RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université YAHIA FARES Médéa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil



PROJET DE FIN D'ÉTUDE

Présenté pour l'obtention d'un diplôme de Master

Option : Géotechnique

THÈME

Étude et traitement d'un glissement de terrain

« DÉDOUBLEMENT DE LA RN01

ENTRE PK 109+000 - PK 177+500 »

Présenté par :

- **Khaled HAMDAOUI**
- **Brahim MOHAMMEDI**

Encadré par :

Dr Ali MESSAD

Promotion 2017/2018

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents : Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes sœurs, mes frères et ma fiancée et mon beau–frère *Omar ZERKOUTE*, Qui m'ont aidé à surmonter les difficultés et m'ont encouragé pour arriver jusqu'aux bout

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments £de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A mon Prometteur *Mr. Ali Messad* :

L'eur générosité et leur soutien m'oblige

A leur témoigner mon profond respecte ma loyale considération.

A tous mes amis et mes collègues :

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie

Khaled HAMDAOUI

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il fout…..

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour, le respect, la reconnaissance ….

Aussi, c'est tout simplement que

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous mer remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A mes chers frères et sœurs.

A mes tantes et à mes oncles.

Mes chers cousins et cousines, spécialement : *CH A CH A, MOHAMED*

A toute la famille de *MOHAMMEDI et SILA*

A mon professeur *Mr Ali MESSAD* **L'eur générosité et leur soutien**

A mes amis

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

A mon binôme *Khaled* **et toute la famille** *HAMDAOUI.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible (*MAHMOUDI Hadi, HENTABLI Chouaib, BOUHENNICHE Mohamed Amine*)

je vous dis merci.

A toute la famille de la faculté des Génie civil

Brahim MOHAMMEDI

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr Ali MESSAD

Son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

ملخص

الانهيارات الأرضية هي ظواهر طبيعية يصعب التنبؤ بها وهذا يعود إلى كثرة العوامل المسببة لحدوثها وكذا تأثير هذه العوامل فيما بنها.

في خضم هذه الأخطار يجب أن تكون المحاكاة العددية موجودة لتقديم المعلومات التنبؤية والدقيقة.

تقع ولاية المدية في منطقة ذات تضاريس شديدة الانحدار، وهذه المخاطر تهدد بشكل خاص الطريق الوطني رقم 01.

قمنا محاكاة حالة المنحدر المتواجد على مستوى الطريق الاجتنابي سغوان-مجبر 16.2 كم ودراسة كافة التدابير من أجل جعله أكثر أمان.

استعملنا برنامج من أجل التحليل الرقمي بعد وضع التعزيزات الهدف منه التحصل على عامل الأمان الأمثل حيث اتخذ معيار التكلفة كمعيار لاختيار ترتيب هذه التدابير التعزيزية.

Résumé

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels difficiles à prédire car leur déclenchement dépend nombreux facteurs et l'interaction entre eux. Dans cette problématique, la modélisation numérique doit être présente pour donner les informations pertinentes et prédictives.

La Wilaya de Médéa se trouve dans une région qui présente des terrains en pente plus ou moins forte ces risques menacent surtout la route N° 0 1.

Nous nous intéresserons dans ce mémoire à la prévision de l'aléa au niveau de l'évitement de Seghouane (LOT Nº1. SEGHOUANE - MOUDJEBEUR SUR 16,2 KM) puis on procède aux mesures de confortement.

L'analyse numérique a été faite par le logiciel (TALREN) afin d'évaluer les facteurs de sécurité produits pour chaque cas étudié

À la fin, le choix des solutions de confortement cette fois-ci basée uniquement sur le critère économique.

Mots clés : Instabilité, glissement de terrain, modélisation Talren, paramètres géotechniques, Mohr-Coulomb.

Abstract

Landslides are natural phenomena that are difficult to predict because their triggering depends on many factors and the interaction between them. In this problematic, numerical modeling must be present to give relevant and predictive information.

The Wilaya of Médéa is in a region that has more or less steep land; these risks threaten especially the road No. 0 1.

In this paper, we will focus on the prediction of the hazard at the level of the Seghouane avoidance (LOT Nº1 SEGHOUANE - MOUDJEBEUR ON 16,2 KM) then we proceed to the measures of comfort.

The numerical analysis has been done using software called TALREN to evaluate the safety factor found in each case.

In the end, the choice of comfort solutions this time based solely on the economic criterion.

Key words: Instability, landslide, TALREN, modeling, geotechnical parameters, Mohr-Coulomb.

Sommaire

Introduction générale…….I

Chapitre I Généralités sur les glissements de terrain

I.1 Introduction.....2

I.2 Définition.....2

I.3 Classifications des glissements.....3

I.3.1 Selon la profondeur de glissements :.....3

I.3.2 Selon la vitesse de glissements :.....3

I.3.3 Selon la forme de glissements :.....4

I.4 Causes de glissement.....6

I.4.1 Météorologique.....6

I.4.2 La nature de sol.....7

I.4.3 L'activité sismique.....7

I.4.4 Les activités humaines.....7

I.4.5 la végétation.....7

I.5 Les causes déclenchant un glissement.....8

I.5.1 Causes mécaniques.....8

I.5.2 Causes géométriques.....8

I. 5.3 Causes hydrauliques.....9

I.6 La pathologie de glissement des terrains.....9

I-6-1 Les facteurs de stabilité d'un pente.....10

I-6-2 Facteurs d'évolution et d'activation d'un glissement de terrain.....10

I-6-3 Le processus d'un glissement du terrain.....11

I.7 les méthodes de traitement des glissements.....11

I.7.1 – Dispositifs de drainage.....11

I.7.2 – Construction de renforts.....12

I.7.3 – Systèmes de terrassement.....12

I-8 Détection d'un glissement.....13

I-8-1. Il n'existe pas de glissement avéré.....13

I-8-2. Il existe un glissement avéré.....13

I.9 Conclusion.....14

Chapitre II Méthodes de calcul de stabilité des talus

II.1 Introduction....16

II.2 Présentation de TALREN....16

II.2.1 les principaux types de données :....16

II.2.2 Méthodes de calcul :....16

II.3 Définition du critère de rupture....16

II.3.1 Définition du coefficient de sécurité....17

II.3.2 la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité....18

II.4 Méthodes de calcul de stabilité des talus....18

II.4.1 les méthodes de calcul à la rupture....18

II.4.2 Les méthodes volumiques ou méthodes sans hypothèse sur la surface de rupture (de type éléments finis)....19

II.4.3 Les méthodes énergétiques....19

II.5 Méthodes de calcul à la rupture....19

II.5.1 Méthodes des blocs :....19

II.5.2 Méthodes des tranches :....20

II.5.2.1 La méthode de Fellenius....21

II.5.2.2 Méthode simplifiée de BISHOP....21

II.5.2.3 Méthode simplifiée de JANBU [1956]....22

II.5.2.4 Méthode Suédoise modifiée, U.S. Army Corps Of Engineers [1970]....23

II.5 Conclusion....24

Chapitre III Cadre général de la région

III.1 Introduction....26

III.2 historique des glissements du réseau routier dans la wilaya de Médéa....26

III. 3 Aperçu géologique régional :....27

III.4 Aperçu hydrologie....31

III.5 Climat de la région....31

III.6 Lithologie....31

III.6 Sismicité....32

III.7 -La chronologie de glissement de la zone étudie....33

III.8 les observations des désordres....35

III.9 -Conclusion....35

Chapitre IV Analyse d'alternative

IV.1 Introduction....37

IV.2 Étude numérique et paramétrique d'un talus de sol homogène....37

IV.2.1 Analyse à l'inverse....37

IV.2.2 Présentation du modèle étudié.....38
IV.3 Méthodologie de travail.....39
IV.4 ANALYSE D'ALTERNATIVES.....39
IV.4.1 PENTE 3H :1V.....40
IV. 4.2 PENTE 4H :1V.....41
IV. 4.3 Mur de soutènement.....43
IV.4.4 Mur de soutènement fonde sur pieux.....44
IV 4.5 Mur de soutènement fonde sur pieux + pente 4H :1V + clouage.....46
IV. 5 Conclusions.....48
Conclusion générale .....….....49

Liste des figures

Figure I.1 : un glissement.....2
Figure I.2 : Glissement plan.....4
Figure I.3 : Schématisation du phénomène de glissement circulaire.....5
Figure I.4 : Glissement rotatiuonnel simple.....5
Figure I.5 : Glissement roationnel complexe.....5
Figure I.6 : Glissement complexe.....6
Figure I.1 : Evacuation de sol après le glissement.....7
Figure 1.7 : la couverture végétale.....8
Figure 1.5 : schéma des facteurs modifiant la géométrie du terrain.....8
Figure 1.6 : les principaux types d'alimentation en eau dans un glissement de, Terrain.....9
Figure I.8 : *Drainage de talus par barbacanes,*.....11
Figure I.9 : *Principe du clouage et exemple de réalisation,*.....12
Figure I.10: *Mur de soutènemee la RD559 dans le Var, écroulé sous la poussée du glissement*.....12
Figure I.11: *Mur de soutènement à Chinon,*.....12
Figure I.11 : Principe du remblai de pied.....13
Figure I.12 : Principe de l'allégement en tête.....13
Figure II.1 : critère de rupture de Mohr-Coulomb.....18
Figure II.2 : Méthode des tranches (méthode de Fellenieus).....21
Figure II. 3 *: Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius*.....22
Figure II. 4: *Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Bishop simplifiée*.....23
Figure II.5 : équilibre d'une tranche de sol (Janbu).....23
Figure II.6.*: Inclinaison des forces dans la méthode Suédoise modifiée*.....24
Figure III.1 **:** *vue satellite du glissement en Google Earth*.....27
Figure III.2 : Carte géologique détale de la zone.....30
Figure III.3 : Carte Géologique détaillée de BERRUAGHIA publié Géographique National – 1965. 31
Figure III.5 : Caisse de sondage n°01.....33
Figure III.6 : Caisse de sondage n°02.....33
Figure III.7 : Carte de zonage sismique du territoire national- RPA2003.....34
Figure III.8 : Premier glissement.....34
Figure III.9 : deuxième glissement.....35
Figure III.9 : deuxième glissement.....36
Figure IV.1 : Schéma du mécanisme de rupture du glissement.....38
Figure IV.1 : le talus à l'état initial.....39

Figure IV.2 : Schéma du mécanisme de rupture du glissement.....40
Figue IV.3 : Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas statique.....41
Figue IV.4 : Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas dynamique.....41
Figue IV.5 : Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas statique.....42
FigueIV.6: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas dynamique.....43
FigueIV.7 : Calcul de stabilité globale ; Mur de soutènement ; Cas statique.....44
FigueIV.8: Calcul de stabilité globale ; Mur de soutènement; Cas dynamique.....45
FigueIV.9 : Calcul de stabilité globale Mur de soutènement fonde sur pieux; Cas statique.....46
FigueIV.10 : Calcul de stabilité globale ; Mur de soutènement fonde sur pieux; Cas dynamique....46
FigueIV.11: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V; Cas statique : partie supérieu. 47
FigueIV.12: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas dynamique :partie supérieure.....48
Figure IV.13: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas statique : partie inferieure.....48
FigueIV.14: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de; Cas dynamique : partie inferieure.....49

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classification selon la profondeur de la surface de glissement.....3

Tableau I.2 : Classification selon l'activité de glissement à long terme.....4

Tableau II.1 Les valeurs de F_S de l'état de l'ouvrage.....18

Tableau III.1 : Sondage carottée réalisée dans la zone d'étude.....31

Tableau IV.1 : Paramètres géotechniques du sol.....38

Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif -Pente 3H :1V.....41

Tableau IV.3 : Tableau récapitulatif -Pente 4H :1V.....42

Tableau IV.5 : Tableau récapitulatif - Mur de soutènement fonde sur pieux.....46

Tableau IV.7 : Tableau récapitulatif -Mur de soutènement fonde sur pieux + pente 4H :1V + clouage (supérieure).....48

Tableau IV.8 : Tableau récapitulatif -Mur de soutènement fonde sur pieux + pente 4H :1V + clouage (Inferieure).....48

Introduction générale

Introduction générale

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origines très diverses, résultant de la déformation, de la rupture et du déplacement du sol. Ils provoquent mondialement la mort de 800 à1000 personnes par an, mais ce chiffre ne prend pas en compte les glissements dus aux séismes.

Les mouvements de terrain engendrent des risques pour les personnes, mais également pour les biens et l'économie. Il est possible d'agir sur ces risques de deux manières, en intervenant sur l'aléa ou sur les enjeux. Les mesures de protection mises en place visent à réduire au maximum l'aléa dans les zones menacées. La prévention permet de réduire la vulnérabilité au sein de ces secteurs, par l'information des populations, l'adoption de mesures d'urbanisme ou de mesures constructives, l'étude et la surveillance de mouvements actifs

Les mouvements de terrain regroupent des natures de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol superficiel ou du sous-sol. Elles sont d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes mis en jeux lors de cas sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou, au contraire très rapides (quelques centaines de mètres par jour). L'identification des zones potentiellement instables constitue actuellement un enjeu important pour les problèmes du domaine de l'ingénieur. Ces risques naturels restent, en grande partie, inexpliqués dans le cadre des méthodes classiques, des glissements de terrain apparaissant sous faible, voire très faible pente, qui contredisent les analyses de stabilité traditionnelles. Le problème de glissement des terres est couramment rencontré en Algérie et ce depuis fort longtemps .Il n'existe jusqu'à maintenant pas de carte de zonage permettant le classement d'un territoire en zone vis-à-vis du potentiel de glissement. On rappelle dans ce qui suit la date relative à ce phénomène :

- Février 1952. Glissement d'une masse estimé à 10 million de mètre cube à Azazga (Tizi Ouzou). Suivi d'un mouvement important en février 1985, causant de sérieux désordre au niveau des édifices publics et une centaine d'habitations

- En 1972 glissement au chantier d'un talus d'Ain El-Hamra (Geulma) sur une étendue de 1000x700 m.

-En 1993 un glissement de franc s'est manifesté dans le corps du remblai routier à Grarm (Mila) sur la route nationale 27 menaçant potentiellement de couper cette voie de communication importante [3]

Les glissements de terrain apparaissent lorsque les sols ou des roches se déplacent, fragilisés par les activités humaines ou par des phénomènes naturels qu'ils soient climatiques, géologiques ou encore géomorphologiques. Les glissements de terrain est un déplacement lent d'une masse de terrain cohérente le long d'une surface de rupture. Cette surface a une profondeur qui varie de l'ordre du mètre à quelques dizaines voire quelques centaines de mètres dans des cas exceptionnels. Les volumes de terrain mis en jeu sont alors considérables. Les vitesses d'avancement du terrain peuvent varier jusqu'à atteindre quelques décimètres par an. Lorsqu'il y a rupture, ces vitesses peuvent atteindre quelques mètres par jour durant la période la plus active.

Notre mémoire de fin d'étude a été décortiqué en 5 chapitres :

Le chapitre I : (étude bibliographique) consacré à une très brève synthèse des connaissances relatives au mode d'instabilité des pentes lies aux glissements de terrain. Classifications, causes méthodes confortements …

Le chapitre II : (étude bibliographique) Dans ce chapitre on a présenté les différentes méthodes de calculs qui peuvent être utilisées dans l'analyse de la stabilité des talus (principes et théories de calcul), et l'évaluation de coefficient de sécurité

Le chapitre IV : (étude numérique) Présentation de cadre générale de la zone étudiée parlons sur le contexte géologique géotechnique hydrogéologique …

Le chapitre V : (étude numérique) étude et analyse le glissement de terrain en utilisant les deux logiciel ainsi exposé le critère à suivre pour proposer des solutions

Le chapitre VI : (étude numérique) Étude comparative entre solution qui s'appuie sur le critère le plus économique

Chapitre I : Généralités sur les glissements de terrain

I.1 Introduction

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origines très diverses. Annuellement, ils provoquent en moyenne la mort de 800 à 1 000 personnes dans le monde et occasionnent des préjudices économiques et des dommages très importants. Les glissements de terrain sont l'un des types de mouvement gravitaire capable de détruire des villages entiers (comme au Népal en 2015 où un glissement de terrain a enseveli plusieurs villages dont celui de Langfang et environ 400 personnes. Il a été estimé que l'énergie libérée était l'équivalent de celle de la bombe atomique qui a explosé au-dessus d'Hiroshima. Les zones menacées par ces phénomènes sont les régions qui possèdent un relief de forte variation et aussi des conditions climatiques rigoureux.

Généralement on retrouve le phénomène de glissement lors de la construction des routes, des canaux, des digues et des barrages et de même dans les pentes naturelles.

L'objectif de ce chapitre a pour but d'envisager le désordre des glissements de terrain définition, classification, causes …et aussi de présenter les traitements possibles approuvés

I.2 Définition

Un glissement de terrain est un phénomène géologique, caractérisés par une surface de cisaillement, une masse de terre descend sur une pente, située à des profondeurs variant de quelques mètres à quelques centaines mètres. Ils concernent des matériaux meubles ou des roches très fracturées. Les vitesses sont variables. Plus ces glissements sont superficiels, plus la fissuration du terrain est visible en surface. [1]

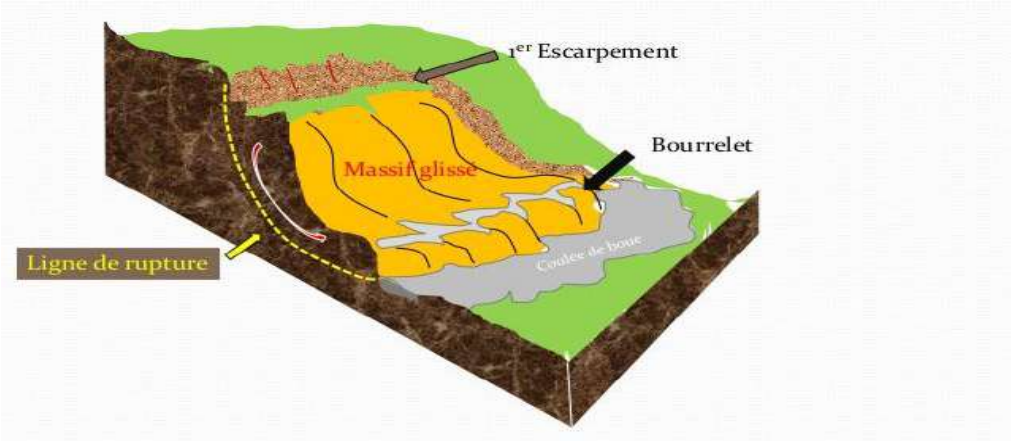


Figure I.1 : un glissement

La plupart du temps, l'eau joue un rôle important dans les glissements de terrain, par l'action des pressions interstitielles, des écoulements souterrains ou par les pressions dues au gonflement des minéraux argileux. [2]

I.3 Classifications des glissements

On peut distinguer les différentes classifications des glissements comme suit :

I.3.1 Selon la profondeur de glissements :

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement (tableau I.1), et on peut distinguer : [2]

1. **Glissement superficiel**
2. **Glissement semi-profond**
3. **Glissement profond**

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

Tableau I.1 : Classification selon la profondeur de la surface de glissement

I.3.2 Selon la vitesse de glissements :

Selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements (tableau I.2), on peut distinguer trois types des glissements : [2]

1. Glissement très lent
2. Glissement lent
3. Glissement rapide

Glissement	Vitesse de glissement
Su stabilité, très lent	0 – 2 cm/an
Peu actif, lent	2 – 10 cm/an
Actif(ou lent avec phase rapide)	>10cm/an

Tableau I.2 : Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme

I.3.3 Selon la forme de glissements :

Les glissements de terrain se produisent dans les terrains inclinés et se déclenchent lorsque les forces de résistances (force de frottement et cohésion) sont plus faible que la force motrices (gravité) suivant les constatations (durant et après), les glissements des terrains sont classés en trois formes principales [2]

a) Glissements plans (transrationnels)

b) Glissements rotationnels

- Glissement rotationnels simples
- Glissements rotationnels complexes

c) Glissement complexes

a) Glissements plans (transrationnels)

La ligne de rupture se trouve au niveau de la couche de mauvaise caractéristique mécanique, ceci produise un détachement de la masse terrestre qui glisse le long d'une surface relativementplan [1]

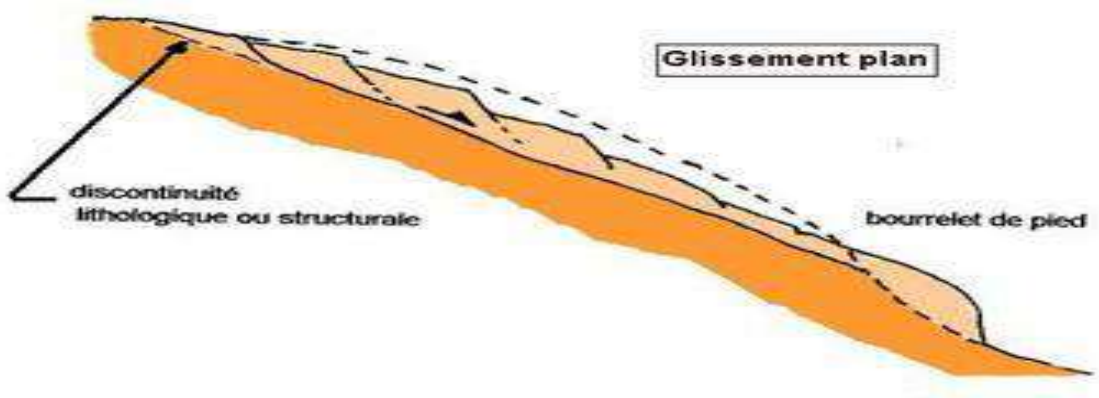


Figure I.2: Glissement plan

b) Glissements rotationnels

La masse se déplace vers l'aval le long d'une surface de rupture circulaire. Ce type de glissements est de faible volume et le déplacement des matériaux est limité. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux. [3]

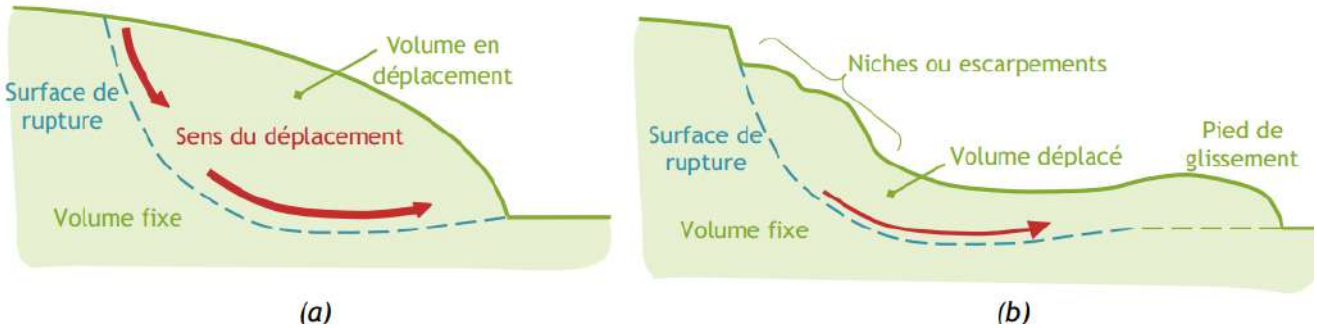


Figure I.3 Schématisation du phénomène de glissement circulaire

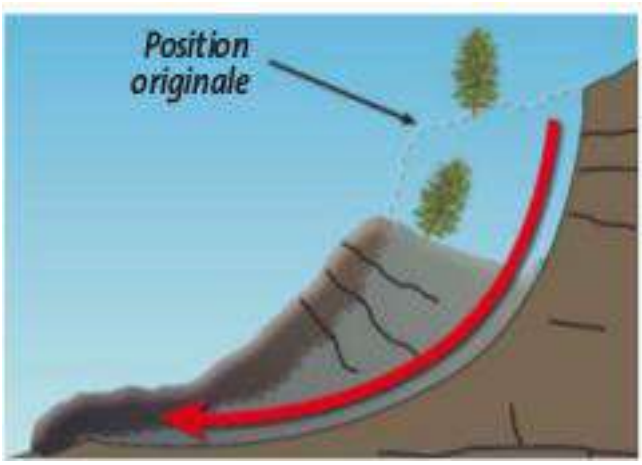
(a)avant activation (b) après activation

- **Glissement rotationnels simples**

La ligne de rupture peut être assimilé à un cercle et de même la surface de rupture peut être assimile à une portion de cylindre [3]

- **Glissements rotationnels complexes**

C'est le type le moins fréquent, caractérisé par un glissement multiple emboite les un dans les autres



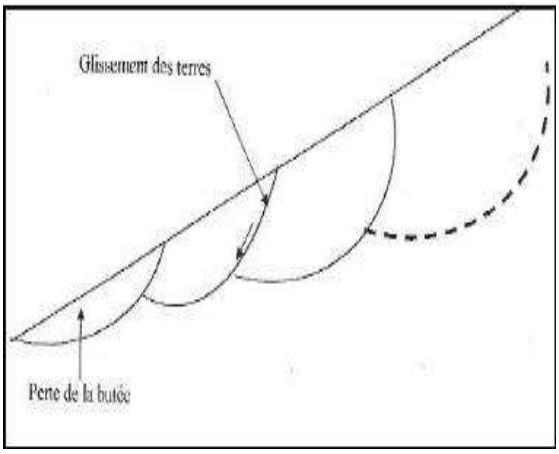


Figure I.4 Glissement rotationnel simple **Figure I.5** Glissement rotationnel complexe

d) Glissements complexes

Il s'agit d'un glissement couplé entre le glissement plan et rotationnel se manifeste surtout dans les sols hétérogènes ou anisotropes. [2]

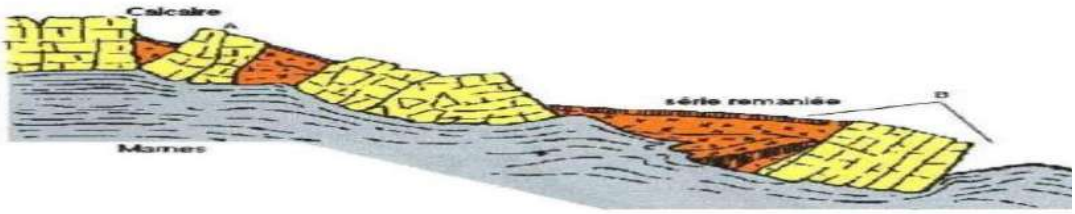


Figure I.6 : Glissement complexe

I.4 Causes de glissement

Le déclanchement d'un glissement de terrains se manifeste lorsqu'il existe une modification dans les moments résistant ou moteur qui donne une naissance de la rupture, cette modification dépend d'une ou de plusieurs causes concomitantes. L'eau reste le premier facteur qui influence la stabilité des pentes. [2]

Les facteurs qui jouent un rôle plus au moins important dans l'instabilité des pentes.

a) **Météorologique**

b) **La nature de sol**

c) **L'activité sismique**

d) **L'activité exogène**

e) **L'absence végétation**

a) Météorologique

Divers auteurs ont tenté de définir des critères météorologiques de déclenchement d'instabilités, notamment à partir de cumuls de pluie sur n jours ou du couple intensité/durée de l'épisode pluvieux. L'expérience montre cependant que des facteurs plus subtils entrent en jeu. Ainsi, une période de sécheresse provoque des fissurations par retrait des sols argileux superficiels, ce qui facilite l'infiltration de l'eau dans les fissures lors d'épisode pluvieux et déstabilisant

Exemple :

En 2011, La capitale de la Corée du Sud a reçu de fortes précipitations de 400 millimètres, ce qui a entraîné un déclenchement des glissements de terrain.



Figure I.1 : Evacuation de sol après le glissement

b) La nature de sol

Un sol meuble et donc présentant peu de cohésion sera par nature instable. De même un sol présentant des couches discontinues de nature différente aura tendance à glisser.
Un sol argileux ou marneux saturé d'eau sera susceptible de glisser vers le bas de la pente (diminution de la résistance du sol).

c) L'activité sismique

Le passage de l'onde sismique fragilise le milieu qu'il traverse et par conséquent déstabilise les pentes. La présence de l'eau dans ce cas peut engendrer le phénomène de liquéfaction du milieu (dépassement de la limite de liquidité).

d) Les activités humaines

La construction d'infrastructures ou de bâtiments en haut de la pente augmente la charge qui pèse sur celle-ci et peut entrainer un glissement. De même des constructions en bas de la pente peuvent déstabiliser le pied du versant.
La déforestation, l'irrigation qui modifie la teneur en eau du sol, l'urbanisation qui entraine une imperméabilisation du sol et donc un changement dans l'écoulement des eaux ou dans le profil de la pente sont autant de facteurs pouvant entrainer un glissement de terrain.

e) la végétation

La couverture végétale joue un rôle dans la stabilité des glissements de terrain très superficiels ; cette couverture végétale peut avoir un effet bénéfique ou néfaste selon les cas. Ainsi, les racines des végétaux renforcent la cohésion des sols mais, en cas de vent, l'effet de levier peut déraciner les arbres, ouvrant ainsi des brèches dans le sol et favorisant les infiltrations d'eau. Le sol mis à nu sans végétation sera vulnérable aux infiltrations, et donc susceptible de glisser. [6]



Figure 1.7 la couverture végétale

I.5 Les causes déclenchant un glissement

Les causes déclenchant un glissement peuvent aussi être classées en trois grandes catégories :

- **Causes mécaniques**
- **Causes géométriques**
- **Causes hydrauliques**

I.5.1 Causes mécaniques

Les facteurs causant une augmentation des contraintes dans le sol, tels qu'une surcharge provenant d'un nouveau ouvrage, de la neige ou de l'eau ou l'augmentation du poids volumique due à l'augmentation de la teneur en eau, ou les facteurs réduisant la résistance au cisaillement du sol, tels que la diminution de la cohésion de l'argile, l'augmentation des pressions interstitielles ou le gonflement des argiles par absorption de l'eau [3]

I.5.2 Causes géométriques

Les facteurs modifiant la géométrie du terrain, décrite principalement par la hauteur H du talus et son angle β d'inclinaison par rapport à un plan horizontal, notamment les travaux de terrassement (déblaiement, remblaiement). [3]

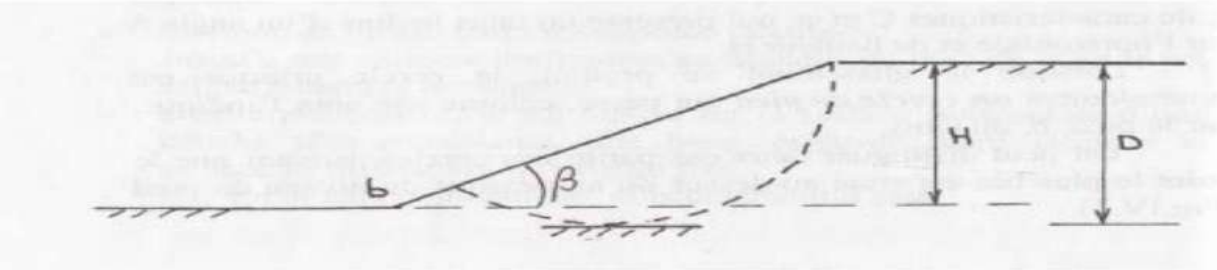


Figure 1.5 : schéma des facteurs modifiant la géométrie du terrain

I.5.3 Causes hydrauliques

Les facteurs hydrauliques sont très importants puisqu' on estime qu'environ 55% des glissements sont causés par un facteur hydraulique. Lors d'une pluie torrentielle par exemple, le mouvement de nappe modifie l'équilibre initial des efforts internes dans un volume infinitésimal du sol. [3]

En outre, toute modification dans la pression interstitielle, suite à une opération de pompage par exemple, implique une variation de la résistance au cisaillement, ce qui risque de déstabiliser le massif vis-à-vis des forces motrices du glissement. [7]

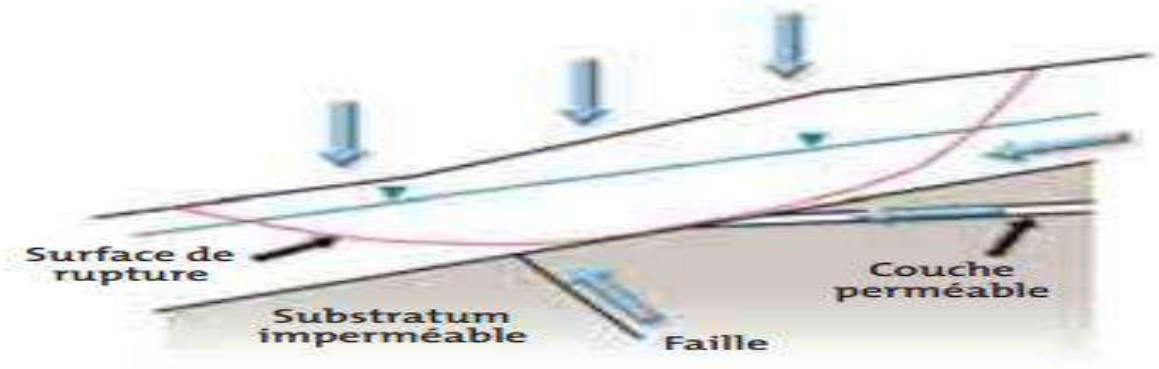


Figure 1.6 : schéma illustrant les principaux types d'alimentation en eau dans un glissement deterrain.

I.6 La pathologie de glissement des terrains

Les glissements des terrains se manifestent brusquement, elles évoluent en général lentement Le volume des glissements de terrain est très variable : de quelques mètres cubes (loupes) à plusieurs millions de mètres cubes (versants entiers).

Un glissement passe par des phases tranquilles et par des phases actives souvent brutales. Les périodes d'accélération sont généralement dues à l'intervention de facteurs négatifs : pluies intenses, terrassements, etc.
Les glissements très rapides correspondent souvent à une liquéfaction du sol.

Dans les terrains inclinés, le sol a tendance à glisser vers l'aval sous l'effet de la gravité. Tant que les forces de résistance (force de frottement et cohésion) sont plus fortes que la force motrice (gravité), la stabilité du versant est maintenue. sol / terrain: la composition, la granulométrie et la stratification influencent la résistance du sol au cisaillement et sa teneur en eau.

I.6.1 Les facteurs de stabilité d'une pente

- **déclivité** ; régime hydrique : une forte teneur en eau diminue la résistance du sol au cisaillement, augmente son poids et peut entraîner une pression de l'eau interstitielle
- **érosion** : les processus d'altération tendent à augmenter les infiltrations d'eau dans les horizons profonds ; les pieds de versant peuvent être affaiblis par l'ablation de matériaux
- **végétation** : les racines des arbres et des arbustes peuvent contribuer à améliorer la cohésion du sol et la formation des agrégats
- **activités humaines** : elles peuvent avoir un impact par exemple en raison du poids des bâtiments et des installations, d'excavations au pied d'un versant, d'irrigation ou de défrichements, ou en présence de conduites d'eau défectueuses.

I.6.2 Facteurs d'évolution et d'activation d'un glissement de terrain

Comme le glissement de terrain sont des phénomènes complexes. Impliquant des principes multi-échelles et multi-physiques. Ils sont influencés par un grand nombre de facteur se divisant en quatre catégories :

- **L'hygrométrie** influence directement les propriétés mécaniques du sol, en fonction de sa porosité. C'est un facteur prépondérant, lors d'averses plus importantes, le nombre de glissements de terrain augmente. Une teneur en eau élevée affaiblira généralement les propriétés mécaniques de l'écoulement, accélérant son déclenchement ; des cycles répétés déchargement et déchargement en eau amèneront de l'érosion. En période de gel l'eau occupe plus d'espace, générant des efforts internes importants ; le dégel modifie ensuite cet équilibre, et entraîne des déplacements plus ou moins importants. L'hygrométrie peut enfin avoir des origines humaines.
- **Le chargement** mécanique de la pente peut être modifié par la construction de structure ou par la fonte de glacier. Dans ce dernier cas, la modification du chargement combinée avec les infiltrations d'eau provoquées décuple les effets du glissement.
- **Une augmentation** des charges en amont peut accélérer le glissement ; une diminution de la résistance en aval, lié à un décaissement par exemple, a des effets similaires. Il est crucial de bien connaitre les zones à risque pour éviter d'y construire, ou de prendre des mesures pour s'assurer de ne pas déstabiliser une pente dangereuse.
- **L'exploitation humaine,** la présence d'arbres ou de champs agricole peut venir stabiliser la pente, la déforestation peut perturber l'équilibre. Les herbes hautes plantées sur les dunes des littoraux stabilisent par leurs racines la couche supérieure et limitent l'exposition au vent.
- **L'accidentel**, des évènements extrêmes peuvent venir déstabiliser subitement un glissement en formation : des arbres stabilisateurs arrachés, une inondation sature et érode les sols, un séisme peut faire basculer un glissement ou entraîner la liquéfaction des sols.

I.6.3 Le processus d'un glissement du terrain

Un glissement de terrain se déclenche lorsque le rapport entre la résistance au cisaillement et la force motrice atteint une valeur critique. Les principaux mécanismes déclencheurs sont la fonte des neiges, les précipitations fortes ou continues, le dégel du sol et les ébranlements (p. ex. suite à des tremblements de terre ou des activités humaines). Une rupture se produit entre deux couches de roche ou de sol et une masse se met à glisser. Il peut arriver que celle-ci se décompose et finisse sa course sous forme de coulée de boue. Ces processus peuvent se dérouler en des laps de temps très courts et donc atteindre des vitesses très élevées (plusieurs mètres par seconde pour des glissements de terrain spontanés ou des coulées de boue) ou sur de très longues périodes (quelques millimètres par an ou par siècle pour les glissements de terrain permanents). Les grands glissements profonds de versant se déplacent souvent de manière presque imperceptible durant des décennies, à peine quelques millimètres ou centimètres par année

I.7 les méthodes de traitement des glissements

Il est parfois possible de déployer des contremesures, qui neutralisent l'avancée du mouvement ou limitent son impact au moment de son déclenchement. Ces contremesures sont variées, quelques-unes sont présentées dans cette ressource. Conforter un glissement nécessite de connaître non seulement ses dimensions mais aussi son origine (chargement, écoulement d'eau, altération des sols, ruissellement singulier) : le choix de la méthode de confortement en dépend.

I.7.1 – Dispositifs de drainage

L'eau a fréquemment un rôle moteur dans les glissements de terrain, l'objectif du drainage est de contrôler la teneur en eau du sol et de réduire les pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture. Le .drainage peut évacuer l'eau de la zone (figure I.8) ou encore éviter l'alimentation en eau de la zone par collecte et canalisation des eaux de surface.



Figure I.8 *: Drainage de talus par barbacanes,*

I.7.2 – Construction de renforts

Le rôle de ces systèmes est d'armer la terre et de limiter son mouvement.

Le clouage : Ce dispositif transfère par un système d'accrochage (pieux, clous) les efforts du volume en mouvement vers le volume fixe (figure I.9)

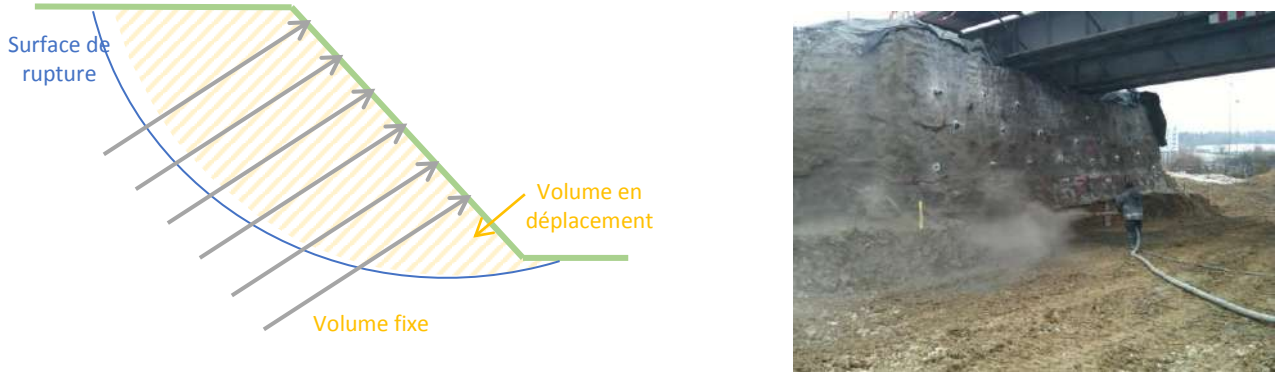


Figure I.9 *: Principe du clouage et exemple de réalisation,*

Le soutènement : C'est un écran rigide ou souple qui bloque le volume en mouvement, les efforts mis en jeu sont importants et peuvent amener à la rupture (figure I.10).



Figure I.10*: Mur de soutènement de la RD559 dans le Var, écroulé sous la poussée du glissement*



Figure I.11*: Mur de soutènement à Chinon, Image Pinon SA*

I.7.3 – Systèmes de terrassement

Remblai de pied : Le chargement en pied du glissement contrebalance les forces motrices du volume en mouvement (figure I.12).

Allègement en tête : Terrasser la tête du glissement allège la masse du volume en mouvement, et donc diminue les forces motrices (figure I.13).

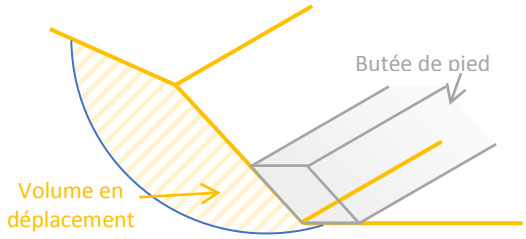


Figure I.11 : Principe du remblai de pied en tête

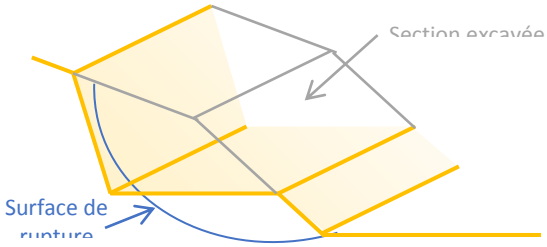


Figure I.12 : Principe de l'allégement

Parfois, il est possible de déclencher un glissement de façon précoce pour mieux le contrôler, ou de construire des infrastructures assurant que son déclenchement n'aura pas de conséquences catastrophiques. Le problème est que, le plus souvent, l'établissement d'une réponse face à un risque de mouvement prend des mois et demande les connaissances de dizaines d'ingénieurs ; le coût financier est donc très important. Il n'existe pas réellement à l'heure actuelle de solution générale au contrôle des glissements de terrain.

I.8 Détection d'un glissement

I.8.1. Il n'existe pas de glissement avéré

Dans ce cas, la recherche de signes de ruptures potentielles se fait sur le terrain.

Elle s'accompagne d'analyse de la topographie puis est complétée par de la photo-interprétation à partir de photos aériennes et/ou de télédétection.

Il est essentiel de délimiter la zone à risques et la géométrie de la rupture éventuelle, enfin d'apprécier la marge de sécurité dont dispose le versant concerné. Si des travaux devaient être prévus dans cette zone, il faut vérifier dans quelle mesure ces travaux peuvent remettre en cause la stabilité du versant.

I.8.2. Il existe un glissement avéré

Le glissement peut avoir été déclenché par des causes naturelles (pluviométrie importante) ou anthropiques (suppression de la butée de pied, réalisation d'ouvrages...).

Dans ce cas, le calcul de stabilité détermine l'écart entre la situation du versant et son état d'équilibre. Il permet d'analyser le mécanisme de rupture et de déterminer les ouvrages confortatifs nécessaires pour remédier aux mouvements des terres.

Une connaissance géologique et géomorphologique du site par la réalisation de sondages, l'identification de la nature des terrains (fins, argileux, de couverture) est indispensable pour comprendre les mouvements de terres observés. De plus une analyse du comportement des sols en présence d'eau et de leurs caractéristiques mécaniques déterminera la (les) cause(s) du glissement. De cette manière, le calcul peut coller au plus près à la réalité.

ll est souvent nécessaire de mettre en place un suivi dans le temps des mouvements de terrains, pour déterminer le plan de glissement (plan, rotationnel… présence d'une couche savon…) à l'aide d'inclinomètres descendus dans les couches pré-identifiées à risque et traversant le plan de glissement.

I.9 Conclusion

Les facteurs de risque influençant l'évolution d'un mouvement de terrain ou le déclenchant sont multiples, et parfois difficiles à quantifier. Leur intégration dans des modèles de calcul exacts est donc souvent impossible. Cependant, même si les glissements sont des phénomènes complexes et très variés, il est possible d'en proposer en première approche une modélisation simple, qui éclaire sur les mécaniques mises en jeu et leur déroulement

Chapitre II : Méthodes de calcul de stabilité des talus

II.1 Introduction

En pratique, le calcul à partir des méthodes d'équilibre limite est mené à la base des programmes sur ordinateur. Certains d'eux offrent une bibliothèque riche des méthodes de calcul, avec introduction des données du problème d'une manière conviviale et interactive. On cite à ce titre le logiciel TALREN. [3]

II.2 Présentation de TALREN

TALREN est un logiciel permettant la vérification de la stabilité d'ouvrages géotechniques, avec ou sans renforcements comme :[8]

- Les pentes naturelles
- Les pentes de déblais/remblais
- Les ouvrages en terre et les digues

II.2.1 les principaux types de données :

- Géométrie
- Caractéristique des sols (ɣ, φ, c, Δc.)Données obligatoires.
- Surcharges
- Conditions hydrauliques
- Coefficients partiels
- Options de calcul

II.2.2 Méthodes de calcul :

Les méthodes de calcul applicable par logicielle sont les suivantes: [8]

- Méthode des tranches : Fellenius& Bishop
- Méthode globale : Perturbations
- Méthode du calcul à la rupture (spirales logarithmiques, cf. J. caleçon)

II.3 Définition du critère de rupture

Le critère de rupture utilisé est le critère de Mohr-COULOMB. [2]

$$\boldsymbol{\tau = C' + \sigma \tan\varphi'} \text{(II.2.1)}$$

Formulation de la résistance au cisaillement-critère de rupture de Mohr-coulomb [3]

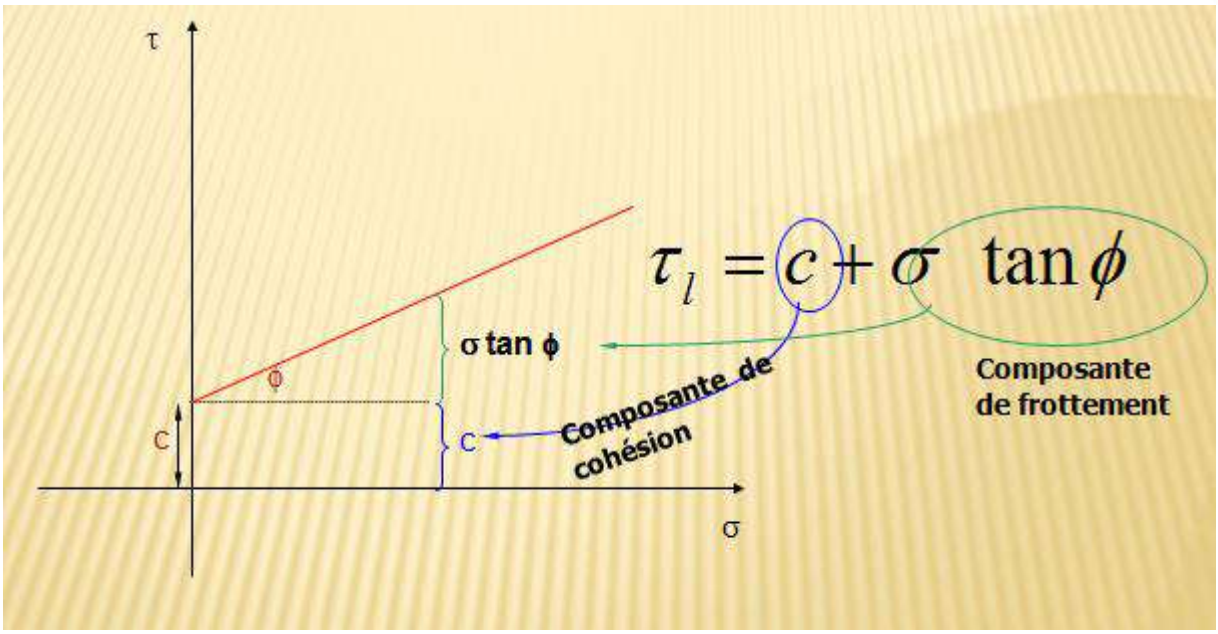


Figure II.1 : critère de rupture de Mohr-Coulomb

II.3.1 Définition du coefficient de sécurité

Le principe de calcul de stabilité des talus consiste à déterminer le facteur de sécurité**s Fs** par lequel il faut diviser la résistance de la surface de glissement pour que la masse potentiellement stable soit à l'équilibre. Il existe plusieurs définitions possibles du coefficient de sécurité chacun présente des avantages et des inconvénients nous citons ci-dessous un certain nombre de ces définitions : [2]

$$\mathbf{F}=\frac{\text{Résistance au cisaillement maximale mobilisable}}{\text{Résistance au cisaillement nécessaire à l'équilibre}} \qquad \text{(II.2.2)}$$

Il faut noter qu'avec cette définition la valeur du coefficient de sécurité est une valeur ponctuelle qui va donc dépendre de la position du point M considéré le long de la surface testée.

1. $\mathbf{F}=\frac{\text{Effort résistant}}{\text{Effort moteur}}$ (II.2.3)

Cette définition suppose que la surface testée est plane.

2. $\mathbf{F}=\frac{\text{Moment résistant}}{\text{Moment moteur}}$(définition de FrÖhlich) (II.2.4)

Cette définition suppose que la surface testée est circulaire.

1. $\mathbf{F}=\frac{H_c}{H}=\frac{\text{Hauteur critique}}{\text{Hauteur réelle}}$ (II.2.5)

Toutes ces définitions conduisent àdes valeurs une même géométrie, sauf dans le cas ou l'on se trouve à la rupture (F=1).

II.3.2 la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité

Le facteur de sécurité minimal **Fs** adopté est assez rarement inférieur à 1,5.on généralement sur la nature et l'importance des ouvrages. [2]

Le tableau ci-dessous, nous donne les valeurs de **F**sen fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entourent. [2]

F_S	Etat de l'ouvrage
< 1	Danger
1,0 – 1,25	Sécurité contestable
1,25 – 1,4	Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants.
>1,4	Satisfaisante pour les barrages

Tableau II.1 Les valeurs de **Fs** de l'état de l'ouvrage

II.4 Méthodes de calcul de stabilité des talus

Les chercheurs géotechniciens proposent plusieurs méthodes d'évaluation et de prédiction des catastrophes naturelles engendrés par les glissements de terrain. Parmi ces méthodes on trouve essentiellement selon Faure

II.4.1 les méthodes de calcul à la rupture

Lorsqu'une masse rigide peut se déplacer le long d'une surface de géométrie bien définie, le comportement est contrôlé par la loi de Mohr- Coulomb, qui donne la résistance au cisaillement. Les méthodes dites d'équilibre limite sont très appropriées car on peut écrire facilement les équations qui relient les variables ; et le nombre d'équations. Pour pouvoir résoudre les équations, il faut alors introduire des hypothèses supplémentaires et simplificatrices, de manière à égaliser le nombre d'inconnues et le nombre d'équations.

II.4.2 Les méthodes volumiques ou méthodes sans hypothèse sur la surface de rupture (de type éléments finis)

Avant la rupture, au stade de la pré-rupture, le massif de sol ou de roche est continu et son comportement ne peut être analysé par des méthodes d'équilibre limite, car on ne peut pas mettre en évidence une surface de rupture. Les phénomènes à décrire sont nombreux et complexes (élasto-plasticité, fluage, rupture progressive). Il est alors nécessaire de considérer des méthodes volumiques prenant en compte l'ensemble du volume pour analyser les mouvements ainsi que leur évolution dans le temps

II.4.3 Les méthodes énergétiques

L'amplitude et la vitesse des mouvements dépendent essentiellement de la redistribution de l'énergie potentielle devenant disponible au moment de la rupture. Pour les grandes vitesses et les grands déplacements, il faut alors considérer des approches énergétiques.

Les méthodes d'équilibre limite sont largement utilisées pour leurs formes simples et leurs résultats qui se rapprochent aux méthodes rigoureuses. Dans ce travail on s'intéresse à ces méthodes à la rupture.

II.5 Méthodes de calcul à la rupture

La modélisation des problèmes géotechniques complexes.

Elle nécessite :

- La définition de la géométrie du problème, pour que les frontières du calcul n'influencent pas sur les résultats.
- Le choix d'une loi de comportement du sol, de type Mohr-Coulomb, Cam-Clay, … etc.
- Les caractéristiques des ouvrages et des éléments d'interface pour introduire l'interaction sol-structures et les conditions hydrauliques.

L'état initial des contraintes et des pressions interstitielles

II.5.1 Méthodes des blocs :

Les méthodes de calcul à la rupture sont des méthodes ou l'analyse et le calcul sont locaux, limités sur une ligne ou une surface de rupture, réelle ou potentielle, et s'opposent donc aux méthodes volumiques. Du fait de cette restriction, les hypothèses sont très fortes, mais les paramètres sont moins nombreux et plus faciles à déterminer.

Ces techniques sont basées sur les hypothèses suivantes : le massif en mouvement peut être décomposé en un ensemble de blocs rigides indéformables qui frottent les uns sur les autres.Le comportement de l'interface est presque toujours défini par la loi de Coulomb. Dans ce cas :

- le calcul d'équilibre est fait à la rupture ;

- les équations résolvantes sont les équations de la statique ;

- le coefficient de sécurité F est spatialement bien déterminé (on peut considérer par exemple F constant partout).

II.5.2 Méthodes des tranches :

Le découpage de la masse en mouvement en tranches verticales permet le développement d'un très grand nombre de méthodes.

Trois hypothèses sont ajoutées par rapport à la méthode des blocs :

- les bords des blocs sont devenus verticaux.
- le point de passage de la force à la base de la tranche est situé au centre de cette base.
- le coefficient de sécurité est unique et ne s'applique qu'à la base des tranches

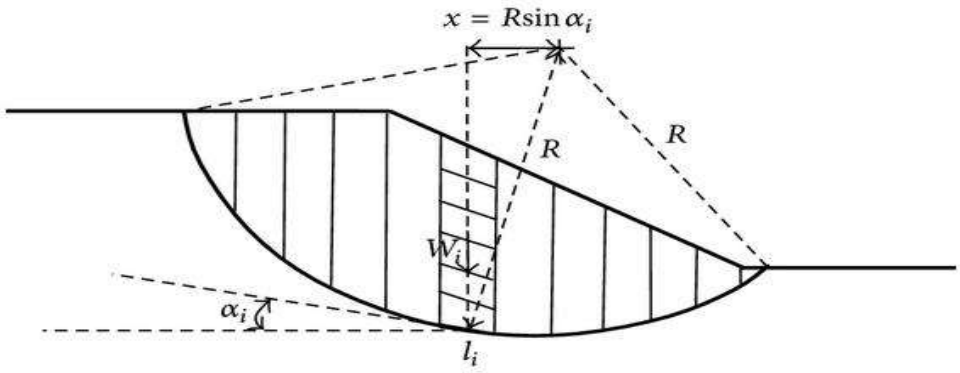


Figure II.2 :Méthode des tranches (méthode de Fellenieus**)**

Parmi les méthodes les plus couramment utilisées on considère :

- La méthode de Fellenius.

- La méthode de Bishop simplifiée.

- La méthode de Janbu.

I.5.2.1 La méthode de Fellenius.

Hypothèses :

- La méthode suppose une surface de glissement circulaire et divise le talus en tranches
- Elle néglige les forces entre les tranches (verticales et horizontales),

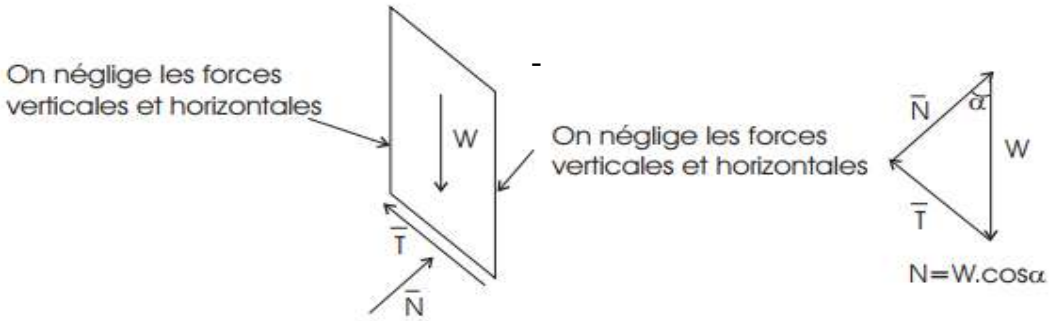


Figure II. 3 *: Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius*

La méthode de Fellenius vérifie l'équilibre global des moments tout en négligeant les forces entre tranches comme nous venons de le voir, ce qui fait qu'en remplaçant dans l'équation par la valeur trouvée (N=W .cosα), on aura :

$$F = \frac{\sum C'L + (W\cos\alpha - U\,L)\tan\varphi'}{\sum W\sin\alpha} \qquad \text{(II.2.6)}$$

C'est une méthode moins précise que les autres méthodes des tranches et elle est sûre pour des sols homogènes seulement.

II.5.2.1 Méthode simplifiée de BISHOP

Hypothèses :

- la méthode suppose une surface de glissement circulaire ;
- elle néglige les forces verticales entre les tranches (figure II.4).

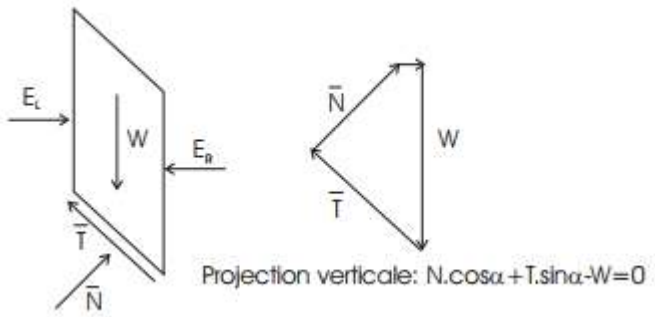


***Figure II. 4**: Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Bishop simplifiée*

La méthode de Bishop vérifie l'équilibre des moments ainsi que l'équilibre vertical pour chaque tranche, mais elle néglige l'équilibre horizontal des forces.
L'équilibre vertical donne l'équation [suivante et d'après l'hypothèse faite sur les forces entre les tranches ($X_R - X_L = 0$) nous aurons

$$F = \frac{\sum[C'L + (W - u\,L\cos\alpha)\tan\varphi']\,m_\alpha}{\sum W\sin\alpha} \qquad \text{(II.2.7)}$$

$$\text{où } m_\alpha = \cos\alpha\left(1 + \tan\alpha\frac{\tan\phi'}{F_m}\right) \qquad \text{(II.2.8)}$$

Nous constatons que le coefficient de sécurité F_m (dû à l'équilibre moment) se retrouve dans les deux membres de l'équation, et donc, la résolution passe par des techniques itératives. Généralement, on prend la valeur du coefficient obtenue avec la méthode de Fellenius comme point de dé-

part de cette itération. Cette méthode est plus précise que celle de Fellenius et le calcul se prête particulièrement bien au traitement par ordinateur

II.5.2.3 Méthode simplifiée de JANBU [1956]

Lorsque la surface de glissement s'écarte trop de la forme circulaire, Janbu propose de considérer la force et le moment d'équilibre d'une tranche verticale typique et la force d'équilibre de toute la masse glissée.Janbu suppose la ligne d'action des forces inter tranches située au tiers de la hauteur destranches.

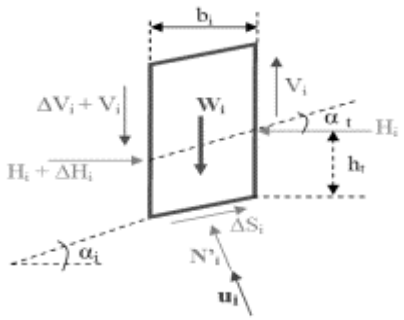


Figure II.5 : équilibre d'une tranche de sol (Janbu)

L'équilibre horizontal nous donne :

$$F = \frac{\sum b_i s_i \frac{1}{\cos^2 \alpha_i}}{\sum (w_i + \Delta v_i) \tan \alpha_i} \qquad \text{(II.2.9)}$$

Avec

$$S_i = \frac{c'_i + (\frac{w_i + \Delta v_i}{b_i}) \tan \varphi'_i}{1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \varphi'_i}{F}} \qquad \text{(II.2.10)}$$

II.5.2.4 Méthode Suédoise modifiée, U.S. Army Corps Of Engineers [1970]

Hypothèses :

- la méthode suppose également une surface de glissement quelconque (non circulaire);
- Contrairement à la méthode de Janbu, elle suppose que les forces entre les tranches sont inclinées parallèlement à la pente moyenne (figure II.5).

Comme la méthode de Janbu, elle vérifie l'équilibre horizontal et vertical des forces, mais elle néglige l'équilibre des moments.

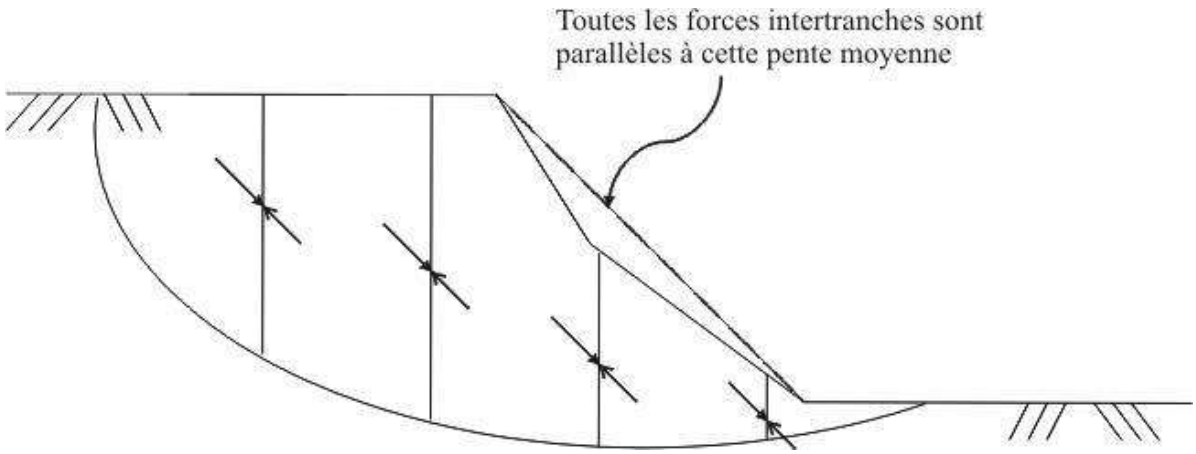


Figure II.6.*: Inclinaison des forces dans la méthode Suédoise modifiée*

Cette méthode est moins précise qu'une solution avec l'équilibre complet des forces et dépend de l'hypothèse faite sur l'inclinaison des forces entre les tranches.

II.6 Conclusion

La variété des méthodes de calcul implique des résultats différents sur même portion étudie, cela nécessite à associe chaque caractéristique d'un sol à sa méthode adéquate qui donne une meilleure approche possible.

Chapitre III : Cadre général de la région

III.1 Introduction

Ce présent chapitre donne brièvement le contexte général de talus du déblai affectés ainsi les observations de désordre de glissement que subit ce dernier,

La zone affectée par le glissement de terrain est situé sur l'échangeur nord de la ville de Seghouane du tracé de dédoublement de la RN01, situe environ à 40.00 km au sud du chef-lieu de la Wilaya de Médéa,

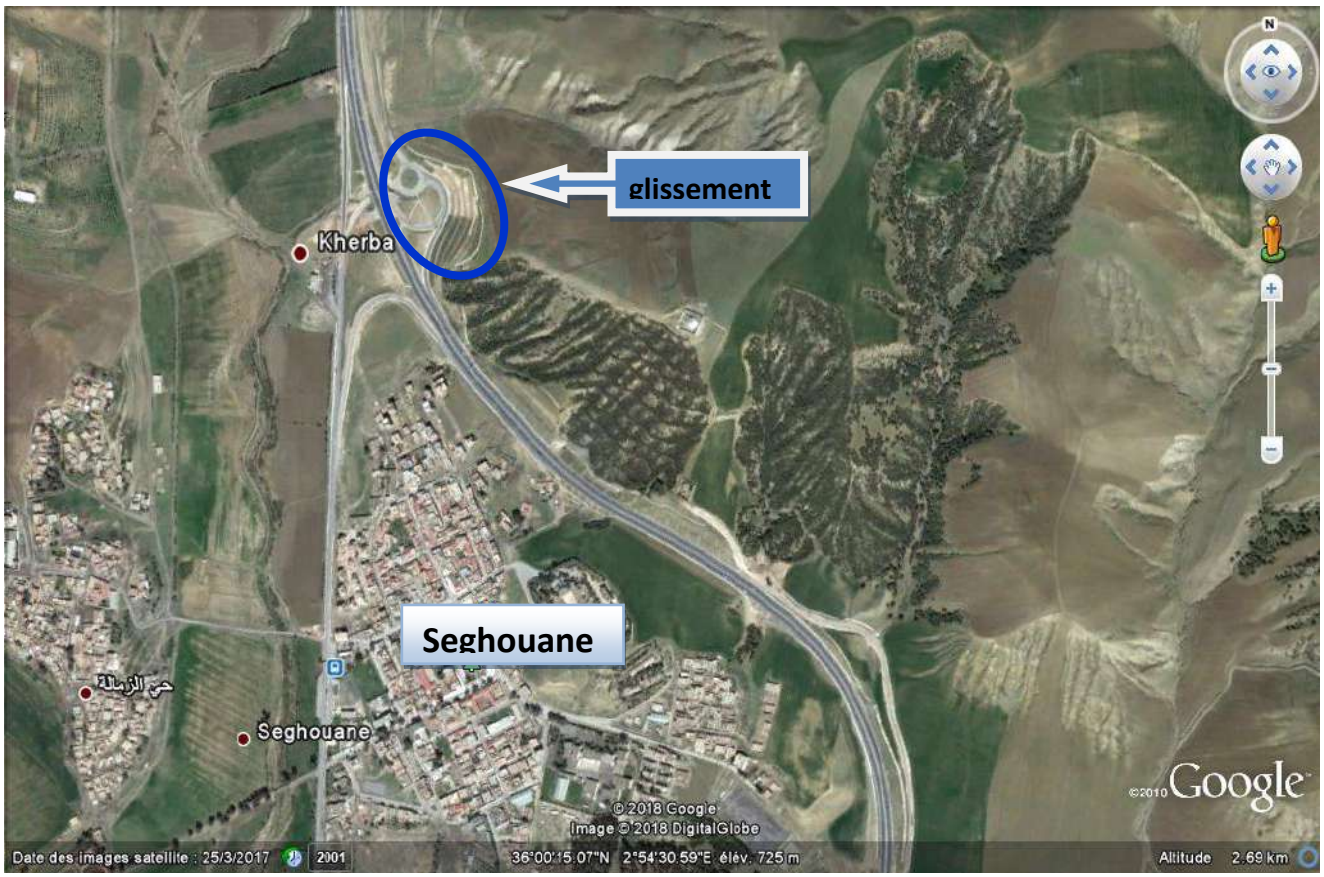


Figure III.1 *: vue satellite du glissement en Google Earth*

III.2 historique des glissements du réseau routier dans la wilaya de Médéa

Le réseau routier de la Wilaya de Médéa a toujours connu des dégâts importants ; suite aux glissements de terrain qui surviennent chaque hiver pluvieux. Les glissements de terrain observés sont liés aux conditions géomorphologiques néfastes et aux eaux (eaux de nappe, eaux de ruissellement). Cependant, les travaux de terrassement et le mode de culture réalisés par l'homme, ont certainement favorisé (voire déclenché) des glissements de terrain sur des versants instables.

Tous les glissements observés présentent un certain nombre de caractères communs, qui sont:

a) Relief

La région de Médéa est caractérisée par un relief très accidenté. La morphologie des versants est mouvementée, caractérisée par des discontinuités de la pente : talus abrupts, replats, et parfois des versants à contre pentes, loupes de glissements.

b) Contexte hydrologique

Le réseau hydrologique est également caractéristique de la morphologie et de la géologie des versants. En effet, les panneaux gréseux en crête de versants et les thalwegs assurent un drainage naturel des eaux (eaux de nappe, eaux de ruissellement). Les eaux drainées alimentent les cours d'eaux : Oued Chelif, Oued El Mellah, Oued Chiffa et Oued Harbil.

La région de Médéa est caractérisée par une pluviométrie variante entre 700 et 800 mm par an, plus de 40% des précipitations sont enregistrées durant la période de Décembre à fin Février. Pendant la saison hivernale (fin Décembre, fin Février), des chutes de neige sont fréquentes sur les reliefs dépassant les 800 m d'altitude.

III. 3 Aperçu géologique régional :

La région de la wilaya de Médéa appartient à la chaîne montagneuse de l'Atlas Tellien et à l'extrémité nord des Hauts Plateaux. Les formations du Crétacé sont généralement développées dans la partie nord de la wilaya et les dépôts du Cénozoïque dans sa partie sud. Berrouaghia, Zoubiria et Seghouane, avec la RN01, sont installés sur des terrains sédimentaires du Crétacé et sur des sédiments du Quaternaire.

Il faut souligner la présence d'une faille au nord-est de Berrouaghia. Au nord du Djebel Sebbah et au sud du Djebel Saksak se localise la faille de direction est-ouest nommée «Zone de Kerroucha». La ville de Berrouaghia se localise sur des sédiments des deux âges différents :

Dans la zone septentrionale de la ville se trouvent des terrains du Crétacé inférieur correspondants à des calcaires noirs en bancs bien lités et des séries détritiques d'argiles et quartzites qui s'étendent vers le nord.

Tandis que le noyau de Berrouaghia et la zone méridionale sont développés sur des terrains sédimentaires du Crétacé supérieur (Cénomanien).

De Berrouaghia à Seghouane, les matériaux présents sont du Crétacé supérieur correspondants à des marnes de différents types et âges :

- Au sud de la ville de Berrouaghia, des marnes brunes avec des rares intercalations de calcaires fins à Fissurines. Les bancs calcaires augmentent de fréquence et de puissance au sommet de la série.

- Dans la zone du Domaine Sidi M'Hamed, une unité de marnes gris-bleuté, à petites intercalations calcaires, du Coniacien.

- Au fur et à mesure qu'on s'adresse vers le Djebel Ksaïda et jusqu'à la ville de Zoubiria, les marnes grises passent à être d'âges comprises entre le Coniacien supérieur et le Sénonien supérieur.

Cette couche très étendue est formée par une série monotone de marnes grises à gris olivâtre, ferrugineuses, à rares bancs métriques de calcaires très durs, gris à beiges et par une importante série de marnes grises à brunes, à nombreux prismes d'Inocérames.

Cette généralisation de marnes de la zone est interrompue seulement à l'issue de la ville de Berrouaghia par un affleurement linéal de bancs massifs de calcaire gris clair à pâte fine, avec, à la base, des rares niveaux marneux à débit schisteux du Turonien.

Au fond de la vallée, depuis Zoubiria jusqu'à Seghouane, les marnes sont superposées par des sédiments quaternaires étant, soit des matériaux fins déposés par le fleuve Akoum ou Touila, des éléments traînés par des eaux de ruissellement, soit des matériaux qui glissent par les pentes des monticules proches.

Un ensemble grossier de cailloutis existe au nord du village de Zoubiria. La route nationale actuelle parcourt parallèlement le fond de la vallée avec l'oued Akoum à travers les matériaux quaternaires mentionnés. La largeur occupée par ces matériaux est de peu envergure, ainsi que l'ampliation de la chaussée pour le dédoublement de la RN01 sera réalisée sur des marnes grises du Santonien et sur des sédiments quaternaires.

Dans la zone aux alentours de Seghouane, se rencontrent deux fleuves, l'oued Akoum et l'oued Seghouane, ceux qui provoquent souvent des inondations amplifiant ainsi la zone d'alluvions.

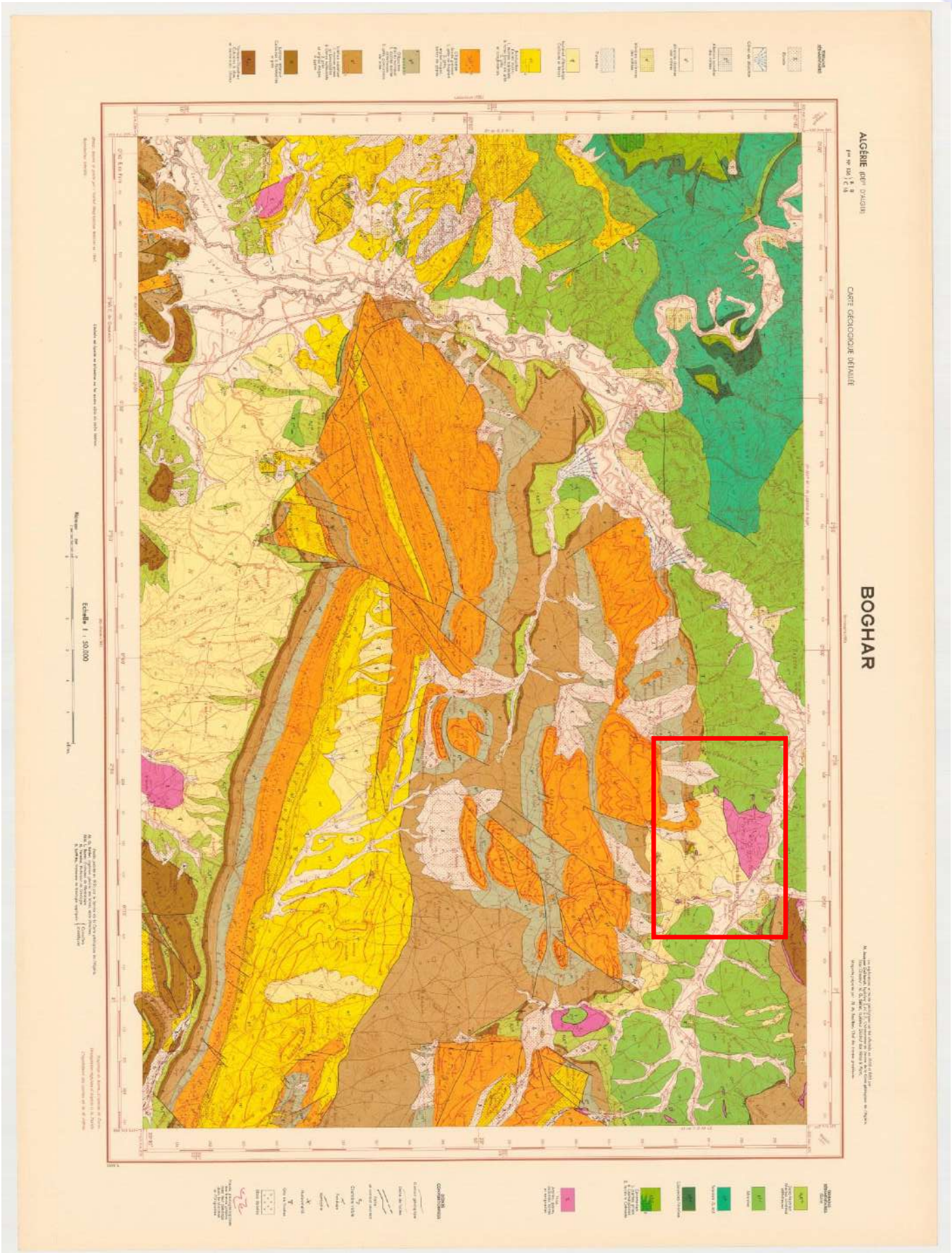


Figure III.2 : Carte géologique détale de la zone

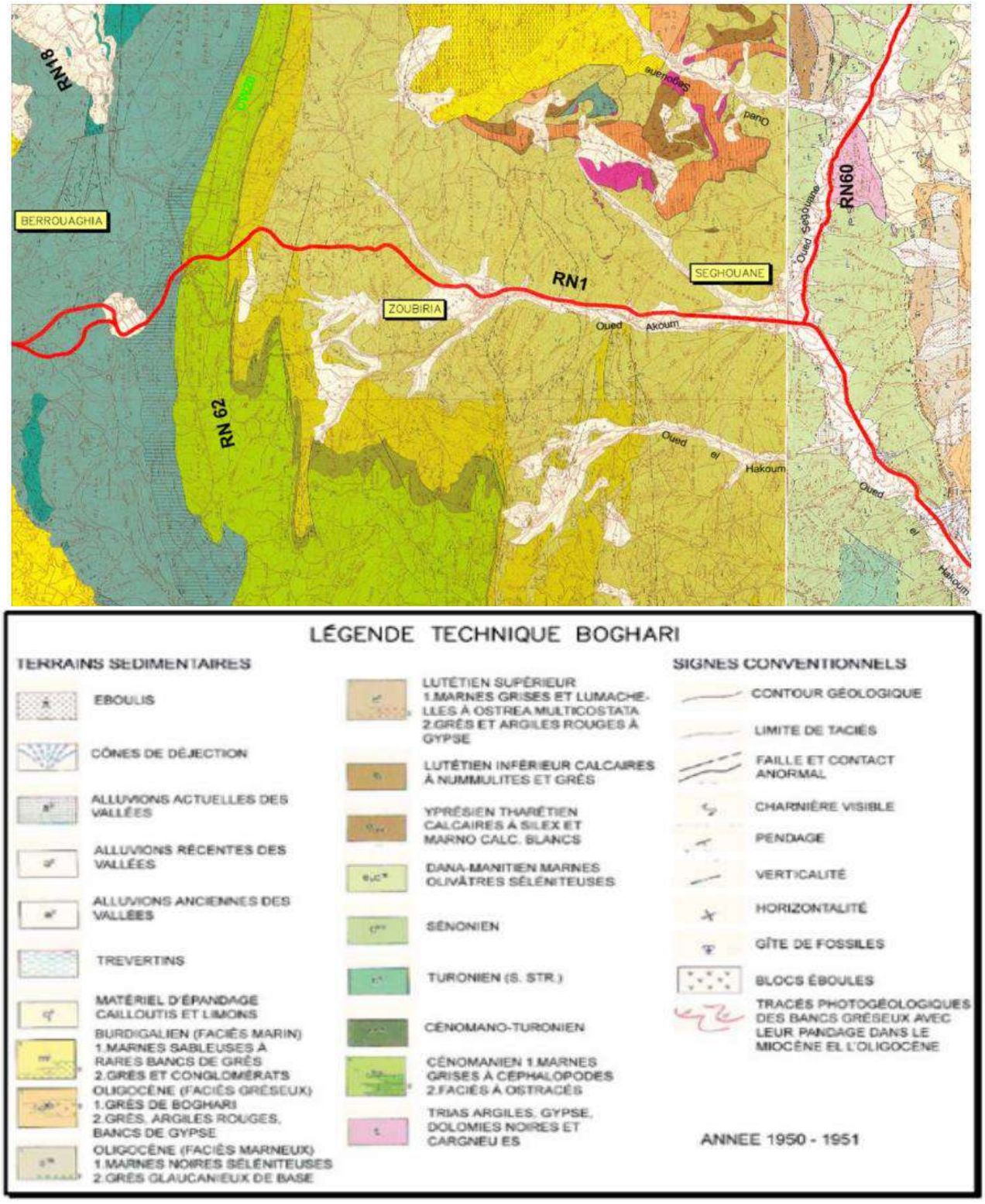


Figure III.3 : Carte Géologique détaillée de BERRUAGHIA publié Géographique National – 1965.

III.4 Aperçu hydrologie

La wilaya de Médéa est subdivisée en 3 bassins versant principaux :

Le bassin de Chelif avec l'oued le plus important de l'Algérie occupe la partie Sud Ouest la Wilaya (en partie) Ksar Elboukhari

Le bassin de l'Oued Isser est situé immédiatement à l'Est de l'oued Chellif ; ces deux oueds ont une limite commune

Le bassin de Matidja est représenté au niveau de la wilaya par le Oued Chiffa qui prend naissance au niveau de la région de Ouzera' c'est l'oued important de la Matidja. Il diverse dans l'oued Mazafran (Zeralda).

Tous ces Oued sont alimentés principalement à la faveur des précipitions atmosphérique et de source surplombant ces Oueds. Les nappes d'eau souterrain peuvent alimenter les oueds suivant les saisons puisque les relations Oued nappes existent Les Oued Chellif (le plus important d'Algérie) prend sa source dans l'atlas saharien' aux environs d'Aflou et se jette dans la méditerranée. Le haut de Chellif (ce qui intéressé) débute dans la dépression fermée de Bouguezoul où plus en aval ou un barrage réservoir a été édifié .il s'agit du barrage Ghrib qui alimente entre autres les villes de Médéa et Berrouaghia en eau potable

III.5 Climat de la région

La commune de Médéa, qui abrite le site étudié, dispose d'un climat méditerranéen semi continental, froid et humide en hiver, tempéré au printemps et chaud et sec en été. Médéa reçoit une quantité considérable de pluie atteignant 500 mm par an, avec une moyenne de pluviométrie élevée, particulièrement en décembre, Janvier et Février

III.6 Lithologie

Un sondage carottier a été faite ai niveau de la zone étudie. Les résultats sont indiqués dans le tableau III.1

Sondage	X	Y	Longueur (m)
SC-001-ECH-0.1-S0	491.451	3.984.496	20,0
Profondeur (m)	**Lithologie**		
0.00-0.60	Terre végétale		
0.60-7.50	Marne argileuse brunâtre et ferme avec la présence de concrétions carbonatée et des traces de gypse		
7.50-9.50	Argile brunâtre, compacte et oxydée		
9.50-11.50	Marne argileuse, gypseuse et ferme		
11.50-20.00	Marne bleuâtre, micacée compacte et fragmentée avec un passage friable entre 17.20 et 17.3, oxydée entre 12.50 et 13.0m et altérée entre 12.0 et 12.50m		

Tableau III.1 : Sondage carottée réalisée dans la zone d'étude



Figure III.5 Caisse de sondage n°01



Figure III.6 Caisse de sondage n°02

III.6 Sismicité

La région Tellienne est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique naturelle élevée. Cette sismicité est liée aux mouvements tectoniques complexes de convergence de la plaque africaine au sud et de la plaque eurasienne au nord. La tectonique de compression qui en découle génère de nombreuses failles actives dont l'interaction peut générer des séismes.

D'après les règles parasismiques algériennes (R.P.A 2003), la région de Médéa est classée dans la zone (II a) où la sismicité est moyenne.

En analysant la sismicité historique et la classification sismique de la région de Médéa, il ressort que le facteur sismique est à prendre en compte dans l'aménagement.

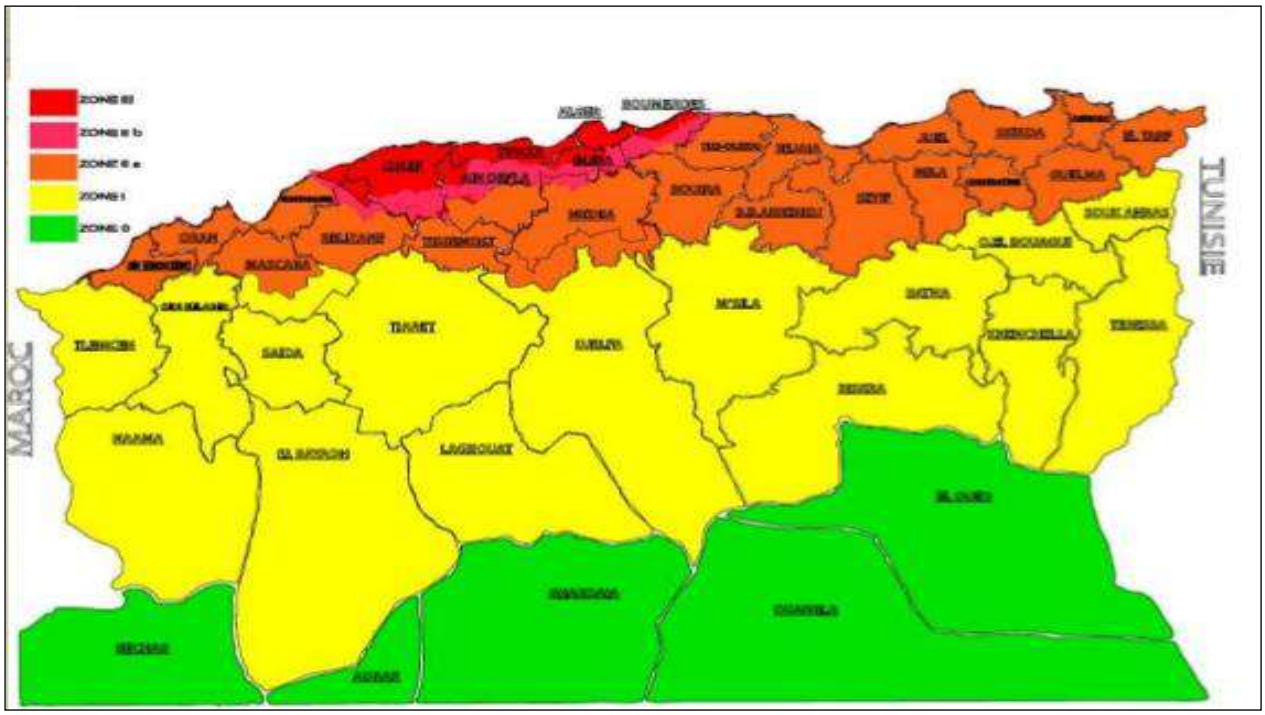


Figure III.7 : Carte de zonage sismique du territoire national- RPA2003

III.7 -La chronologie de glissement de la zone étudie

La zone affectée par le glissement a subi des autres glissements précédemment. Ci-dessous il est indiqué brièvement les antécédentes de la zone :
Le mois de novembre de 2011 un glissement s'est produit dans les premières phases d'excavation du déblai. Ce déblai avait une pente 2H:1V. Le glissement produit était relativement superficiel et avec unes dimensions relativement réduites comme on peut le voir dans la photo suivante :



Figure III.8 : Premier glissement

Après une visite sur site la solution proposée consistait à :

- Exécution d'un enrochement localisé en remplissant l'espace de la zone glissée (après avoir purgé le terrain remué).
- Exécution d'une tranchée drainante dans la partie supérieure du déblai
- Continuer l'excavation du déblai selon le DEX (pente 2H :1V avec risbermes de 3m de largueur chaque 8m d'hauteur)

Cette solution finalement n'a pas été exécutée.

L'excavation a été réalisé avec une pente 2H :1V avec risbermes de 3m de largueur chaque 5.0,m d'hauteur. Avec cette dernière excavation un deuxième glissement a été survenu. Il faut signaler que le Dispositif d'assainissement n'a pas été réalisé (fossé de crête et descente d'eau)



Figure III.9 : deuxième glissement

Après ce deuxième glissement l'entreprise a procédé à la réalisation d'un enrochement sur un géotextile au niveau du talus en parallèle la réalisation des dispositifs d'assainissement. On ne dispose pas de données de l'épaisseur de cet enrochement qui a été réalisé sur la totalité des banquettes du talus dans sa partie Nord.
Le troisième glissement, objet du présent rapport, s'est survenu en affectant toute la zone avec la couche d'enrochement. Il s'agit donc d'un mouvement généralisé dans toute la zone de l'enrochement.



Figure III.9 : deuxième glissement

III.8 les observations des désordres

Les constats sur place sont résumés comme suit :

- Déplacement d'une masse de sol ver l'aval du talus
- Des fissures importantes au niveau des banquètes de glissement
- Érosion interne des couches supérieures dues au suintement des eaux pluviales au niveau du déblai
- La présence de l'enrochement favorise le glissement (augmentation de la force motrice)

III.9 -Conclusion

L'étude générale de la région doit comporter tout détails pour aide l'ingénieur à faire une bonne conception et mettre tous les paramètres en valeur.

L'historique de glissement de la région nous permet d'avoir les causes majeures déclenchant le glissement en collimateur.

Chapitre IV : Analyse d'alternative

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous étudierons le coefficient de sécurité d'un cas réel concernant la zone affectée de la ville Saghouane en utilisant la vérification par les logiciels de calcul qui sont basés sur les méthodes des équilibre limite, l'étude consiste à faire une analyse l'alternative associes dans chaque cas de figures un facteur de sécurité restreinte. La vérification faite dans les deux cas statiques et sismique

IV.2 Étude numérique et paramétrique d'un talus de sol homogène

Le but de cette étude est de déterminer un modèle numérique pour la zone étudie de la ville de Saghouane en utilisant le logiciel TALREN 4 afin d'obtenir la facture de sécurité Fs>1.5

IV.2.1 Analyse à l'inverse

Une étude à l'inverse du glissement produit a été réalisée afin de déterminer les paramètres de résistance du terrain de la zone d'étude. Selon les observations sur site et les données des levés topographiques réalisées on peut réaliser

une interprétation du mécanisme de rupture de la masse glissée. Dans la figure suivante on montre cette interprétation :

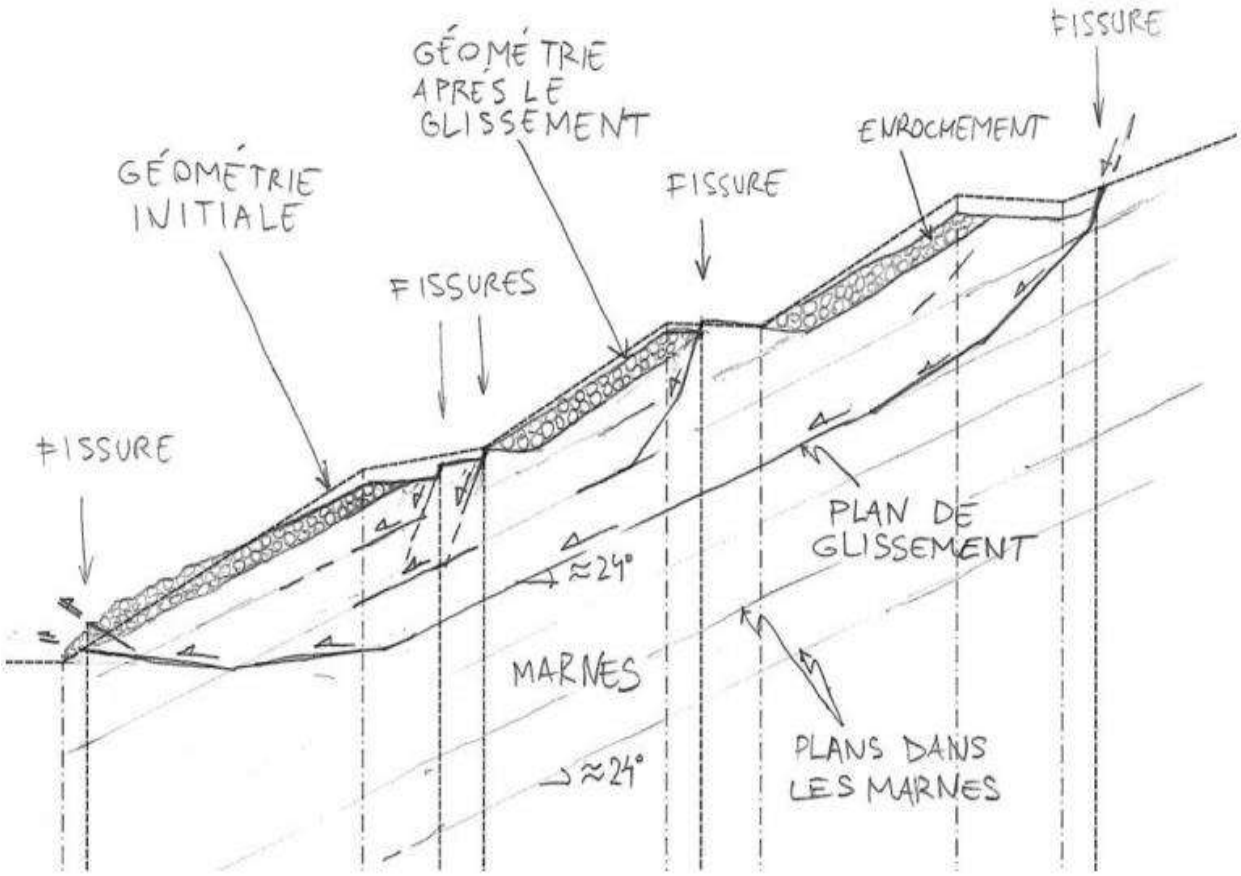


Figure IV.1 : Schéma du mécanisme de rupture du glissement

IV.2.2 Présentation du modèle étudié

La coupe de cas est représentée sur la figure. Le modèle à une hauteur de 25 m et une largeur de 80 m. contient une seule couche de la marne.
Les caractéristiques physico-mécaniques sont représentées dans le tableau suivant :

Type de sol	$\Upsilon_{sat}(KN/m^3)$	$C'(KN/m^2)$	ϕ' °
Marne	**20**	**17**	**5**
Enrochement	**17**	**0**	**40**

Tableau IV.1 : Paramètres géotechniques du sol

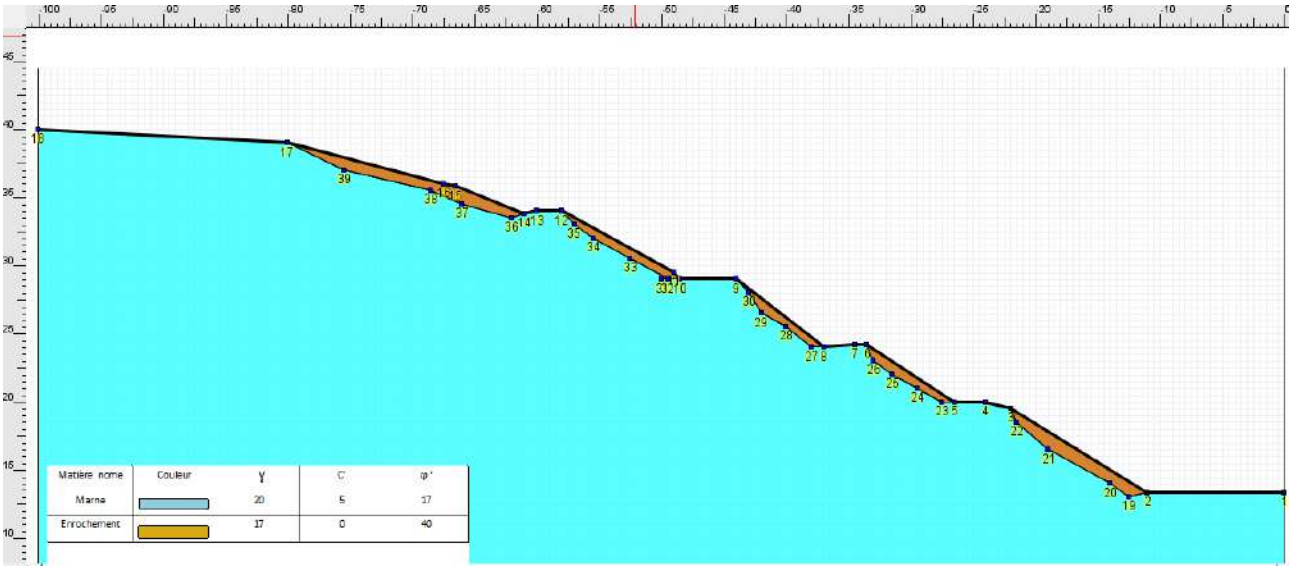


Figure IV.1 le talus à l'état initial

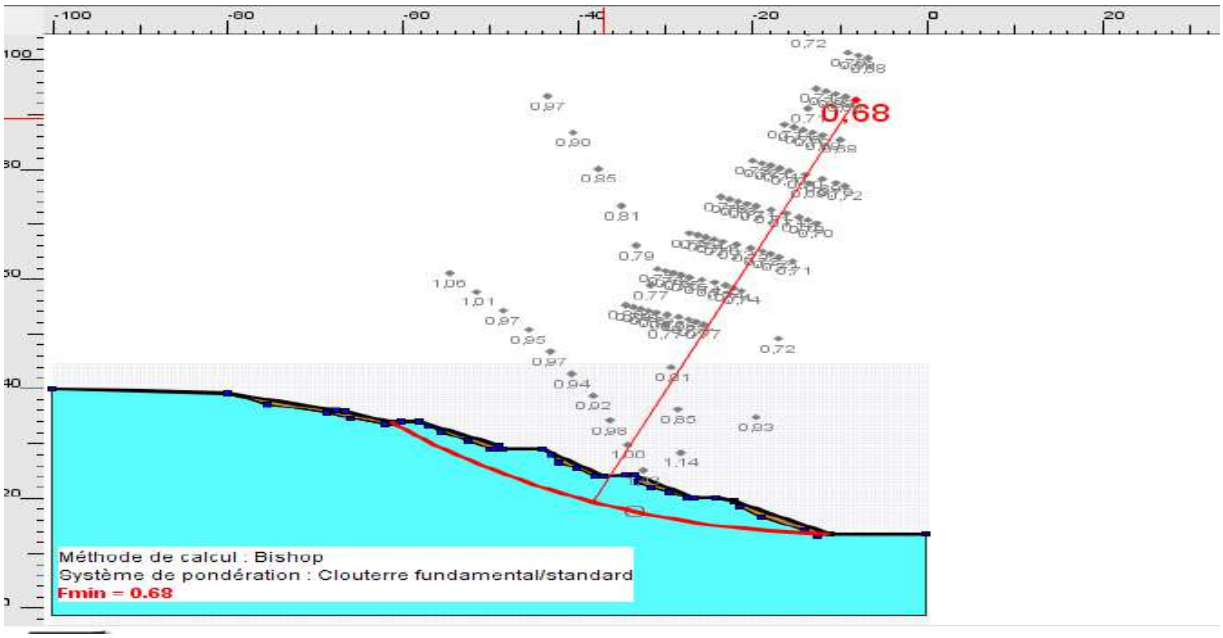


Figure IV.2 : Schéma du mécanisme de rupture du glissement

Comme on peut le voir dans la figure ci-dessus, le glissement profite la présence des plans dans
la marne pour se développer.
Comme on peut le voir dans la figure antérieure, les paramètres géotechniques obtenus pour le terrain de la masse glissée sont les suivants :

$C' = 5kN/m^2$
$\phi' = 17°$

IV.3 Méthodologie de travail

On a réalisé un calcul de stabilité globale avec le logiciel TALREN 4 afin de reproduire le glissement et obtenir les paramètres géotechniques associés (Coefficient de sécurité>1.5).

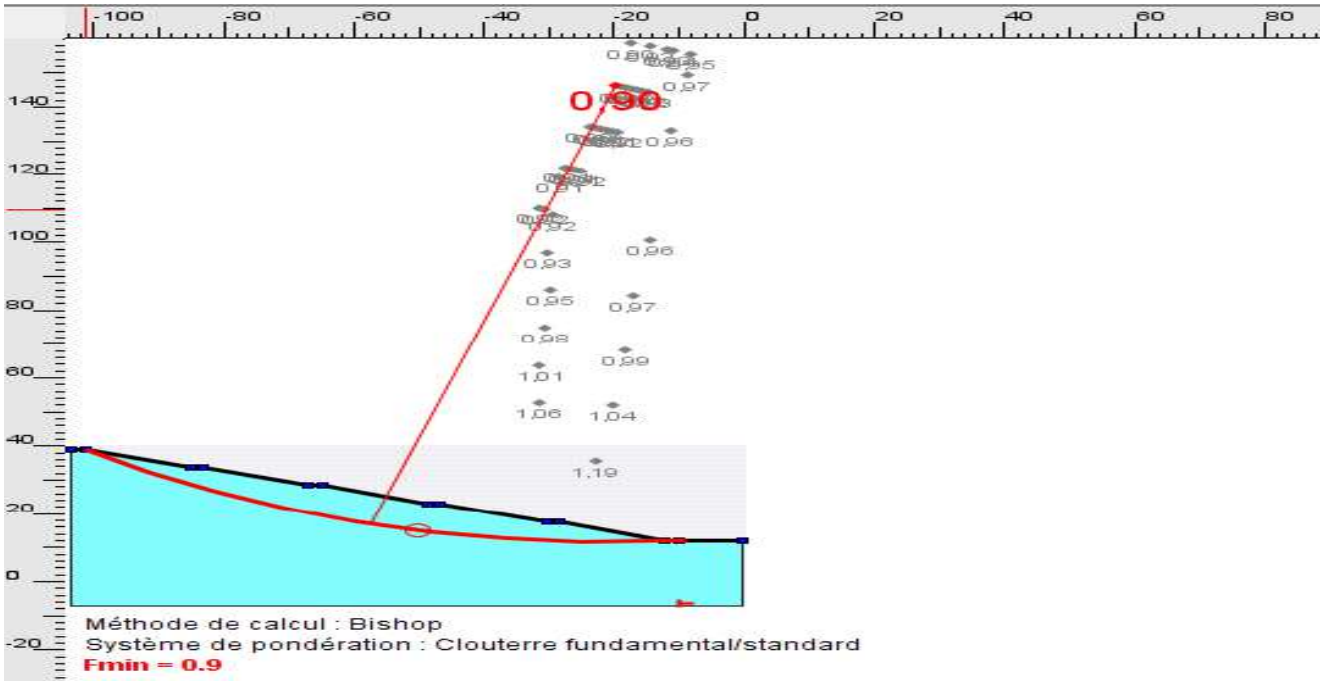
Plusieurs séries de calcul ont été effectuent afin de vérifie toutes les probabilités de rupture observée.

IV.4 Analyse d'alternatives

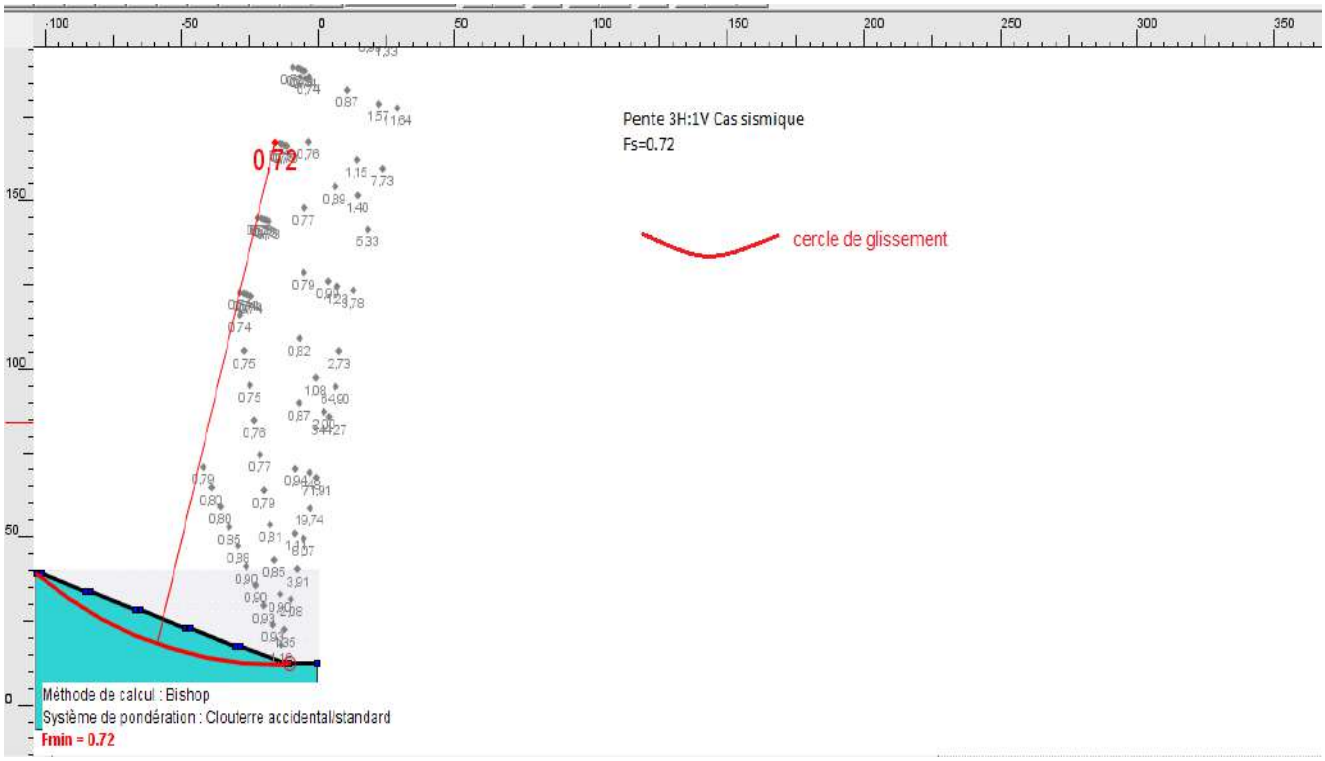
Dans la présente section on analyse une série de mesures de confortement afin de trouver la meilleure solution pour conforter le déblai. On a utilisé la méthode de Bishop simplifié avec l'aide du logiciel TALREN 4

IV.4.1 Pente 3H : 1V

La première mesure de confortement analysée consiste à adoucir la pente du déblai afin de le stabiliser. La présence de plans de débilité dans la marne, avec une inclinaison de 24º, implique que la pente stable doit être inférieure à cette valeur.



FigueIV.3 : Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 3H :1V; Cas statique



FigueIV.4 : Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 3H :1V; Cas dynamique

Discussion

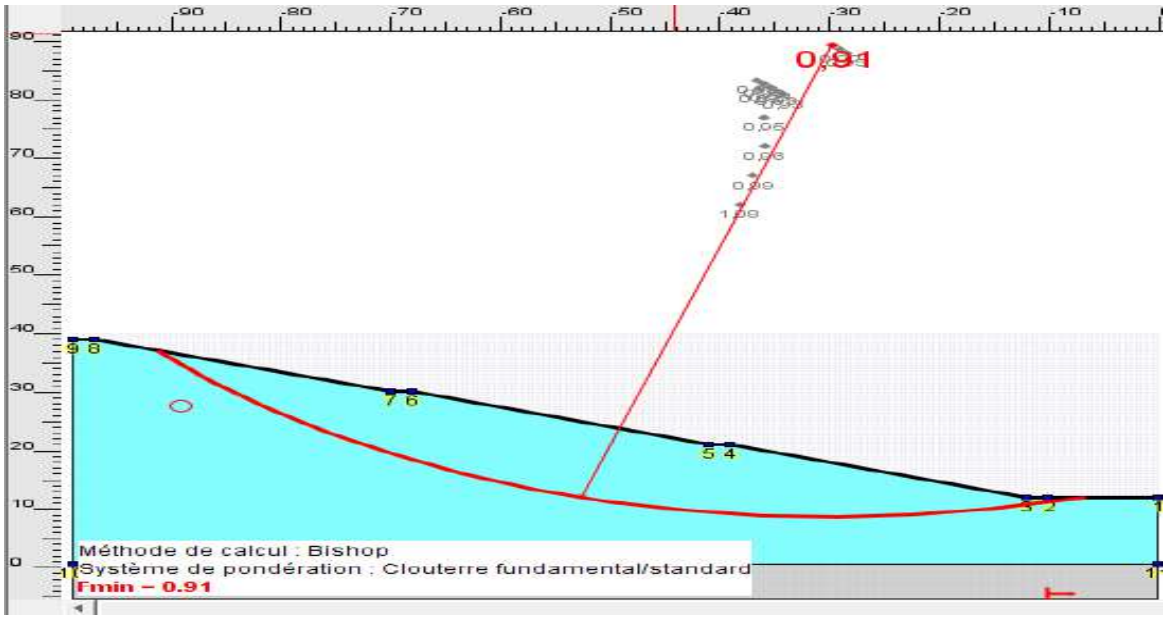
Le cas statique est instable (CS=0.9 <CS statique=1.5).
Le coefficient de sécurité obtenu pour le cas de séisme est inférieur à 1.3 (CS=0.72<CS séisme=1.3), donc ce cas est instable

Situation	Coefficient de sécurité	Observation
État statique	0.9	Talus instable
État séisme	0.72	Talus Instable

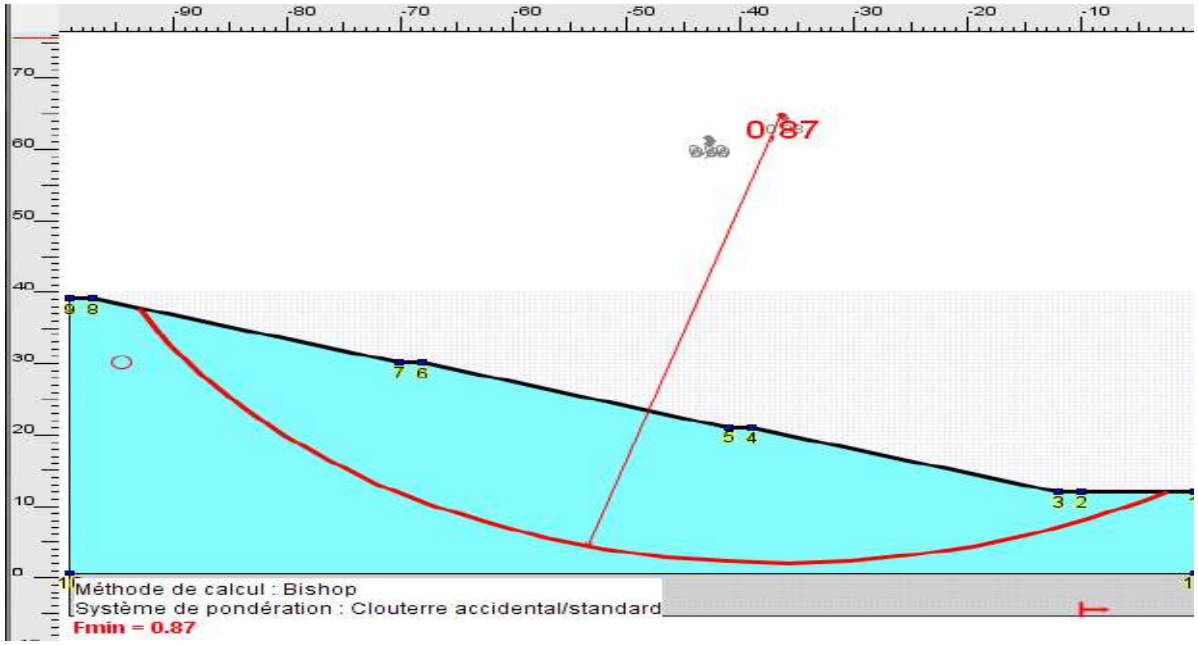
Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif -Pente 3H :1V

IV. 4.2 Pente 4H :1V

Dans ce cas les coefficients de sécurité obtenus sont les suivants



FigueIV.5 : Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V; Cas statique



FigueIV.6: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V; Cas dynamique

Discussion

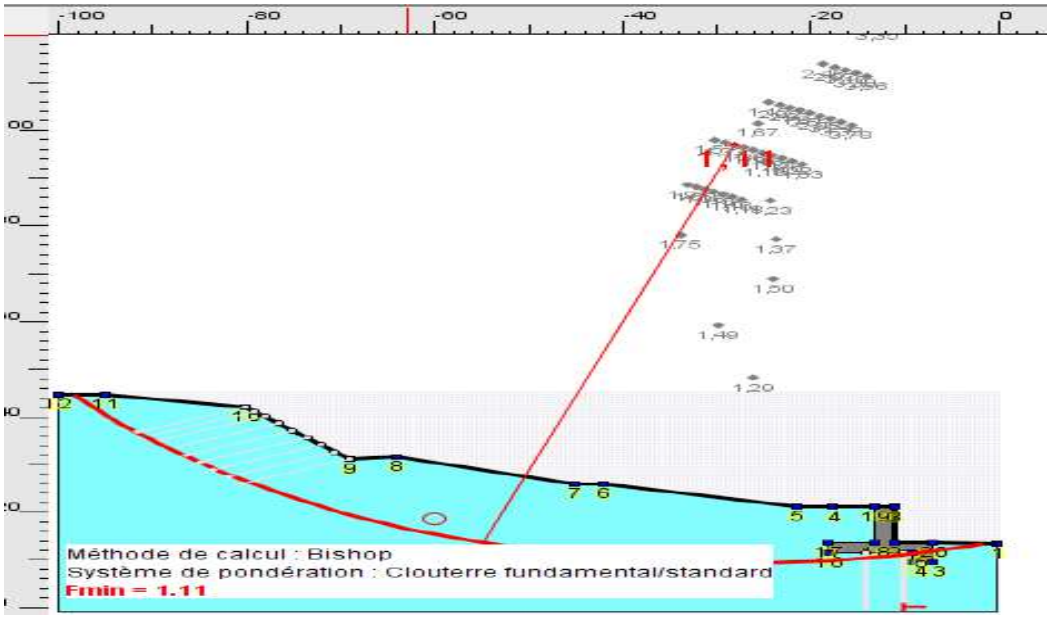
Le cas statique est instable (CS=0.91 <CS statique=1.5).
Le coefficient de sécurité obtenu pour le cas de séisme est inférieur à 1.3 (CS=0.87<CS séisme=1.3), donc ce cas est instable

Situation	Coefficient de sécurité	Observation
État statique	0.91	Talus instable
État séisme	0.87	Talus instable

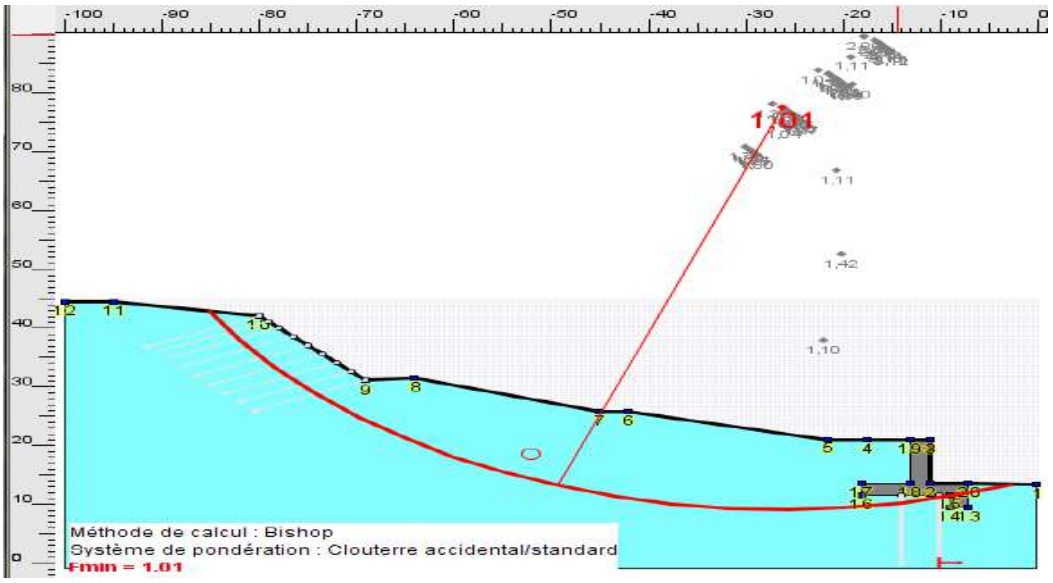
Tableau IV.3 : Tableau récapitulatif -Pente 4H :1V

IV. 4.3 Mur de soutènement

Une autre possibilité de confortement est l'exécution d'un mur de soutènement au pied du déblai. Avec cette solution on dispose un poids stabilisateur au pied du glissement.
Dans une première approche on a étudié un mur de soutènement en béton armé de 7.5m d'hauteur.
Dans les figures suivantes on montre les résultats de l'étude :



FigueIV.7 : Calcul de stabilité globale ; Mur de soutènement ; Cas statique



FigueIV.8: Calcul de stabilité globale ; Mur de soutènement; Cas dynamique

Discussion

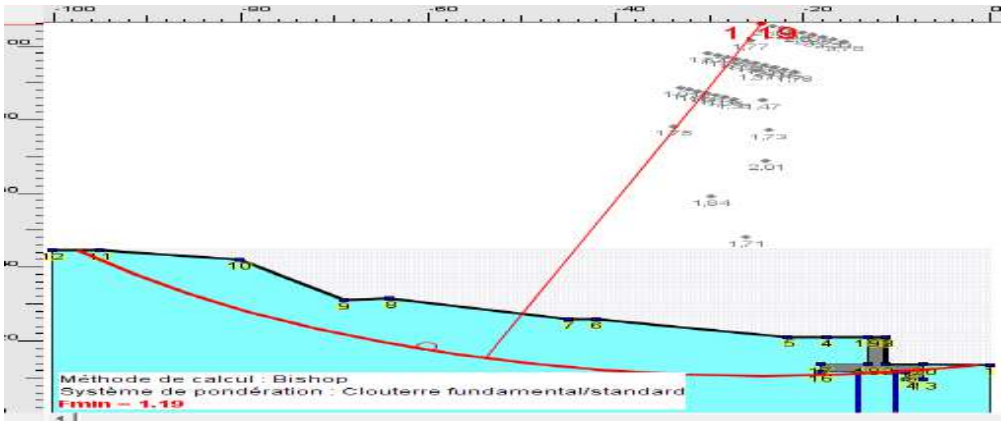
Comme on peut le voir dans les figures antérieures, le cas statique est stable mais il n'a pas le niveau de sécurité requis (CS=1.1<CS statique=1.5). Le coefficient de sécurité obtenu pour le cas de séisme est inférieur à 1 (CS=1.01<CS séisme=1.3), donc ce cas est instable.

Situation	Coefficient de sécurité	Observation
État statique	1.1	Talus instable
État séisme	1.01	Talus Instable

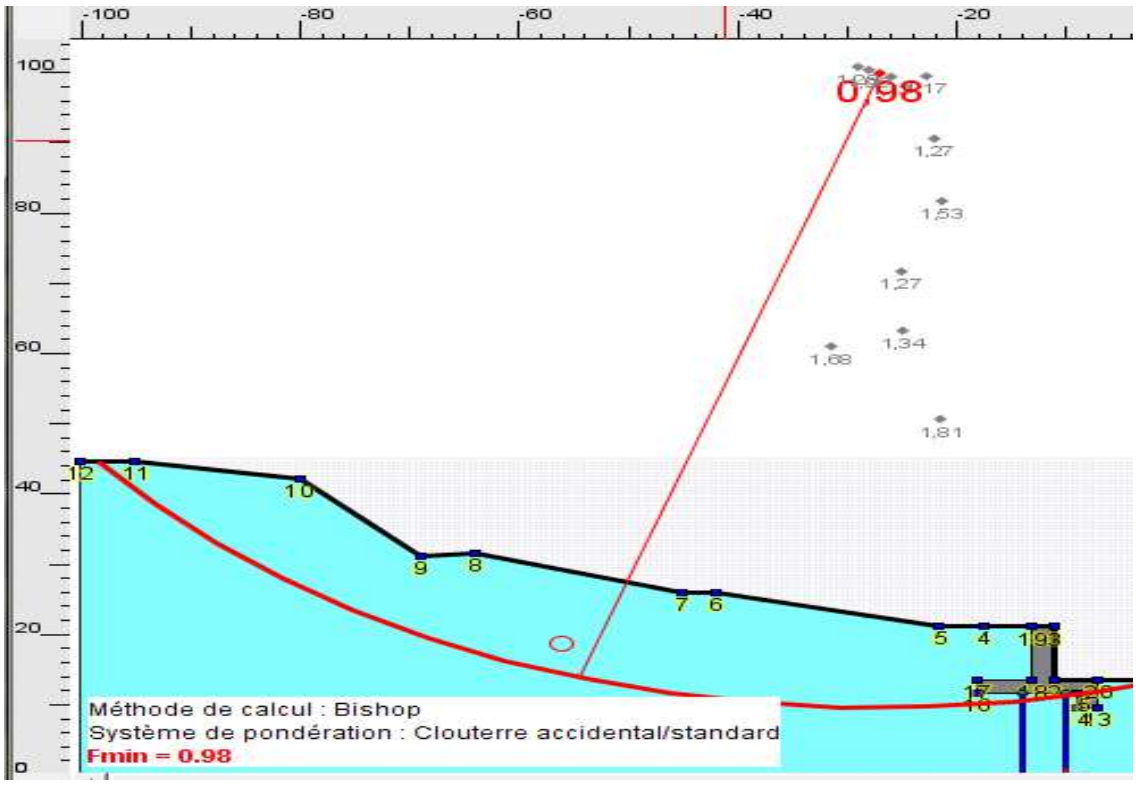
Tableau IV.4 : Tableau récapitulatif -Mur de soutènement

IV.4.5 Mur de soutènement fondé sur un groupe des pieux

Dans cette section on étude un mur de soutènement avec une fondation moyennant pieux.
Il s'agit d'un mur en béton armé avec une fondation moyennant pieux ϕ1200mm (distribution en quinconce de 2.5m x 3.6m entre axes).
Dans les figures suivantes on montre les coefficients de sécurité obtenus :



FigueIV.9 : Calcul de stabilité globale Mur de soutènement fonde sur pieux; Cas statique



FigueIV.10: Calcul de stabilité globale ; Mur de soutènement fonde sur pieux; Cas dynamique

Discussion

Comme on peut le voir dans les figures antérieures la solution n'atteint pas les coefficients de sécurité globale (CSstatique<1.5 et CSséisme<1.1). Il s'agit donc d'une solution non envisageable pour stabiliser le talus.

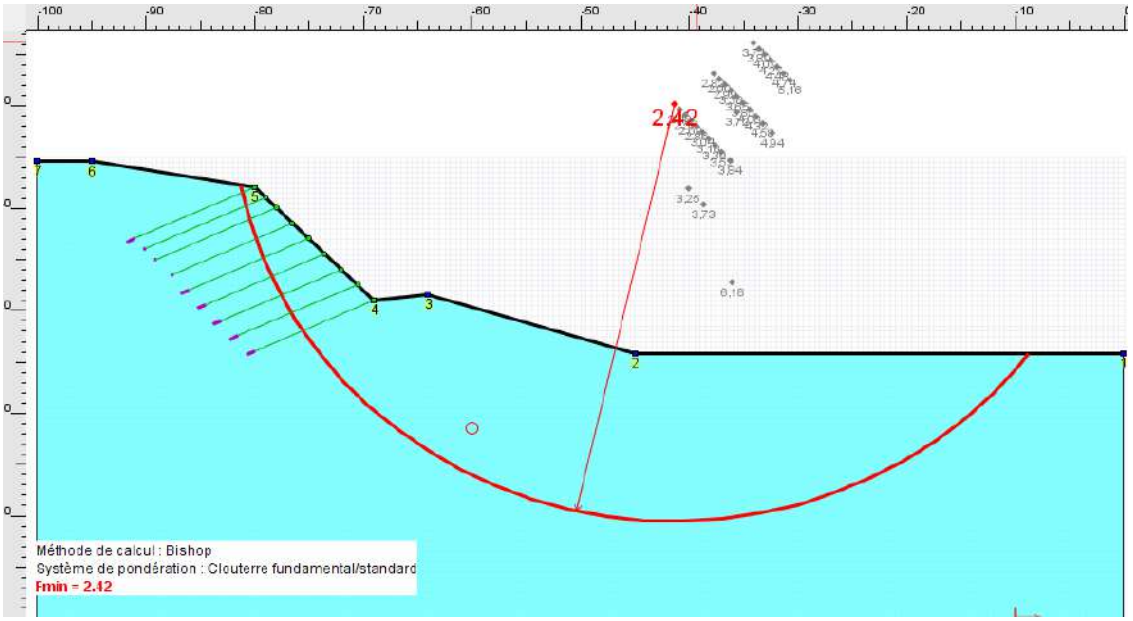
Situation	Coefficient de sécurité	Observation
État statique	1.19	Talus instable
État séisme	0.98	Talus instable

Tableau IV.5 : Tableau récapitulatif -Mur de soutènement fonde sur pieux : Parte supérieure

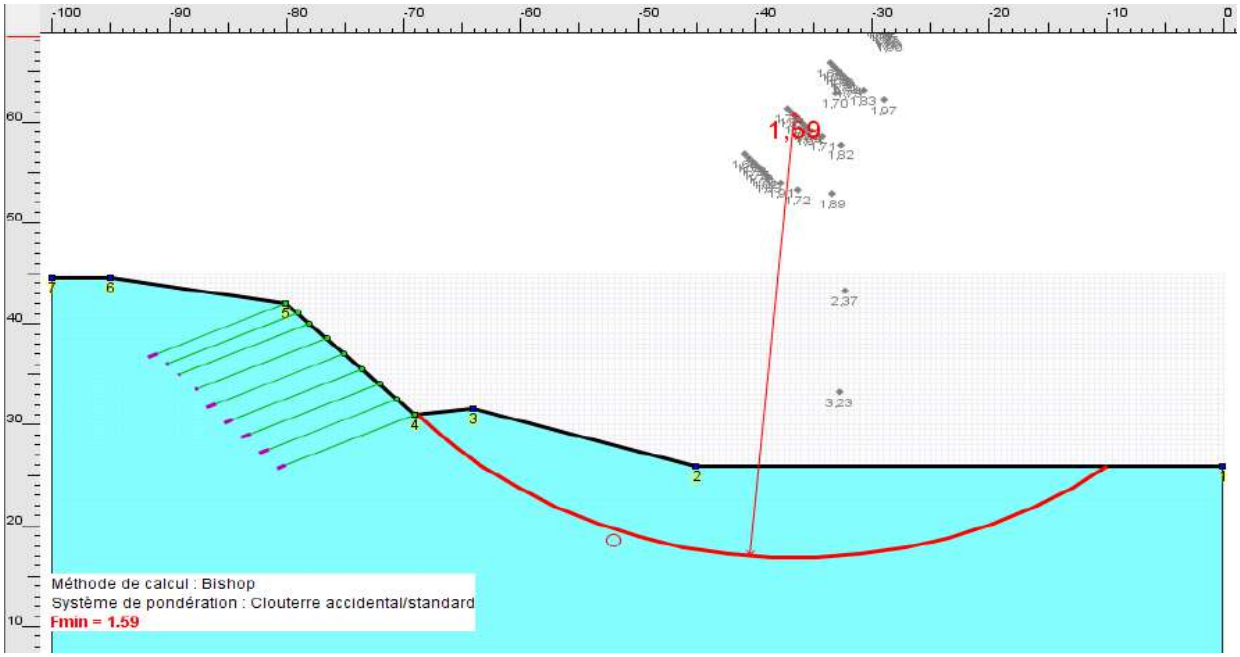
4.4 Mur de soutènement fonde sur pieux + pente 4H :1V + clouage

Afin de stabiliser d'une manière globale la zone affectée pour le glissement, on doit deviser le talus en deux partie (partie supérieure et partie inférieure)
On étudie dans cette section une solution de confortement moyennant un déblai 4H :1V combiné avec un clouage de la partie supérieure du talus. Ce clouage est constitué par des clous ϕ25mm de 12m de longueur disposée en quinconce tous les 1.5m. La pente de la surface avec clous est de 4H :3V.

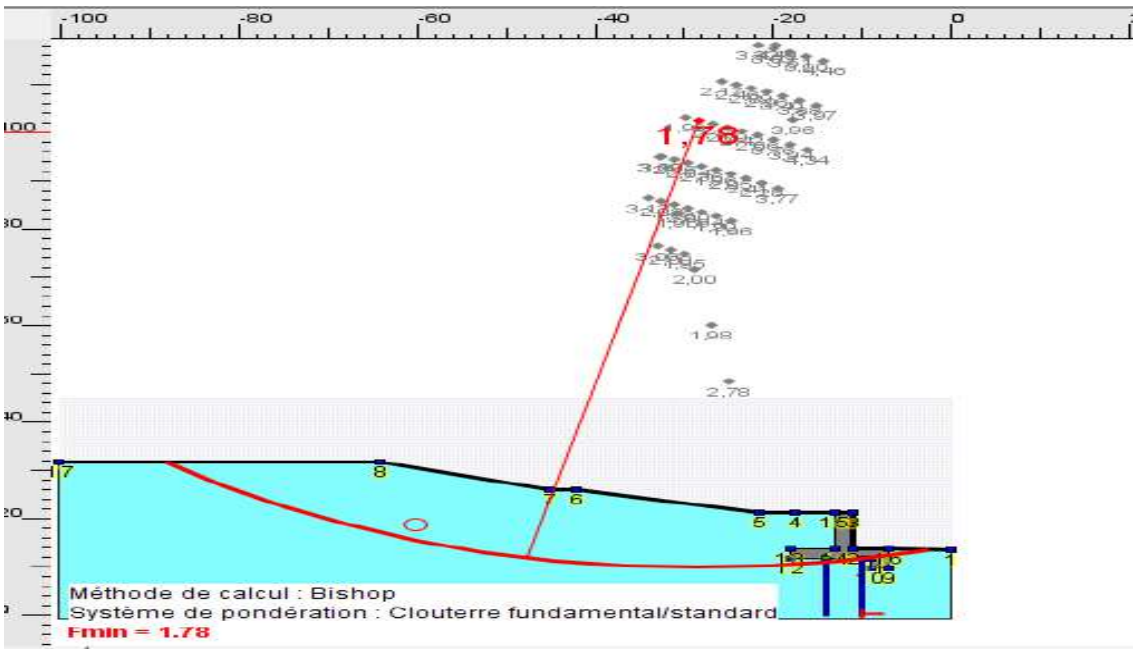
Dans les figures suivantes on montre les résultats obtenus :



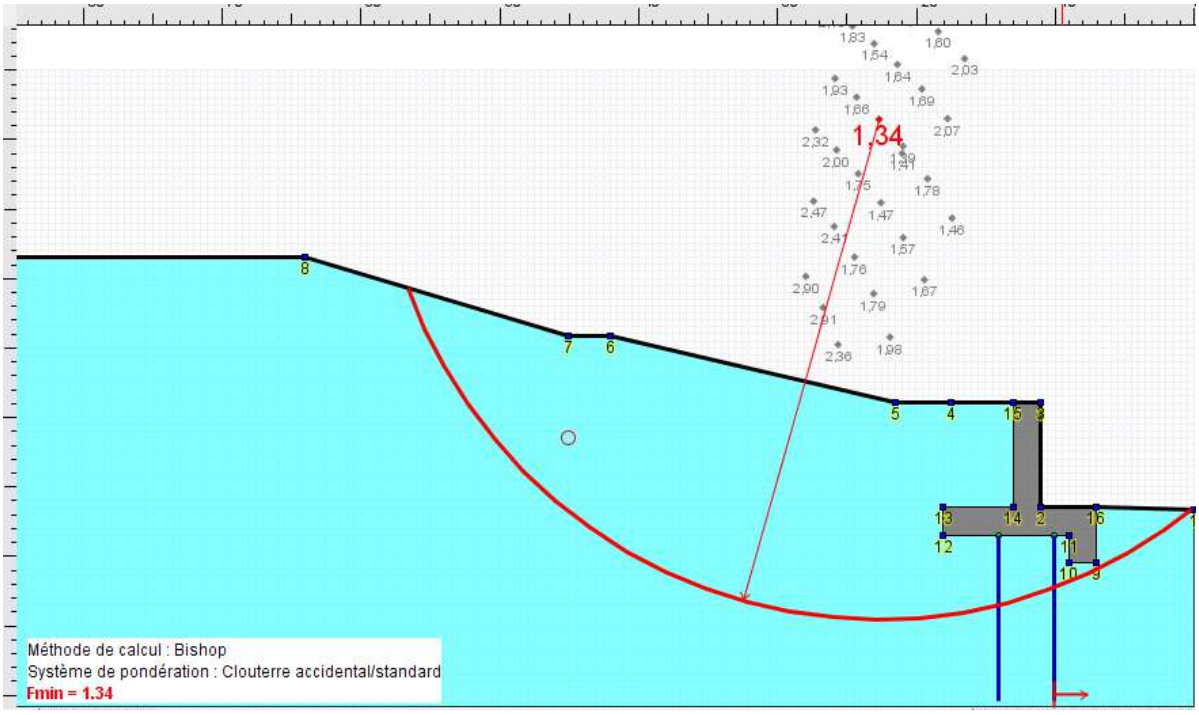
FigueIV.11: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V+clouage; Cas statique : partie supérieure



FigueIV.12: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V+clouage; Cas dynamique :partie supérieure



FigueIV.13: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V; Mur de soutènement fonde sur pieux Cas statique : partie inferieure



FigueIV.14: Calcul de stabilité globale ; adoucissement de 4H :1V; Cas dynamique : partie inferieure

Discussion

La solution combinée de mur sur pieux, clouage et déblai 4H :1V est stable et obtient uns coefficients de sécurité conformément aux niveaux de sécurité requis dans le projet (CS statique>1.5 et CS séisme>1.3).

Situation	Coefficient de sécurité	Observation
État statique	>1.5	Talus stable
État séisme	>1.1	Talus stable

Tableau IV.7 : Tableau récapitulatif -Mur de soutènement fonde sur pieux + adoucissement de 4H :1V + clouage (supérieure)

Situation	Coefficient de sécurité	Observation
État statique	>1.5	Talus stable
État séisme	>1.1	Talus stable

Tableau IV.8 : Tableau récapitulatif -Mur de soutènement fonde sur pieux + adoucissement de 4H :1V + clouage (Inférieure)

IV. 5 Conclusions

Il a été constaté un glissement au niveau du talus du déblai de la Bretelle 2 de l'échangeur nord de
Saghouane.
On a analysé une série d'alternatives de confortement de la zone glissée. A l'issue de cette analyse on propose la réalisation d'une solution de confortement consistante à :

- Exécution d'un clouage (« soil nailing ») dans la partie supérieure du talus. Clous ϕ25mm L=12m chaque 1.5mx1.5m (quinconce). Diamètre minimal de perforation des clous ϕ=85mm. Pente de la surface avec clous : 4H :3V. Renforcement de cette surface avec 15cm de béton projeté et armé avec 2x#ϕ8/0.15mx0.15m.

- Adoucissement de la pente de la partie intermédiaire du talus (excavation 4H :1V ; hauteur=5m).

- Exécution d'un remblai soutenu avec un mur fondé sur pieux dans la zone inférieure du talus.

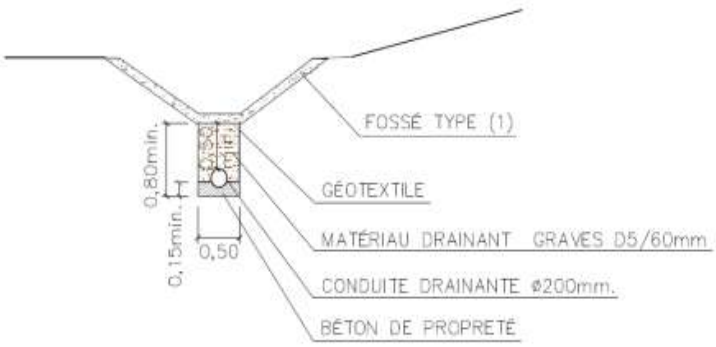
Des recommandations additionnelles sont indiquées ci-dessous :

- Les bermes à exécuter doivent être bétonnées et disposer de fossés de drainage et descentes d'eau vers le système de drainage.

- On doit protéger contre l'érosion la surface du déblai à réaliser 4H :1V, par exemple, avec une couche d'enrochement sur un géotextile.

- La surface du clouage avec béton projeté doit disposer de barbacanes ϕ 60mm (Longueur estimée = 1.5-2m) chaque 3mx3m en quinconce.

- Une tranchée drainante dans la partie supérieure du déblai est nécessaire. Ci-dessous on montre un détail de cette tranchée



Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude des glissements de terrain présente une grande importance pratique :

- Car il pose des véritables problèmes aux gestionnaires des ouvrages publics et au privé
- Par la difficulté technique d'y porter remède

L'autoroute de la RN01 (Sud-Nord) présente plusieurs cas de glissements, parmi eux le glissement de notre cas d'étude qui cause des désordres importants et désagréments non souhaitables aux habitants

L'ensemble des observations et analyses effectuées sur site de glissement confirment que ce mouvement est dû à une diminution des caractéristiques mécaniques du sol en place

Le confortement d'un glissement de terrain passe, d'abord par la localisation de la surface de rupture dans le sol afin de connaître ses dimensions en particulier sa profondeur

L'utilisation de logiciel de Talren 4 montre le privilège de L'emploie des méthodes des éléments finies pour des problèmes de stabilité de pentes à savoir pouvoir déterminer le coefficient de sécurité en n'importe quel point du massif du sol soumis à un glissement.

Il est possible aujourd'hui d'appréhender les problèmes de stabilité des pentes les plus complexes, sur un PC, en quelques temps, avec la convivialité en prime. Des modèles constitutifs robustes sont disponibles pour la modélisation de sols et de roches.

Références

[1] ErnestD. Werner et Hugh P. Friedman :livre « LANDSLIDES couses, types and Effects » NATURAL DISASTER RESEARCH ,PREDICTION AND MITIGATION SERIES.

[2] Bendjeddou Azzeddine(2015) , Etude du glissement routier Au Nord Est de l'Algérie 'Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en : génie civil, option : Interaction sol-structure .

[3] DR.ALI BOUAFIA : Génie civil , conception et calcul des ouvrage Géotechniques.

[4] PAR M. BRUNO MARTNS-CAMPINA(2005) : Le rôle des facteurs géologiques et mécaniques dans le déclenchement des instabilités gravitaires : exemple de deux glissements de terrain des pyrénées Atlantiques(vallée d'Ossau et Vallée d' Aspe),thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR.

[5] J.L.Zèzere et P.A. Ayral(2009) :' Evaluation et cartographie du risque glissement de terrain d'une zone située au nord de Lisbonne , Mémoire du master « systèmes territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision ».

[6] Maxime CHATEAUVIEUX SY.M.A.S.O.L :JOURNEE TECHNIQUE D'INFORMATION ET D'ECHANGES :' stabilisation d'un glissement de terrain sur un cours d'eau à forte pente, Génie végétal en rivière de montagne : de la théorie au cas pratique.

[7]Christian Chapeau et Jean-Louis Durville :'L'eau et les risques de glissements de terrain, article Géosciences.numéro 2. Septembre2005. « L'EAU ET LES RISQUES ».

[8] Terrasol LOGICIEL TALREN 4 – V1.X(talren 4 tutriaux et exemples) –JUILLET 2005

[9] Modélisation des glissements de terrain comme un problème de bifurcation Dat Vu Khoa Huynth Thèse de doctorat

[10] les mouvements de terrain dossier d'information risque naturel majeur ministère de l'écologie et du développement durable

[11] les glissements de terrain, modélisation et prévention Clément DESODT Julien LAUNAY Hélène HOSIN MOLINARO Ecole normale supérieure Paris- Saclay

Sites web

[12] https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/mouvements-terrain

[13] http://www.groupe-sma.fr/SGM/jcms/jizhprod_70290/fr/glissement-de-terrain

[14] www.bafu.admin.ch/processus-dangers-naturels