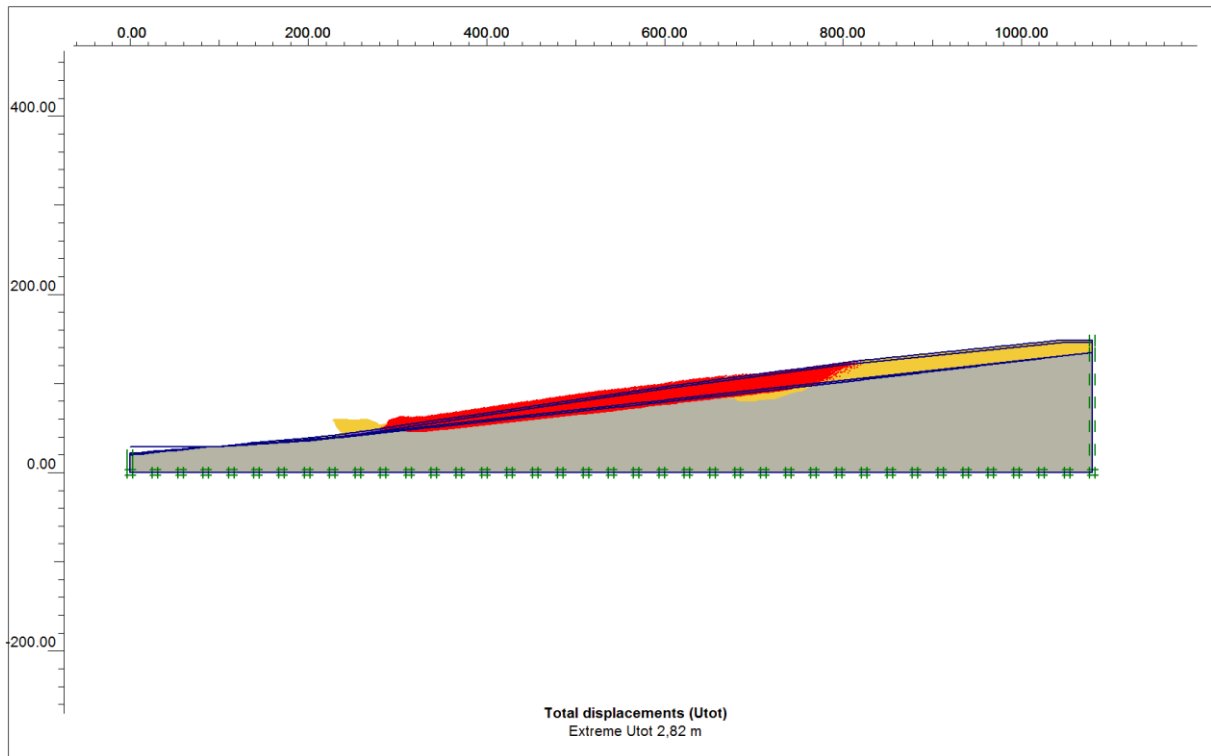
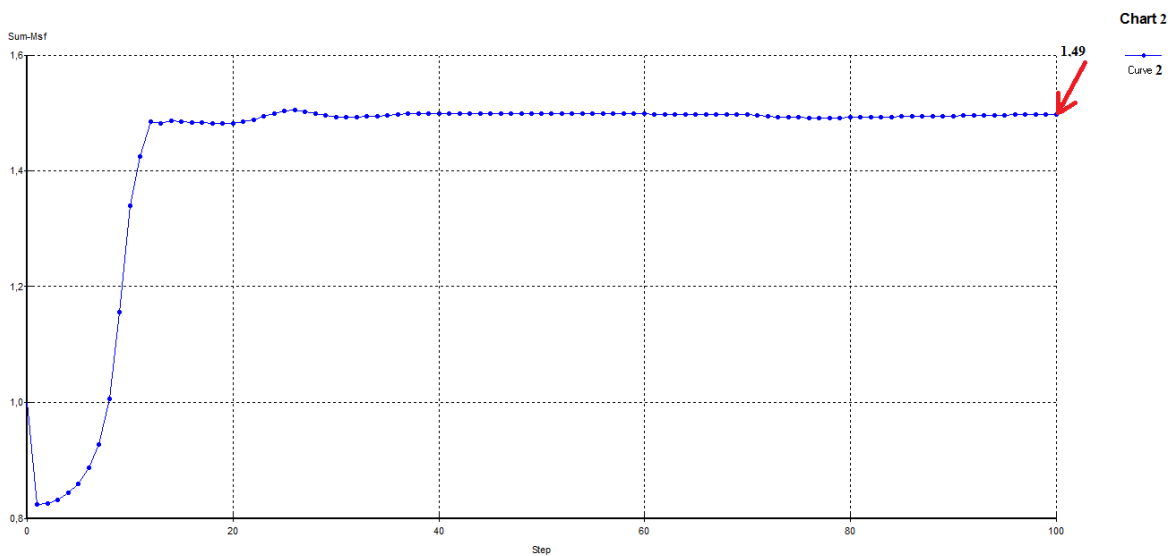


Figure IV-24: les déplacements totaux enregistrés après un rabattement de niveau de la nappe phréatique.

Le facteur de sécurité enregistré pour ce cas de calcul est de 1,49, la courbe IV-25 représente l'évolution de facteur de sécurité en fonction des pas de calcul.



Courbe IV-25: évolution du facteur de sécurité en fonction des pas de calcul (cas de calcul n°3)

A partir de l'analyse des deux courbes courbe IV-21 et IV-25; nous constatons une importante augmentation de la valeur de coefficient de facteur de sécurité de 1.26 à 1.49, ce qui se traduit par la récupération du sol de sa résistance.

Cas n°4: combinaison des effets des eaux et des surcharges:

Le niveau d'eau est supposé atteindre le niveau de terrain naturel (saturation du versant en eau), avec la présence des surcharges uniformément réparties le long de profil, ces surcharges se réfèrent aux différentes constructions existant sur le site figure (IV-26).

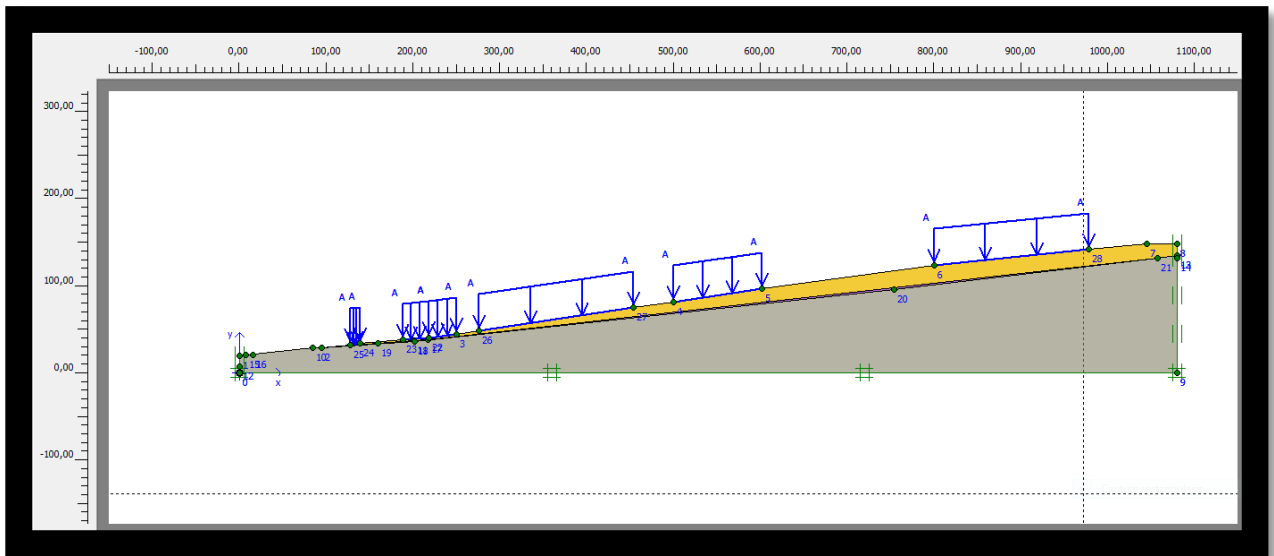


Figure IV-26: modèle géométrique présence de nappe phréatique avec les surcharges.

Les surcharges ont été considérées permanentes, et leurs intensités sont prises pour une valeur de 15 KN/m^2 ce qui est convenable pour notre étude, l'implantation des surcharges est semblable à ce qui est réellement existant sur le site.

Les principaux résultats remarquables pour ce modèle sont représentés sur les figures qui se suivent, la figure IV-27 nous décrit la morphologie du glissement étudié qui est de type plan.

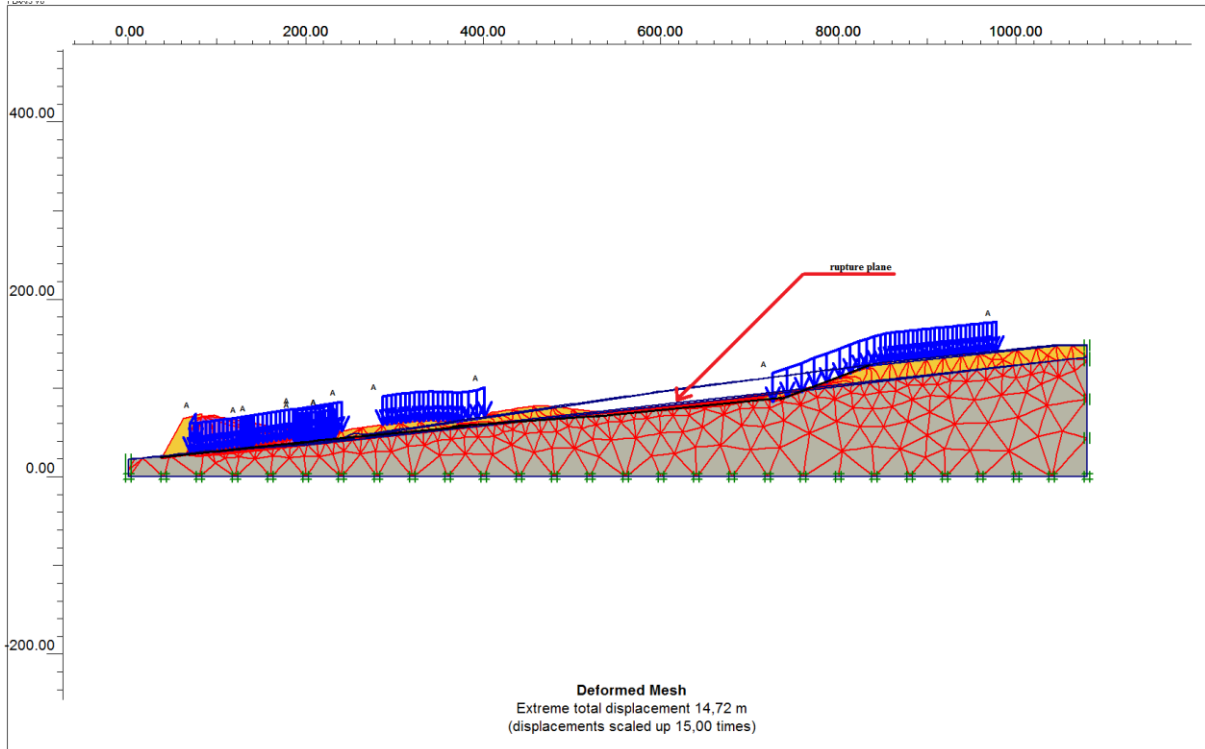


Figure IV-27: le maillage déformé de model plaxis (nappe avec surcharge)
 Les déplacements horizontaux enregistrés pour ce modèle de calcul ont été remarquablement mentionnés sur figure IV-28 avec des basculement de 14,63 m de sol.

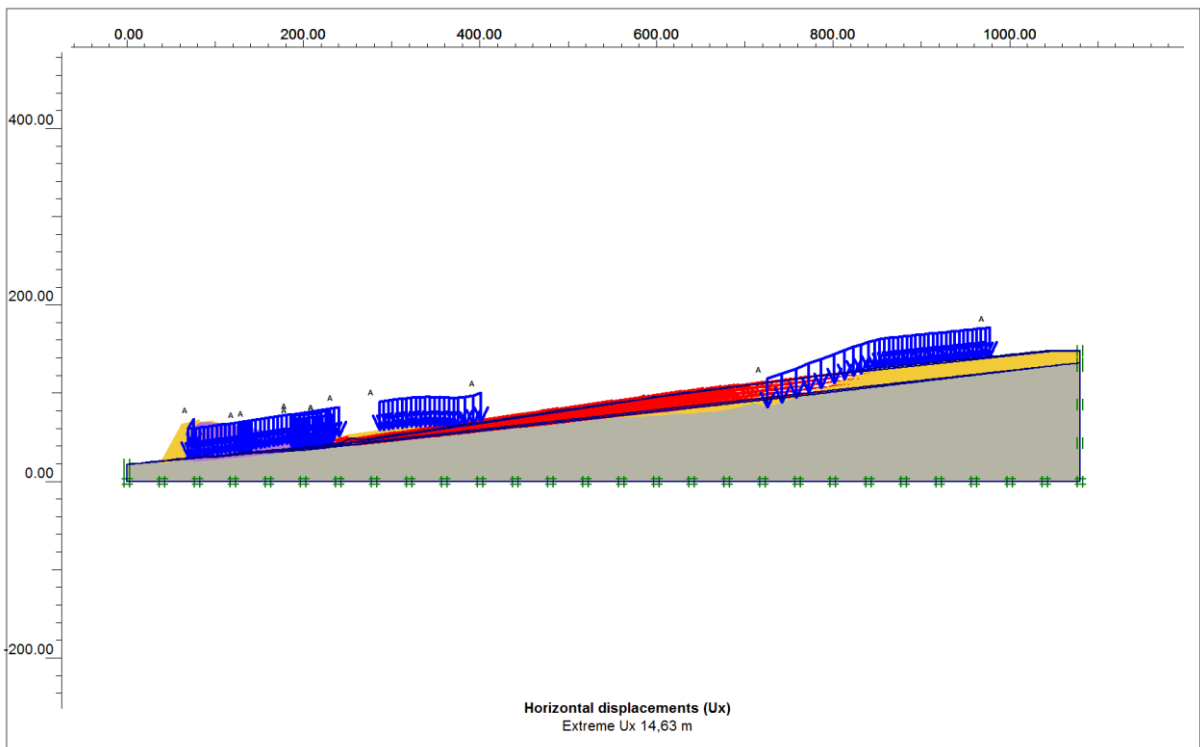


Figure IV-28: les déplacements horizontaux.

La figure IV-29 nous montre les déplacements verticaux engendrés suite à la présence de nappe phréatique ainsi que les surcharges, avec une valeur maximale de tassement de 2,78 m.

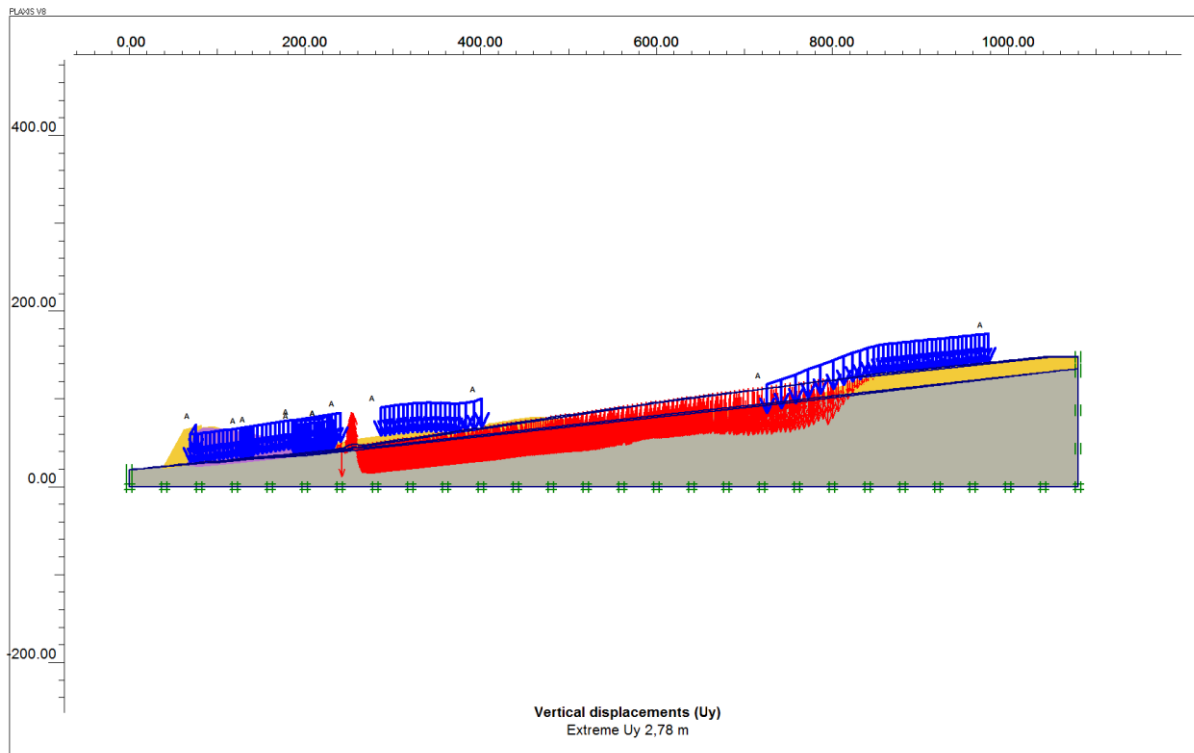


Figure IV-29: déplacements verticaux pour le model nappe avec surcharge.

la courbe IV-30 représente la variation du facteur de sécurité calculé pour ce cas en fonction des pas de calcul.

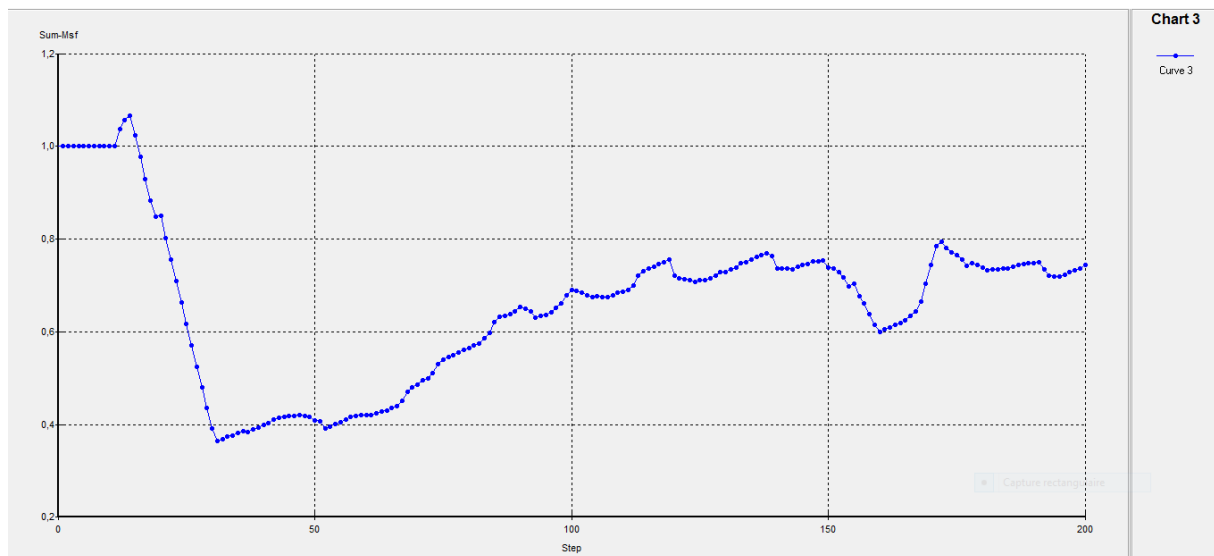


Figure IV-30: courbe la variation des facteurs de sécurité en fonction des pas de calcul.

Une diminution remarquable au niveau du facteur de sécurité. L'analyse de la courbe IV-30 nous montre que le facteur de sécurité enregistré pour le cas considéré prend la valeur de 0,736. Cette remarquable diminution de facteur de sécurité a fait perdre la résistance du sol au cisaillement.

la courbe IV-32 représente la variation des déplacements en un point A de composante (460,71) (figure IV-31) en fonction des pas de calcul des différents cas de calcul considérés.

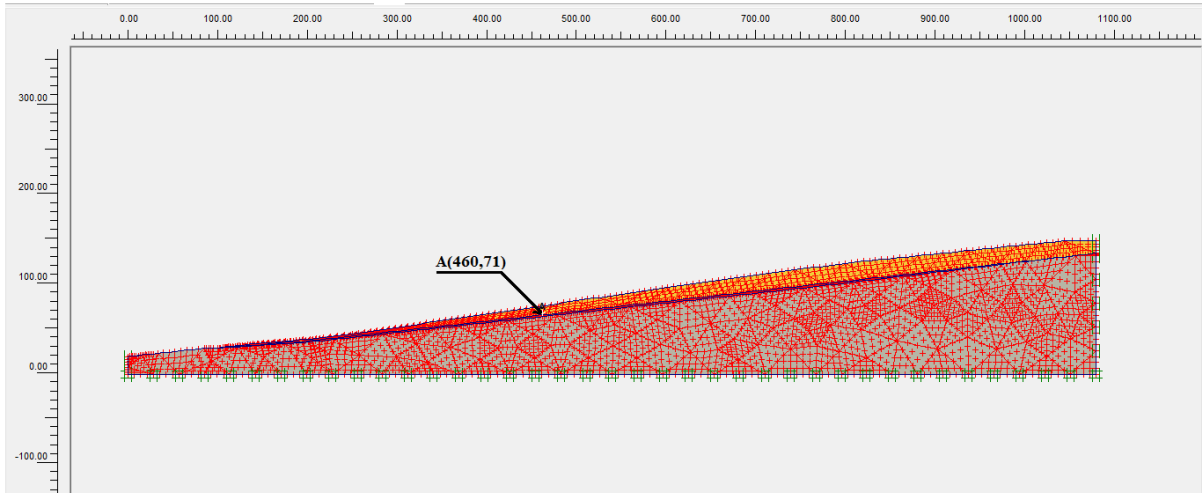
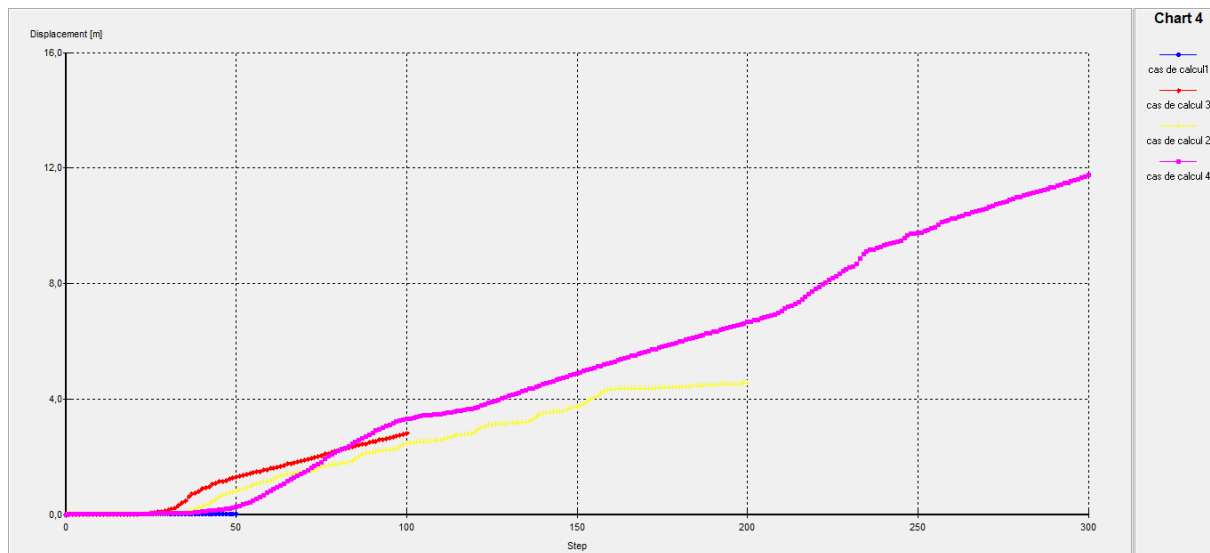


Figure IV-31: position du point A (460,71) sur le versant.



Courbe IV-32: comparaison des déplacements des différents cas de calcul en fonction des pas de calcul.

La courbe représentée sur la figure IV-33, illustre le tracé d'évolution des facteurs de sécurité calculés en fonction des pas de calcul, jusqu'à l'obtention d'une rupture.

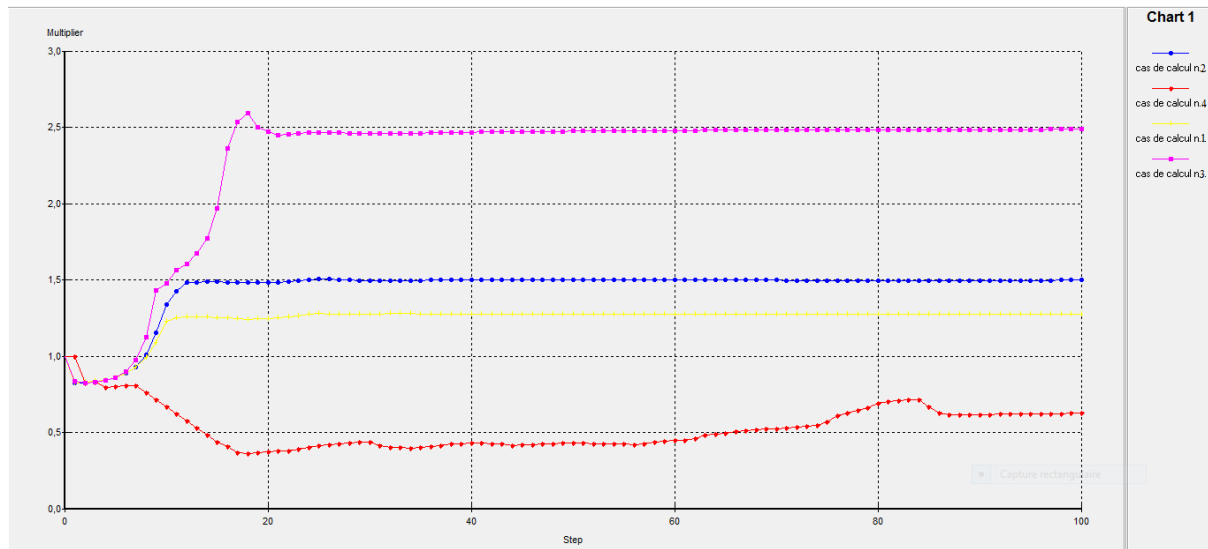


Figure IV-33: courbe de variation des facteurs de sécurité en fonction des pas de calcul pour les différents cas de calcul considérés.

Constatations et interprétations:

Cas N°01:

- ❖ Une augmentation importante enregistrée à la fin de calcul au niveau du facteur de sécurité, qui prend la valeur de 2,48 qui dépasse largement la valeur de la stabilité du versant (1.5 stabilité complète du versant).
- ❖ Le volume de terrain déplacé est presque nul ce qui explique que le versant est stable à son état sec, ce qui explique l'importance de l'eau dans le phénomène du glissement de terrain.

Cas N°02:

- ❖ L'analyse des résultats nous a permis de constater une chute au niveau du facteur de sécurité, qui passe de 2,48 à 1,269. Ce qui nous a éclairé l'effet vulnérable de la présence d'eau dans la pente.
- ❖ Les déplacements observés dans le talus sont très importants, et les contraintes de cisaillement sont très importantes au niveau de la deuxième couche (de 3 à 5,5m), ce qui explique que la couche d'argile schisteuse constitue un plan favorable au processus de glissement.

Cas N°03:

- ❖ Une remarquable augmentation de facteur de sécurité est observé au cours de ce cas, ce qui est suivit par augmentation de la résistance du sol.
- ❖ Une diminution observée pour les déplacements, ce qui traduit l'influence de la présence d'eau dans le versant ainsi que l'effet remédiable du rabattement de niveau de la nappe.

Cas N°04:

- ❖ Une diminution remarquable de la valeur de coefficient de sécurité, jusque à 0.736.
- ❖ L'effet mixte de l'eau et des surcharges génère une augmentation des volume de sol déplacé.
- ❖ Les déplacements et les contraintes de cisaillement deviennent importants au niveau de la première et la deuxième couche ce qui se traduit par un déplacement d'un grand volume de sol.

IV-6-Conclusion:

L'analyse de stabilité effectuée sur le versant de la zone portuaire de TIGZIRT montre que le glissement est de forme plan et la rupture s'est produite dans la couche de marne altérée; ceci ayant été confirmé par les observations faites sur le terrain et par l'analyse des résultats obtenus lors de émulation du phénomène avec le code d'élément finis Plaxis qui ont situé une ligne de rupture à ce niveau.

Les causes de rupture peuvent être multiples. Toutefois, on peut penser qu'elles proviennent de l'une des deux causes suivantes ou de leur combinaison:

- ❖ une augmentation des sollicitations par suppression de la butée de pied associée à une modification des caractéristiques hydrauliques du terrain sous un séisme plus ou moins ressenti (ou sous une quelconque source de vibration);
- ❖ une modification notable des caractéristiques mécaniques des sols (perte de résistance au cisaillement des sols par remaniement).

Cependant, il va de soi que, dans tous les cas, la rupture provient pour l'essentiel de la nature minéralogique des formations alluvionnaires. Les marnes étant des roches évolutives, leur comportement change en présence d'eau et deviennent très plastiques. La rupture du versant peut donc être attribuée à une perte de résistance au cisaillement des sols sans oublier bien sûr des conditions hydrauliques défavorables.

Conclusion générale.

Dans les trois premiers chapitres de ce mémoire, afin de mieux positionner le contexte de notre travail, nous avons commencé par réaliser une synthèse des différents modes d'instabilités des pentes ainsi que des différentes méthodes classiques et courantes utilisées pour analyser ces instabilités.

Le quatrième chapitre s'est fixé comme objectif d'apporter une meilleure compréhension du phénomène d'instabilité qui englutit le sol TIGZIRTOIS dans trois zones et de présenter des modèles numériques pour le calcul de stabilité.

Ces modèles numériques dénotent une réponse mécanique suffisamment proche de la réalité pour pouvoir étudier la stabilité du versant. La précision des résultats obtenus de ces modèles est liée à plusieurs paramètres, telle que la taille de modèle global, les dimensions du maillage, le modèle de comportement, les conditions aux limites et aux caractéristiques des sols. Basées sur les données géologiques et géotechniques du versant disponibles, les conclusions qui apparaissent au terme de cette étude sont les suivantes:

L'analyse de stabilité par la méthode d'éléments finis (modèle Plaxis) donne une valeur de facteur de sécurité inférieur au seuil de stabilité; et d'autre part l'étude de la déformation par la méthode d'éléments finis (modèle Plaxis), a permis de constater que les déplacements (déformations) de versant sont importants.

Ce qui signifie que le versant d'étude est considéré instable sous son poids gravitaire, cette instabilité est causée principalement par la formation argileuse de faible résistance avec l'importante présence de nappe d'eau ainsi que les surcharges existants sur le site.

Références bibliographiques

BELAIDI. M, Application de l'essai de cisaillement direct dans l'étude des glissements de terrain le long des plans de stratification des sols, Mémoire Master 2, Spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.

BOUAZIZ. N, Etude de la stabilité d'un glissement de terrain cas du versant de Tizirt, Mémoire Master 2, Spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.

DJERBAL. L, Analyse des mécanismes de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain El Hammam, thèse de doctorat, Spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013.

DJERBAL. L, Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain El Hammam, Mémoire Master 2, Spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2010.

COJEAN. R (2001), instabilité déclenchée par l'événement climatique particulier de l'hiver 1999: exemple dans les Alpes Vaudoises, Suisse- Revue Française de géotechnique.

Rapport interne du groupement des trois bureaux d'étude « **ANTEA-TTI-HYDROENVIRONNEMENT** » (septembre 2009) - étude des glissements de terrain de Tizirt.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Goals and tasks of the landslide part of a ground failure hazard reduction program. U.S. Geological Survey Circular 1982.

INERIS: www.ineris.fr Institut national de l'environnement industriel et des risques.

BRGM: www.brgm.fr, Bureau de recherches géologiques et minières.

Le Roux et al., 2009, Analyse du glissement de terrain du versant Séchillienne (France).

BELOUAR.A., Université Mentouri Constantine, Algérie Séminaire International, Innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction.

Varnes, D.J., 1984. Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice

Cruden, 1991. A Simple Definition of a Landslide. BIAEG.

Varnes, 1996. Landslide Types and Processes, National Research Council, Washington, DC.

Cruden and Varnes 1996. Landslide types and processes.

Sites internet

<http://fr.wikipedia.org>