REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Thème

ANALYSE ET ETUDE DU GLISSEMENT DE TERRAIN DANS LA WILAYA De Médéa (PK 6+700 au PK 7+060)

Présentés par :

MEKID Mounir

MEGATELI Imene

Proposée et Dirigée par :

Dr. OTSMANE Lalahoum

Promotion Juin 2023

Remerciements

Nous exprimons toute notre gratitude et sincère dévouement à Dieu Le Tout puissant qui grâce à son aide nous avons terminé ce modeste travail

Nous tenons à remercier chaleureusement notre promotrice Mme OTSMANE LALAHOUM son aide et son encadrement, ses encouragements et surtout sa compréhension durant toute la période de préparation de ce mémoire.

Nous remercions également l'honorable jury qui a bien voulu examiner notre travail.

Nous adressons de chaleureux remerciements à tous les enseignants et les travailleurs d'université Dr YAHIA FARES DE Médéa pour les moyens qui ont été mis à notre disposition durant toute la durée de la formation.

Je tiens à remercier particulièrement tous les membres du Département de Génie Civil Pour leurs soutiens et leurs aides.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie cette mémoire

A ma chère mère

A mon cher père

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pur que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères: Kacem, Sid Ahmed, Abed Elrezzak, Zineddine, Mohammed

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher binôme Mekid Mounir

Pour sa compréhension et sa sympathie.

A Mr Hossein Taieb rahmani, Mr Rahmoun Amin et Mr El Hadi

Pour leurs aides dans ce travail.

A mon collègue Abderrahmane.

A mes chères amies Ratiba, Imene, YAkout, Faiza, Warda, Krima, soumia, maria, nour el houda

Pour laures aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères Au monde

Après mon Dieu pour leurs sacrifices :

Mes chers et tendres parents : qui ont illuminé le chemin de ma vie par leurs chaleurs et leurs amours et qui n'ont jamais cessé de m'encourager durant toutes mes années d'études.

Que dieu les gardes et les rend heureux comme ils m'ont rendu heureuse.

A Mon frères AHMED

A Mes sœurs

A toutes les familles : MEKID et MEGATELI Je remercie mon binôme IMENE

A Mr MAHMOUDI EL HADI.

A "Mes amis." Youssef, Raouf, Abderrahmane, ALI, houssien ,Bachir

A Tous mes collègues de la 2eme année master géotechnique.

Résumé :

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels dangereux et complexes, influencés par diverses causes et facteurs. Ils sont répandus et fréquents dans la wilaya de Médéa, où un glissement de terrain s'est produit dans la commune de Médéa, entraînant le glissement d'une partie de PK 6+700 au PK 7+060, situé dans la commune de Draa Essmar à l'ouest de la ville de Médéa.

Ensuite, nous avons procédé à une analyse numérique à l'aide du logiciel TALEREN 4 dans le but de calculer le coefficient de sécurité. Enfin, nous avons analysé le talus en le renforçant à l'aide des pieux en béton armé.

Les mots clés : Instabilité, La modélisation (TALREN), paramètres géotechniques, Mohr-Coulomb.

ملخص

انزلاق التربة من الظواهر الطبيعية الخطيرة والمعقدة تحكمها أسباب وعوامل شتى، وهي منتشرة وشائعة في ولاية المدية وقد سبب انزلاق التربة ببلدية المدية بانزلاق جزء من PK 6 + 700 إلى PK 7 + 060 الواقع في بلدية ذراع السمار غرب مدينة المدية.

بعد ذلك قمنا بتحليل رقمي بواسطة برنامج TALEREN 4 بهدف حساب معامل الامن. وأخيرا حللنا بتدعيم المنحدر باستعمال اوتاد من الخرسانة المسلحة.

كلمات مفتاحية عدم الاستقرار، النمذجة (Talren4)، الوسائط الجيوتقنية، Mohr-coulomb

Abstract:

Landslides are dangerous and complex natural phenomena governed by various causes and factors. They are widespread in Médéa common province, where a landslide occurred in the wilaya of Médéa, leading to the sliding of part of «PK 6+700 to PK 7+060», located in the commune of Draa Essmar to the west of the town of Médéa.

Subsequently, we performed a digital analysis using the TALEREN 4 software to calculate the safety. Finally, we analysed the slope by reinforcing it with reinforced concrete anchors.

Key words: Instability, Modelling (TALREN), geotechnical parameters, Mohr-Coulomb.

Sommaire

Introduction Générale

Introduction Générale 1

Chapitre I Généralité Sur Les Mouvements De Terrain

I.1. Introduction 2

I.2. Définition 2

I.3. Les types de mouvement de terrain 2

I.3.1. Les mouvements rapide et discontinus 2

I.3.2. Les mouvements lents et continus 6

I.4. Les glissements de terrains 8

I.4.1. Les Types de Glissement 10

I.4.2. Classification des glissements 11

I.4.3. Les causes de glissement de terrain 12

I.5. Facteurs influençant la stabilité de talus 12

I.5.1. Changements de l'angle d'inclinaison du talus 13

I.5.2. Changements de la hauteur du talus 13

I.5.3. Vibrations 13

I.5.4. Changements de la teneur en eau 13

I.5.5. L'effet des eaux souterraines 13

I.5.6. La nature des terrains 14

I.6. Exemples de cas réels de glissements 14

I.6.1. En Algérie 14

I.7. Conclusion 15

Chapitre II Les Méthodes De Calcul De Stabilité D'un Talus

II.1. Introduction 19

II.2. Définition du coefficient de sécurité 19

II.3. Choix de la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité 20

II.4. Méthodes de calcul de stabilité des pentes 20

II.4.1. Calcul à la rupture 21

II.4.1.1. Rupture plane 21

II.4.1.2. Rupture circulaire 22

II.5.1. Méthodes analytique 23
II.5.1.1. Méthode de Taylor (appelée méthode de cercle de frottement) 23
II.5.1.2. Méthode de Caquot ou de Biarez 23
II.5.1.3. Méthodes des tranches 23
II.5.1.4. Méthode de FELLENIUS (rupture circulaire) (1927) 24
II.5.1.5. Méthode simplifiée de Bishop (1955) 25
II.5.1.6. Méthode des perturbations 26
II.5.2. Méthode numérique 26
II.5.2.1. La méthode des éléments finis 26
II.6. Conclusion 27

Chapitre III Les Méthodes De Confortement d'un Glissement De Terrain

III.1. Introduction 28
III.2. Les types d'approches des systèmes de confortement 28
III.2.1. Approche douce 29
III.2.2. Approche dure 35
III.3. Conclusion 39

Chapitre IV Analyse De Site

IV.1. Introduction 41
IV.2. Situation de projet 41
IV.3. Contexte géologie 41
IV.3.1. Géologie locale 41
IV.3.2. Stratigraphie : 42
IV.3.3. Tectonique 43
IV.3.4. Sismicité : 44
IV.4. Diagnostic sur site 45
IV.5. Causes des instabilités 46
IV.6. Reconnaissance géotechnique 47
IV.6.1. Essais in situ 47
IV.6.2. Essais de laboratoire 47
IV.6.3. Description lithologique des Sondages carottés 47
IV.6.4. Interprétation des résultats de laboratoire à partir des sondages carottés 48

IV.6.5. Essais aux pénétromètres dynamiques lourds : (P.D.L) 52
IV.6.6. Essais préssiométriques 54
IV.7. Conclusion 55

Chapitre V Modélisation De Glissement

V.1. Introduction 56
V.2. Présentation du logiciel TALREN4 (Version 2.0.3) 56
V.3. Analyse de la stabilité de talus : 56
V.3.1. Données géotechniques : 56
V.3.2. Géométrie du modèle : 57
V.4. Présentation des résultats de calcul avant le confortement 58
V.4.1. Calcul avec la méthode de Bishop 58
V.4.2. Calcul avec la méthode de Fellenius 60
V.5. Présentation des résultats de calcul après le confortement 61
V.5.1. Définition du confortement choisi : 61
V.5.2. Calcul avec la méthode de Bishop 62
V.5.3. Calcul avec la méthode de Fellenius 63
V.5. Interprétation des résultats des calculs : 65
V.6. Conclusion 65

Conclusion Générale

Conclusion Générale 60

Référence Bibliographique

Références .....

Annexes

Annexe " A " .....
Annexe "B" .....

Listes des figures

Chapitre I Généralité Sur Les Mouvements De Terrain

FigureI. 1:Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines… 3
FigureI. 2:Schéma Explicatif des Phénomènes : (a) les éboulements, (b) Chutes de blocs. 4
FigureI. 3 :Schéma Explicatif de Phénomène Coulée boueuse. 5
FigureI. 4 : phénomène d'écroulements. 5
FigureI. 5 : Affaissement. 6
FigureI. 6 : Phénomène de tassements. 6
FigureI. 7:Solifluxion 7
FigureI. 8 : Mouvements de fluage, (Reid et al. 1999) 7
FigureI. 9: Le fauchage 8
FigureI. 10 : phénomène de Retrait-gonflement 8
FigureI. 11 : Eléments descriptifs d`un glissement de terrain. 9
FigureI. 12 : Types de glissements. 10
FigureI. 13 : Glissement Bouzerrah Alger. 14
FigureI. 14 : Glissement Annaba. 15
FigureI. 15 : Glissement de Relizene……...15

Chapitre II Les Méthodes De Calcul De Stabilité D'un Talus

Figure II. 1: Rupture plane. 21
Figure II. 2 : Surface de rupture. 22
Figure II. 3): Méthode des tranches pour analyser des ruptures circulaires. 24
Figure II. 4 : Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius. 24
Figure II. 5 : Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Bishop simplifiée. 25

Chapitre III Les Méthodes De Confortement d’un Glissement De Terrain

Figure III. 1 : Allègement en tête. 29
Figure III. 2 : stabilisation par butées de pied. 30
Figure III. 3 : La purge totale. 31
FigureIII. 4 : Reprofilage 31
Figure III. 5 : Substitution totale des matériaux glissés au droit de la tête. 32
Figure III. 6 : exemple de drainage en surface. 33
Figure III. 7: coupe schématique d'une tranchée drainent. 33
Figure III. 8 : Exemple de stabilisation par drains subhorizontaux de la RD à Muret (Haute Garonne, France). 34
Figure III. 9 : Mur de soutènement. 36
Figure III. 10 : murs en gabion. 37
Figure III. 11 : Murs en géotextiles. 37
Figure III. 12 : Exemple de clouage d'un glissement. 38
Figure III. 13 : illustration de réalisation d'un pieu. 38
Figure III. 14 : technique pneu sol. 39

Chapitre IV Analyse De Site

Figure IV. 1 : Situation de la zone d’étude. 41
Figure IV. 2 : Extrait de zone d’étude sur la carte géologique de Média échelle 1/50.000ème. 43
Figure IV. 3 : Carte de zonage sismique de l’Algérie. 44
Figure IV. 4 : presontation du site 46

Chapitre V Analyse Numérique De Glissement

Figure V. 1 : la géomètre de modèle..... 57
Figure V. 2 : tableau récapitulatif des couches de sol. 58
Figure V. 3 : la géométrie représente les couches du terrain. 58
Figure V. 4 : Le résultat Avec la méthode de Bishop avec nappe sans séisme. 59
Figure V. 5 : Le résultat Avec la méthode de Bishop avec nappe avec séisme..... 59
Figure V. 6 : Le résultat Avec la méthode de Fellenius avec nappe sans séisme..... 60
Figure V. 7 : Le résultat Avec la méthode de Fellenius avec nappe avec séisme. 60
Figure V. 8 : (a) Dispositif des tranches drainantes. (b) : Distance entre les pieux. 62
Figure V. 9 : Le résultat avec la méthode de bishop avec nappe sans séisme. 62
Figure V. 10 : Le résultat avec la méthode de bishop avec nappe avec séisme. 63
Figure V. 11 : le résultat avec la méthode de Fellenius avec nappe sans séisme. 63
Figure V. 12:le résultat avec la méthode de Fellenius avec nappe avec séisme..... 64

Liste des tableaux

Chapitre I Généralité sur les mouvements de terrain

Tableau I. 1 : Classification selon la taille des composants, les volumes et les vitesses (O.Lateltin, 2001). 4
Tableau I. 2 : Classification selon la vitesse de glissement. 11
Tableau I. 3 : Classification selon la profondeur de la surface de glissement sous la surface. 11

Chapitre II Les méthodes de calcul de stabilité d'un talus

Tableau II. 1 : différents exemples de définitions d'un coefficient de sécurité, [AMBE1973]. 19
Tableau II. 2: valeurs de Fsen fonction de l'importance de l'ouvrage. 20

Chapitre V Analyse numérique de glissement

Tableau V. 1: Les données géométrie de terrain. 57
Tableau V. 2:valeurs des facteurs de sécurité calculé avent confortement. 61
Tableau V. 3 : valeurs des facteurs de sécurité calculée après confortement..... 64

Liste des symboles

C : Cohésion.

c' = cohésion effective du sol.

τ : Contraintes de cisaillement ou Contrainte tangentielle.

$\boldsymbol{\tau_{mex}}$: Résistance au cisaillement maximale mobilisable.

σ : Contrainte normale appliquée (charge appliquée).

σ' : Contrainte effective (σ' = σ – u).

u : Pression interstitielle.

φ : Angle de frottement interne du sol.

ε : Déformation longitudinale.

$\boldsymbol{\gamma_w}$**:** Poids volumique de l'eau.

$\boldsymbol{\gamma_h}$: Poids volumique humide du sol.

$\boldsymbol{\gamma_d}$: Poids volumique sec du sol.

w : Teneur en eau.

$\boldsymbol{C_u}$**:** Coefficient d'uniformité de Hazen.

$\boldsymbol{C_C}$: Coefficient de courbure.

$\boldsymbol{W_P}$: La limite de plasticité.

$\boldsymbol{W_L}$: La limite de liquidité.

$\boldsymbol{I_P}$: L'indice de plasticité.

$\boldsymbol{I_L}$: L'indice de liquidité.

$\boldsymbol{I_C}$: L'indice de consistance.

$\boldsymbol{S_r}$: Degré de saturation.

$\boldsymbol{C_g}$: L'indice de gonflement.

C_c: L'indice de compression.

P_C: Pression de consolidation.

P_L^*: La pression limite nette.

P.D.L : pénétromètres dynamiques lourds.

$\mathbf{R_d}$: La résistance dynamique de pointe du sol

e : pénétration moyenne par coup.

g : accélération de la pesanteur.

A : Coefficient d'accélération de zone sismique (% de g).

Kh : Coefficient sismique horizontal.

Kv : Coefficient sismique vertical.

$\mathbf{R_P}$**:** Résistance de pointe.

$\mathbf{F_S}$: Coefficient de sécurité.

Abréviations

CU : Consolidé non drainé.

UU : Non Consolidé non drainé.

R.P.A : Règles Parasismiques Algériennes.

SC : Sondages carottés.

MC : Modèle de Mohr Coulomb.

MEF : Méthode des éléments finis.

Introduction Générale

Introduction Générale

Les instabilités du terrain représentent l'un des risques géologiques les plus répandus à travers le monde. Elles engendrent malheureusement de nombreux décès, blessures et pertes économiques considérables. ces instabilités des pentes constituent une menace croissante, en raison de la croissance démographique, de l'utilisation intensive des terres et du changement climatique.

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse qui se produisent généralement dans des matériaux meubles, principalement des argiles, contrairement aux éboulements rocheux qui sont plus fréquents dans d'autres contextes. La stabilisation d'un glissement de terrain représente une tâche majeure pour la géotechnique, et une bonne connaissance de la méthodologie d'étude est nécessaire pour y parvenir.

Dans le nord de l'Algérie, les glissements de terrain sont parmi les risques naturels les plus fréquents. Les facteurs géodynamiques internes, tels que les terrains instables, combinés aux facteurs externes tels que les reliefs escarpés, les terrains fragiles et le climat contrasté, favorisent ces phénomènes.

La wilaya de Médéa, située au nord de l'Algérie, présente une morphologie montagneuse caractérisée par un sol instable qui a déjà été le théâtre de nombreux glissements de terrain.

Notre étude se concentre sur cinq chapitres principaux, qui constitueront le cœur de nos travaux :

Chapitre I : Généralité sur les mouvements de terrain.

Chapitre II : Les méthodes de calcul de stabilité d'un talus.

Chapitre III : Les méthodes de confortements d'un glissement de terrain.

Chapitre IV : Analyse de site.

Chapitre V : Analyse numérique de glissement.

Le mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité Sur Les Mouvements De Terrain

I.1. Introduction

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels qui peuvent avoir différentes causes, tels que l'érosion, la sismicité, les précipitations abondantes, les changements de température, les actions anthropiques,…etc. ces mouvements se caractérisent par des déplacements qui peuvent varier considérablement en volume et en vitesse, allant de quelques mètres cubes à plusieurs millions de mètres cubes et de quelques millimètres par an à plusieurs mètres par jour.

Étant donné les risques qu'ils représentent pour les populations et les infrastructures à proximité, il est crucial de surveiller et de prévenir les mouvements de terrain. des solutions techniques telles que la stabilisation des pentes, le drainage et la construction de structures de retenue peuvent être mises en place pour réduire les risques. la sensibilisation et l'éducation des populations sur les risques associés aux mouvements de terrain sont également importantes pour minimiser les dommages et les pertes humaines en cas de survenue d'un tel événement.

I.2. Définition

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origines naturelle ou anthropique. les volumes en jeux sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour).

I.3. Les types de mouvement de terrain

Ce phénomène comprend diverses manifestations, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure.

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

I.3.1. Les mouvements rapide et discontinus

Ces types de mouvement s'accompagnent d'une rupture brutale. Et soudaine, ils sont plus difficiles à prévenir et malheureusement plus dommageables.

Ils peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux.

-Le premier groupe (propagation en masse) : les effondrements, les chaut de blocs pierrées, les éboulements, écroulements .et Le second groupe (propagation en état remanié) : les érosions de surfaces ou ravinements, les coulées boueuses, les laves torrentielles.

- **Les effondrements**

Les effondrements sont des phénomènes brutaux. Dans le cas d'un effondrement localisé, il y a peu de risque de victimes mais les dommages peuvent être importants. L'effondrement en masse, bien que très rare, mobilise des volumes de terrain de plusieurs centaines à plusieurs milliers de m³ et peut être très meurtrier



***Figure I. 1** : Photo Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines.*

- **Les éboulements et les chutes de blocs**

Qui concernent des matériaux massifs. Ils sont générés par la rupture de la roche mère ou par le déchaussement de blocs présents dans une matrice meuble. Les blocs peuvent atteindre des vitesses de plusieurs m/s leur procurant une énergie qui leur permettent de se propager sur des distances de plus de cent mètres. Les volumes en jeu lors de ces types de mouvements de terrain vont de quelques m³ pour les chutes de blocs à plusieurs millions de m³ pour les plus grands éboulements.

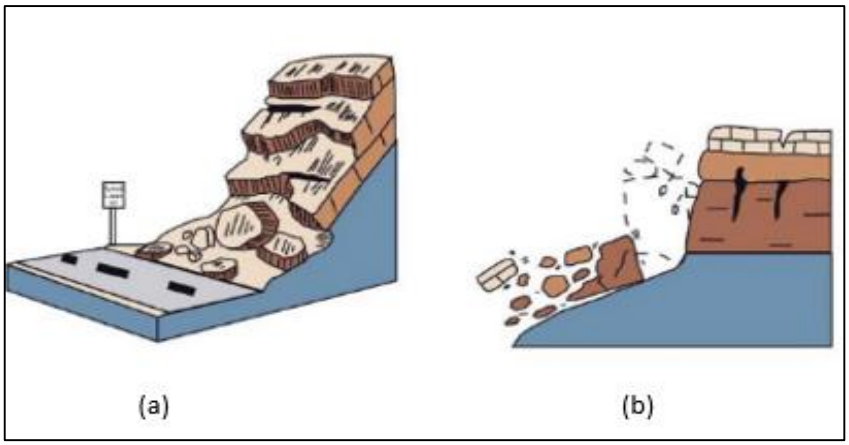


***Figure I. 2** : Schéma Explicatif des Phénomènes : (a) les éboulements, (b) Chutes de blocs.*

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques qui nous permettent de différencier entre ces phénomènes [2].

***Tableau I. 1** : Classification selon la taille des composants, les volumes et les vitesses (O.Lateltin, 2001).*

Chute de pierres	ø < 50cm
Chute de blocs	ø > 50cm
Eboulement Volume Vitesse	 100 –100000 m³ 10 – 40m/s
Ecroulement Volume Vitesse	 > 1 million.m³ > 40m/s

- **Les coulées de boues et laves torrentielles**

Il s'agit d'un mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Ces coulées de boues prennent fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain [3].

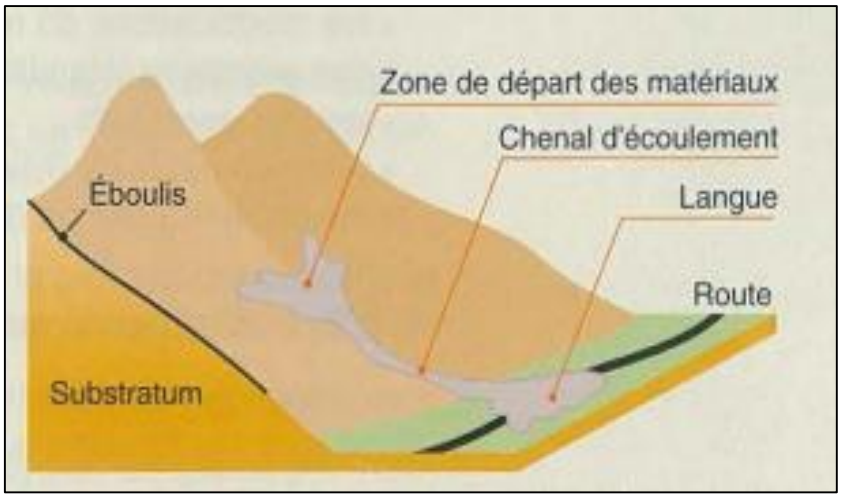


***Figure I. 3** : Schéma Explicatif de Phénomène Coulée boueuse.*

- **Les érosions de surface ou ravinements** :

Qui provoquent l'entrainement de matériaux sur les versants et sur creusent la surface topographique

- **Ecroulement**

Lors d'un écroulement, un grand volume du massif rocheux (un à plusieurs millions de m3) se détache soudainement, sans que le mode de rupture correspondant ne soit déterminant. Le mécanisme initial peut par exemple s'expliquer par le développement d'une surface de glissement inclinée. Le mécanisme de mouvement de l'écroulement est déterminé par la topographie, de même que par l'interaction marquée entre les composants de la masse écroulée et par leur fragmentation intense.



***Figure I.4**:Phénomène d'écroulement.*

I.3.2. Les mouvements lents et continus

Entraînent une déformation progressive des terrains Ils regroupent : l'affaissement, le tassement, le glissement, la solifluxion, le fluage, le retrait-gonflement et le fauchage.

- **L'affaissement**

C'est une dépression topographique en forme de cuvette à grand rayon de courbure dû au fléchissement lent et progressif du terrain de couverture avec ou sans fractures ouvertes.



***Figure I. 5** : Affaissement.*

- **Le tassement des sols**

Le tassement des sols fait référence à la compression ou à la réduction de volume d'un sol sous l'effet d'une charge ou d'une pression. Cela peut se produire naturellement avec le temps ou être induit par des activités humaines telles que la construction, la circulation des véhicules ou l'exploitation minière. Le tassement des sols peut avoir des conséquences sur la stabilité des constructions et des infrastructures [3].



***Figure I. 6** : Phénomène de tassements.*

- **Solifluxion**

Est un phénomène d'écoulement des sols en surface sur des pentes très faibles. Elle correspond à un mouvement de masse superficiel qui est déclenché lorsque la charge en eau dépasse le seuil de plasticité du matériau. Le sol peut alors fluer dans la pente sur un plan de décollement saturé d'eau [4].

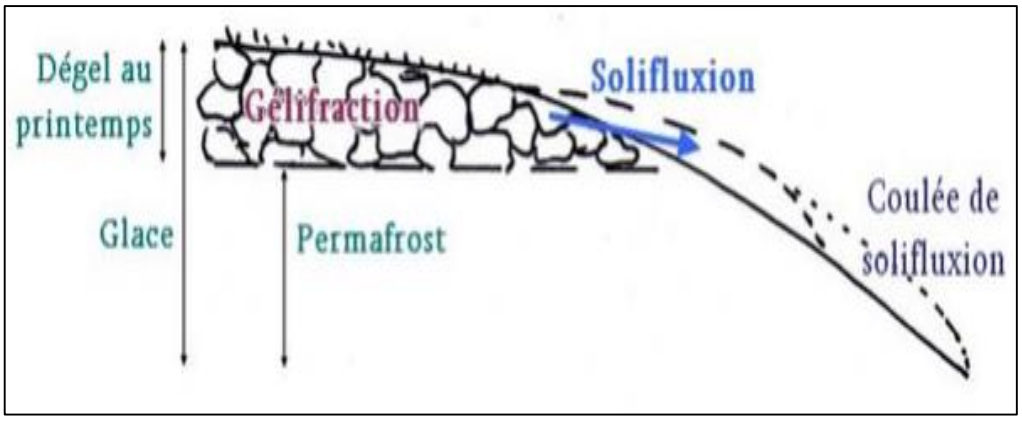


***Figure I. 7** : Solifluxion*

- **Le fluage**

Est un mouvement, à des vitesses faibles. Il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture.

Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : en fait le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évolué vers une rupture.

On distingue deux grandes catégories de déformation de fluage :

•La déformation volumique.

•La déformation de cisaillement [5].

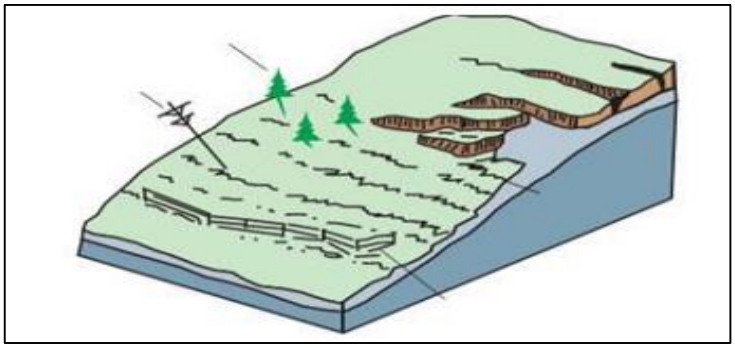


***Figure I.8** : Mouvements de fluage, (Reid et al. 1999).*

- **Le fauchage**

C'est une déformation superficielle, sous l'influence de la gravité, des couches de roches qui affleurent sur une pente.

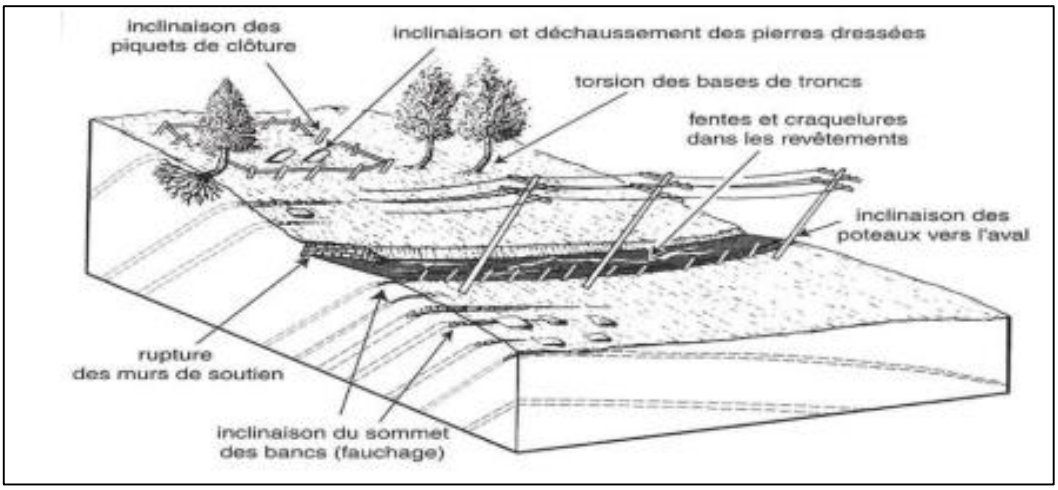


***Figure I. 9** : Le fauchage.*

- **Retrait-gonflement des argiles**

Est un Phénomène caractéristique des sols argileux, aussi appelé mouvement de terrain différentiel, lié aux variations en eau du terrain. Le sol se comporte parfois comme une éponge : il se gonfle en présence d'eau et se rétracte en son absence [5].

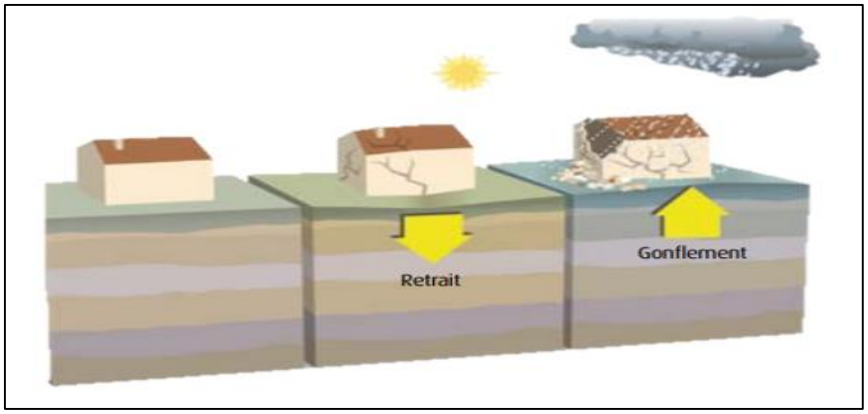


***Figure I. 10** : phénomène de Retrait-gonflement.*

I.4. Les glissements de terrains

Il s'agit du 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 de mètres dans des cas exceptionnels. Les volumes de terrain mis en jeu sont considérables,

les vitesses d'avancement du terrain peuvent varier jusqu'atteindre quelques décimètres par an. Se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau [6].

Les facteurs déclenchant le glissement sont généralement :

- Les modifications du régime hydraulique (saturation du matériau, augmentation de pressions interstitielles, etc.).

- Les terrassements.

-L'érosion naturelle (ruissellement, érosion de berges…..).

- Les accélérations produites par des séismes.

Un glissement de terrain se caractérise par :

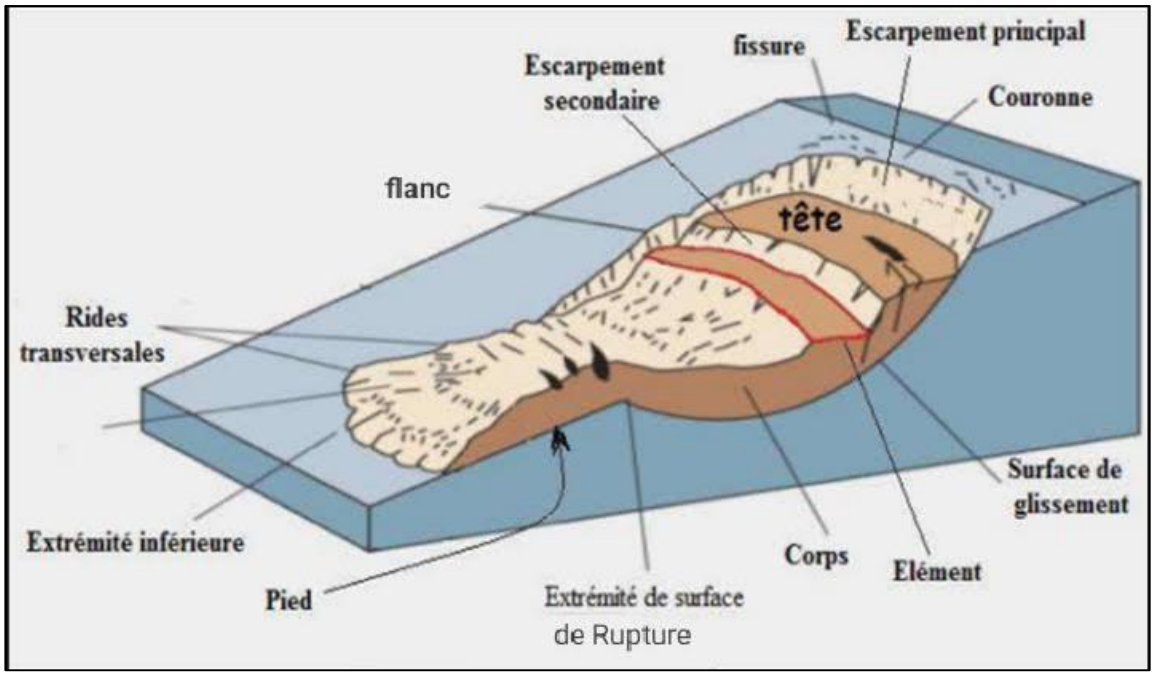


***Figure I. 41** : Eléments descriptifs d`un glissement de terrain.*

•**Un escarpement principal** : surface inclinée ou verticale, souvent concave limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongée en profondeur par la surface de glissement.

•**Le couronne** : zone située au-dessus de l`escarpement principal souvent peu affecte par le désordre. Seules quelques fissures ou crevasses témoignant de la mise en traction des terrains dans ces zones.

• **La tête** : c`est la limite amont du glissement et plus précisément partie ou le matériau glissé se trouve en contact avec l`escarpement principal.

• **Un escarpement secondaire** : circulaire semblable à l`escarpement principal, mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier

•**L'élément** : fraction de la masse glissée entre deux escarpements.

• **Le flanc** : limite latérales du glissement prolongeant l`escarpement principal.

• **Le pied** : correspond à l`intersection aval de la surface topographique initiale. Le pied est souvent masqué par le bourrelet.

•**L'extrémité inférieure** : zone aval du mouvement du terrain ou extrémité du bourrelet.

•**Rides transversales** : elles se forment dans le bourrelet du mouvement du terrain, témoins d`effort de compression pouvant aboutir à des chevauchements dans le matériau.

•**La surface de glissement ou de rupture** : c`est une surface qui sépare la masse glissée des terrains en place.

• **Le corps** : partie centrale du glissement recouvrant la surface de rupture [7].

I.4.1. Les Types de Glissement

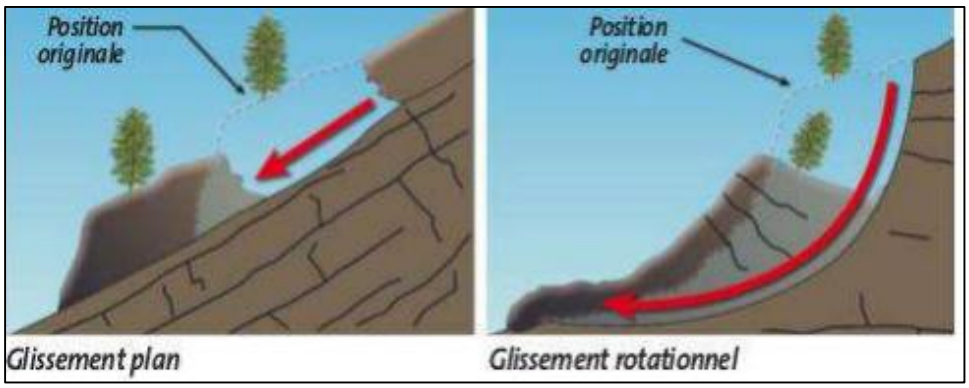


***Figure I. 52** : Types de glissements.*

Selon la morphologie de la surface de glissement Il existe trois grands types de glissements :

a).Glissements plans : En générale, la ligne de rupture suit une couche ayant de mauvaises caractéristiques mécaniques, qui est appelée « couche savon » pour les formations sus-jacentes.

b). Glissements rotationnels simples : C'est le type de glissement le plus fréquent. La surface de rupture a une forme simple et peut être assimilée à une portion de cylindre [8].

Le cercle de glissement peut prendre plusieurs positions :

- Les cercles de talus : se produisent généralement dans les sols hétérogènes, la base du cercle correspondant à une couche plus résistante.
- Les cercles de pied : (sont les plus courants).
- Les cercles profonds : ne se produisent que dans le cas où le sol situé sous le niveau du pied du talus est de mauvaise qualité [9].

C) .Glissements rotationnels complexes : Il s'agit de glissements multiples

« Emboîtés » les uns dans les autres. L'apparition du premier glissement, en bas de la pente, conduit à une perte de butée pour les terres situées au-dessus, provoquant ainsi des glissements successifs remontant vers l'amont [9].

I.4.2. Classification des glissements

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements [10].

***Tableau I. 2**: Classification selon la vitesse de glissement.*

Glissement	**Substabilisé, très lent**	**Peu actif, lent**	**Actif (ou lent avec phases rapides)**
Surface de glissement	0 – 2 m	2 – 10 m	>10 m

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

Glissement	**Superficiel**	**semi profond**	**Profond**
Surface de glissement	0 – 2 m²	2 – 10 m²	>10 m²

I.4.3. Les causes de glissement de terrain

Les facteurs déclenchant un glissement de terrain :

La nature du sol et du sous-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).

L'eau : Lors de fortes pluies ou à la fonte des neiges, l'eau en pénétrant dans le sol exerce une poussée verticale qui peut déstabiliser le terrain. La situation est d'autant plus dangereuse si la quantité d'eau qui pénètre dans la terre est supérieure à celle qui s'en écoule.

La sécheresse : Une terre trop sèche peut perdre de sa cohésion, s'effriter et glisser.

L'érosion : Un sol érodé ou mise à nu sans végétation (déboisement, incendie, tempête) sera plus vulnérable aux infiltrations et donc sera plus susceptible de glisser.

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.

L'activité sismique : En zone sismique, une secousse même minime peut faire bouger une pente déjà sensibilisée par d'autres facteurs de fragilisation.

I.5. Facteurs influençant la stabilité de talus

Plus on a de connaissance des facteurs se répercutant sur la stabilité qui peuvent être la cause éventuelle du glissement, mieux on peut projeter l'emploi des instruments de contrôle d'un talus. Les facteurs les plus essentiels sont : [11]

I.5.1. Changements de l'angle d'inclinaison du talus

Leurs causes peuvent être naturelles ou artificielles (p. ex. des entamures de pied par suite d'érosion d'eau ou par excavations). L'augmentation du gradient de talus provoque un changement de la contrainte dans la roche, les contraintes de cisaillement plus hautes perturbent les conditions d'équilibre.

I.5.2. Changements de la hauteur du talus

L'érosion verticale ou des excavations provoquent une diminution des contraintes horizontales ; cela mène à un relâchement des roches et à la formation des fissures parallèles à la pente, par lesquelles l'eau de surface peut facilement pénétrer dans le talus. le relâchement peut très bien être pris avec des instruments de mesure de déplacement.

I.5.3. Vibrations

Des tremblements de terre, des explosions ou des vibrations de machines peuvent détraquer l'équilibre d'un talus par suite de brefs changements des contraintes de la roche. Les vibrations changent la liaison intergranulaire dans le lœss et dans le sable, diminuant la cohésion. Des sondes de vitesse de vibration placées au talus conviennent pour la mesure.

I.5.4. Changements de la teneur en eau

Des précipitations et l'eau de fonte des neiges pénètrent dans les fissures et y provoquent une pression hydrostatique. La pression de l'eau interstitielle dans les sols augmente pendant que la résistance au cisaillement diminue.

I.5.5. L'effet des eaux souterraines

Les eaux souterraines coulantes produisent une pression de courant qui diminue la stabilité de la pente. les changements soudains de la nappe d'eau provoquent des pressions de l'eau interstitielle. résultat : liquéfaction des sols sablonneux. en outre le courant de l'eau souterraine peut laver des liants de grains solubles ; qui donne la réduction des caractéristiques mécaniques de la roche. dans le sable fin et dans le silt le courant de l'eau souterraine provoque un lavage des grains fins, et ainsi une réduction de la stabilité de la

roche. l'eau souterraine captive exerce aussi des pressions considérables sur le terrain sous-jacent et provoque ainsi une déstabilisation de la pente.

I.5.6. La nature des terrains

La nature des terrains est un paramètre très important dont il faut tenir compte dans l'étude de stabilité. il s'agit principalement d'étudier la structure du massif et des caractéristiques physiques et mécaniques du terrain.

I.6. Exemples de cas réels de glissements

I.6.1. En Algérie

La géomorphologie du Nord algérien étant caractérisée essentiellement par des montagnes de pentes raides et abruptes, les mouvements de terrain constituent l'un des risques naturels les plus répondus. Ce phénomène est observé dans plusieurs wilayas du pays : Alger, Bejaia, Annaba, Constantine, Tizi-Ouzou, etc.

- **Le glissement de Bouzaréah Wilaya D'Alger**

Causé par l'effondrement d'un mur de soutènement réalisé par une société privée



***Figure I. 63** : Glissement Bouzerrah Alger.*

- **Glissement de terrain d'Annaba**

Dans le quartier de Sidi Aissa sur la bretelle qui va de Kouba à Ain Achir.



***Figure I. 74** : Glissement Annaba.*

- **Glissement de terrain de Relizane**

Exactement à la commune Mazouna un glissement de terrain provoqués par des infiltrations des eaux sur le corps de la chaussée à cause mauvaises conditions de drainage.



***Figure I.15**:Glissement de Relizane.*

I.7. Conclusion

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origines naturelle ou anthropique, divisé en deux parties selon la vitesse de déplacement et la profondeur de la surface sont : les mouvements lents et continues de déformation progressives comme l'affaissement, tassement différentielle, solifluxion et le fluage. Les mouvements rapides et continus de manière brutale et

soudaine, il regroupe : les effondrements, les éboulements et chutes des blocs, les coulées de boues et lave torrentielles.

Un glissement de terrain c'est un déplacement lent d'une masse cohérente au long d'une surface de rupture, il existe trois types selon la morphologie de la surface : glissement plan, glissement rotationnelles simple, glissement rotationnelles complexes. Pour éviter le problème de mouvement de terrain il faut faire plusieurs méthodes de calcul de stabilisation d'un talus.

Chapitre II

Les Méthodes De Calcul De Stabilité D'un Talus

II.1. Introduction

L'analyse de la stabilité d'une pente est l'étude des conditions d'équilibre d'une masse du sol délimité par une surface de rupture. Cette masse est soumise aux efforts suivants : poids propre du massif, réactions du sol en place le long de la surface de rupture, pressions interstitielles, chargements extérieurs éventuels.

II.2. Définition du coefficient de sécurité

Le coefficient de sécurité F_s est défini comme le rapport de la résistance au cisaillement du sol τ_{max}et à la contrainte de cisaillement τ s'exerçant réellement sur la surface.

$$F_s = \frac{\tau_{max}}{\tau} \qquad \text{(II. 1)}$$

$\boldsymbol{\tau}$: Cette valeur définit la sollicitation vectorielle ou tensorielle appliquée au massif (Force H, Force V, moment M).

$\boldsymbol{\tau_{max}}$**:** Valeur maximale de τ. Partant de cette écriture générale nous citerons quelques définitions du coefficient de sécurité : Le facteur de sécuritéF_S minimal à adopter dépend la nature de l'ouvrage, de son utilisation et des conséquences que pourrait entrainer sa rupture en termes de risque humain et de dommages matériels de manière classique [12].

***Tableau (II. 1)** : Différents exemples de définitions d'un coefficient de sécurité, [AMBE1973].*

Définition	**Formule**
Rapport de contraintes	$F_s = \frac{\tau_{max}}{\tau}$
Rapport de forces	$F_s =$ E résiste/E moteur
Rapport de moments	$F_s =$ M résiste /M moteur
Rapport de grandeurs	Par ex H/H_{max}

II.3. 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 quelque fois 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 Cu).

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 égal à 1,25 [13].

***Tableau II. 2** : valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage.*

F_s	**Etat de l'ouvrage**
<1	Danger
1.01-0.25	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

II.4. Méthodes de calcul de stabilité des pentes

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

II.4.1. 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 f. les méthodes dites d'équilibre limite sont très appropriées car on peut écrire facilement les équations qui relient les variables ; mais, sauf pour les cas les plus simples, le nombre des variables est bien supérieur au 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.4.1.1. Rupture plane

Le modèle de calcul est celui d'un massif de sol infini reposant par une interface plane sur un substratum, avec un écoulement parallèle à la pente. La figure (II.1) suivante représente une tranche de sol et les forces qui lui sont appliquées :

W le poids du bloc de sol considéré,

V et **H** les efforts sur les côtés du bloc,

N et **T** les réactions normale et tangentielle à la base du bloc,

$\boldsymbol{U_L}$ L'effort dû à la pression d'eau latérale et

U l'effort dû à la pression d'eau à la base.

Compte tenu de l'hypothèse de pente infinie, on peut admettre que **V = 0** et que **H** et $\boldsymbol{U_l}$ s'équilibrent de part et d'autre. en écrivant que la résultante des forces appliquées est nulle, on peut calculer **N** et **T**, ainsi que le coefficient de sécurité [14].

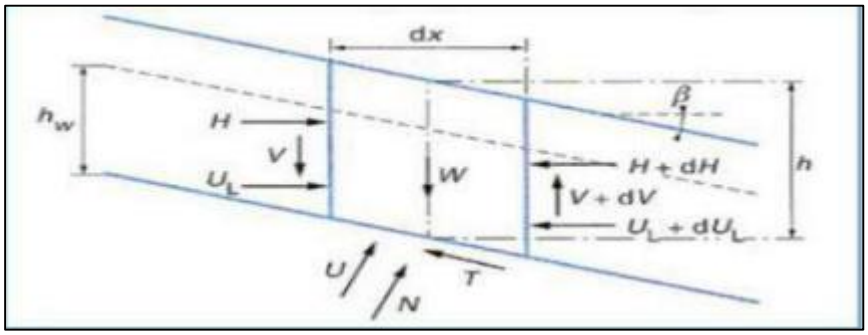


***Figure II. 1** : Rupture plane.*

$$F_S = {}^{T_{max}}/_{T} \qquad \text{(II .2)}$$

Le critère de rupture de Coulomb s'écrit :

$$T_{max} = C\frac{dx}{\cos\beta} + (N - U)\tan\varphi \qquad \text{(II. 3)}$$

$$\mathrm{T} = \mathrm{W}.\sin\beta \qquad \text{(II. 4)}$$

Avec :

β : l'angle d'inclinaison de la pente et du plan de glissement mesuré par rapport à l'horizontale

dx : la distance entre les deux extrémités du bloc. On obtient l'expression suivante :

$$F = \frac{2}{\sin 2\beta}.\frac{C}{\gamma} + \frac{(\gamma_h - \gamma_w.h_w)}{\gamma_h.\tan\beta} \qquad \text{(II.5)}$$

Avec :

γ : poids volumique du bloc

h : la profondeur verticale du plan de cisaillement

II.4.1.2. Rupture circulaire

Dans le cas des ruptures circulaires, le coefficient de sécurité F défini comme étant le rapport des moments des forces résistantes par rapport aux moments des forces motrices [14] .

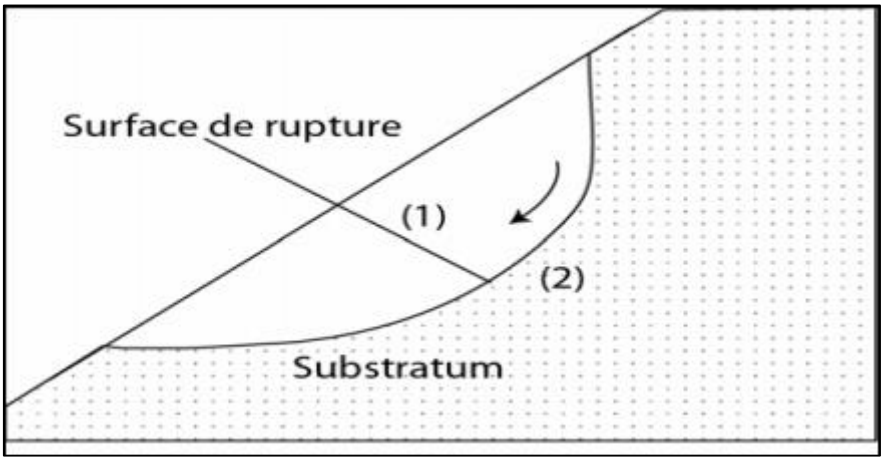


***Figure II. 2** : Surface de rupture.*

II.5.1. Méthodes analytique

Le coefficient de sécurité de différents cercles peut être calculé analytiquement (si des hypothèses sur la répartition des contraintes le long de la surface de rupture sont effectuées) et F_S du talus est le plus faible de ces coefficients. il existe des abaques permettant de déterminer le coefficient de sécurité et la position de la surface de rupture la plus défavorable dans ces cas simples (Méthode de Taylor, de Caquot ou de Biarez).

II.5.1.1. Méthode de Taylor (appelée méthode de cercle de frottement)

Hypothèses :

-La ligne de glissement est supposée circulaire,

-Jusqu'à une certaine profondeur au-dessous du pied de talus le sol est parfaitement Homogène.

-A cette profondeur, le sol repose sur la surface horizontale d'une couche plus consistante dite base résistante, dans laquelle la surface de glissement ne pénètre pas,

-Il n'y a ni nappe phréatique, ni écoulement d'eau.

-La répartition des contraintes à la base est comprise entre une répartition uniforme et une répartition sinusoïdale le long de l'arc de glissement [15].

II.5.1.2. Méthode de Caquot ou de Biarez

L'hypothèse dans cette méthode c'est aussi que le sol est homogène mais avec la Présence de la pression interstitielle. Son principe et fait pour une rupture circulaire, pour Caquot il vérifie l'équilibre des moments et pour Biarez c'est la vérification de l'équilibre des polygones (résultante) des forces [15].

II.5.1.3. Méthodes des tranches

Le découpage de la masse instable en tranches verticales a permis le développement d'un très grand nombre de méthodes, symbolisées par la méthode Suédoise de Fellenius (1927). trois hypothèses sont rajoutées par rapport à la méthode des blocs : les bords des blocs sont devenus verticaux ; le point de passage de la force à la base du bloc (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 [15].

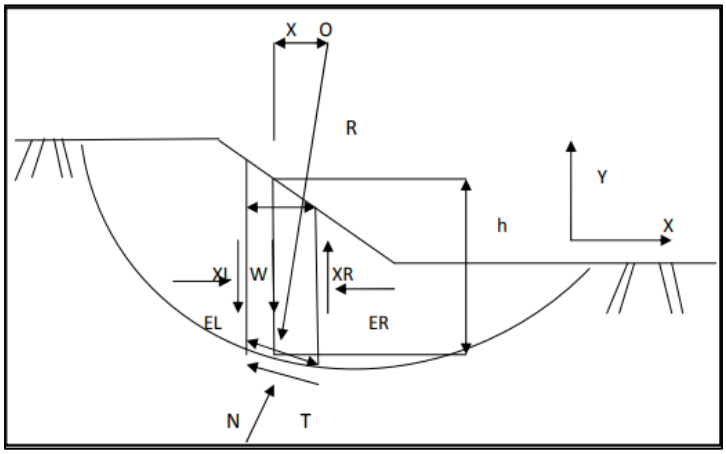


***Figure II. 3** : Méthode des tranches pour analyser des ruptures circulaires.*

II.5.1.4. Méthode de FELLENIUS (rupture circulaire) (1927)

Cette méthode a été proposée par Fellenius (1927), dans le cas d'un sol purement cohérent elle est basée sur les Hypothèses suivante :

- a méthode suppose une surface de glissement circulaire et divise le talus en tranches ;

- elle néglige les forces entre les tranches (efforts verticales et horizontales).

La méthode de Fellenius vérifie l'équilibre global des moments tout en négligeant les forces entre tranches. Seuls les efforts de cisaillement le long de la courbe de rupture circulaire sont pris en compte. La résistance au glissement est alors facilement calculable

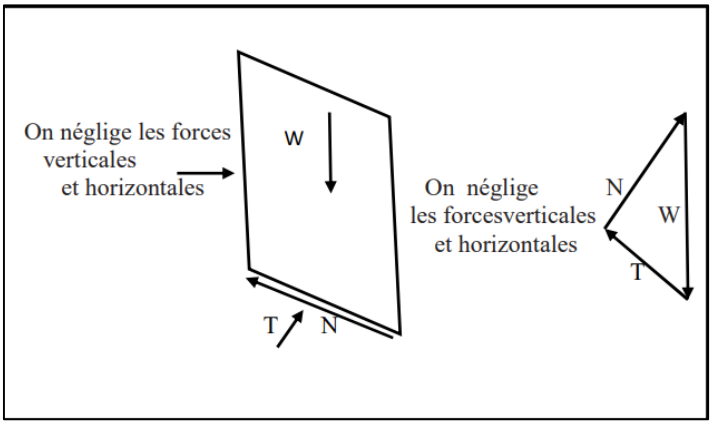


***Figure II. 4** : Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius.*

sous l'expression d'un moment, avec un bras de levier égal au rayon R, le coefficient de sécurité est donné par la formule suivante :

$$F = \frac{\sum c'_l + (w.\cos\alpha - u_l)}{\sum w.\sin\alpha} \qquad \text{(II.6)}$$

C'est une méthode moins précise que les autres méthodes des tranches et elle est sûre pour des sols homogènes seulement [16].

II.5.1.5. Méthode simplifiée de Bishop (1955)

Hypothèses :

- la méthode suppose une surface de glissement circulaire ;

- elle néglige les forces verticales entre les tranches.

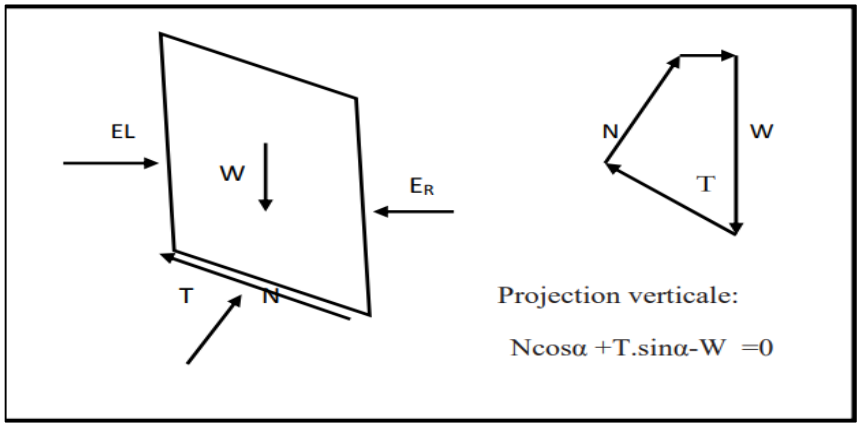


***Figure II. 5** : Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Bishop simplifiée.*

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.

D'après l'hypothèse faite sur les forces entre les tranches ($X_R - X_L = 0$), nous aurons :

$$F_s = \frac{\sum [c'_l.\cos\alpha + (w - u_l\cos\alpha)\tan\varphi] m\alpha}{F} \qquad \text{(II.7)}$$

$$m\alpha = \frac{\cos\alpha(1 + \tan\alpha.\tan\varphi')}{F} \qquad \text{(II.8)}$$

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 départ de cette itération. cette méthode est plus précise que celle de Fellenius et le calcul se prête particulièrement bien au traitement par ordinateur [13].

II.5.1.6. Méthode des perturbations

La méthode des perturbations est une méthode globale proposée par Raulin et al (1974) et développée par Faure (1985) [13].

Cette technique permet d'effectuer des calculs en rupture circulaire ou non circulaire. Le massif de terre délimité par une courbe de rupture quelconque est alors en équilibre sous l'effet de son poids propre et de la réaction du sol sous-jacent. dans cette méthode, on fait l'hypothèse que la contrainte normale σ sur la surface de rupture est donnée par une « perturbation » de la contrainte de Fellenius σ_F [2].

La loi de Coulomb permet d'exprimer les contraintes de cisaillement maximales. le coefficient de sécurité est défini classiquement comme étant le rapport du cisaillement maximal disponible au cisaillement nécessaire à l'équilibre. le système est résolu globalement à l'aide des trois équations d'équilibre appliquées à tout le massif, ce qui fournit les valeurs des trois inconnues du problème ; qui sont le coefficient de sécurité F et les deux paramètres qui modifient la contrainte approchée (λ et μ). Par ailleurs, cette méthode peut avoir des extensions très intéressantes pour la prise en compte d'inclusions ou pour le développement de méthodes en déplacements [17].

II.5.2. Méthode numérique

II.5.2.1. La méthode des éléments finis

La modélisation par éléments finis nécessite également une bonne connaissance des outils numériques utilisés, ainsi que des limitations et des incertitudes associées à ces modèles.

Le choix des modèles dépend des objectifs de l'étude et des données disponibles, ainsi que des contraintes de temps et de coût. Il est souvent nécessaire d'utiliser des modèles simplifiés pour obtenir des résultats dans des délais raisonnables, mais il est important de

comprendre les limites de ces modèles simplifiés et de les valider avec des données expérimentales ou des résultats d'autres modèles plus complexes.

Donc, la modélisation par éléments finis peut fournir des informations précieuses sur le comportement d'un ouvrage, mais elle ne doit jamais être considérée comme une méthode infaillible pour prédire le comportement réel. Elle doit être utilisée en conjonction avec des données sur le terrain et une expertise technique pour prendre des décisions éclairées concernant la conception, la construction et la maintenance des ouvrages [17].

II.6. Conclusion

A la fin de ce chapitre on constate que les reconnaissances et la structure géologique du site sont très importantes pour entamer une étude de stabilité d'un glissement de terrain. Par la suite nous avons montré quelque technique de confortement qui sont très nombreuse ainsi les différents types de calcul qui nous permettent de calculer et d'analyser la stabilité des talus.

Chapitre III

Les Méthodes De Confortement d'un Glissement De Terrain

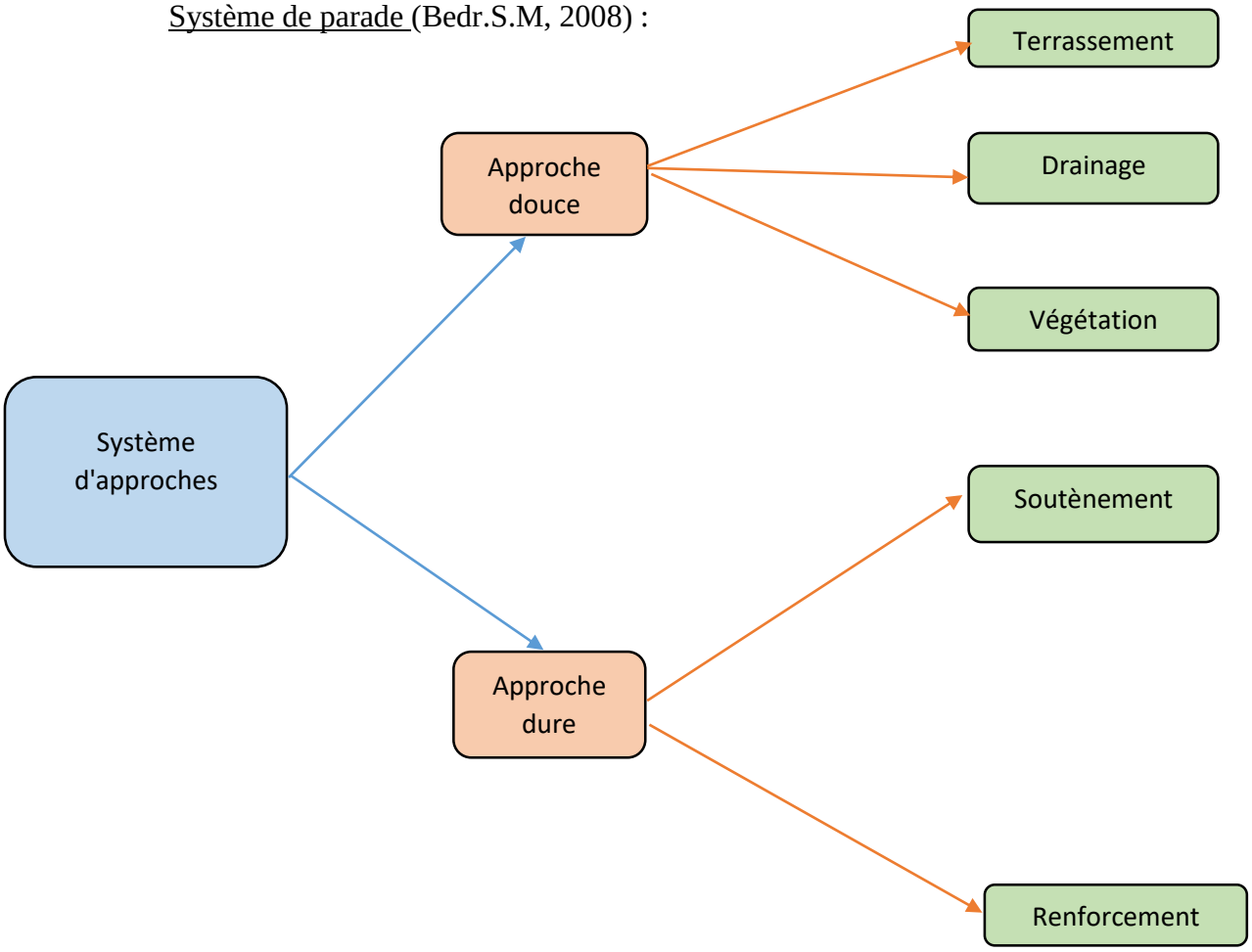
III.1. Introduction

Les confortements des talus au glissement sont l'ensemble des méthodes qui servent à stabiliser la masse de terrain instable. le choix de la méthode de confortement varie d'une part avec les caractéristiques et l'état de chaque site comme le type des sols, les conditions de drainage et les surcharges, et d'autre part avec le coût économique (quand il existe plusieurs solutions de confortement),l'accessibilité du site, La période de l'année choisie pour l'exécution des travaux, la cinématique du glissement, Les conditions de sécurité vis-à-vis de l'environnement et notamment les risques de désordre en phase de travaux, les délais impartis à la réalisation du confortement, qui dépendent de la gravité du phénomène et de l'urgence des travaux, La pérennité du système retenu et les possibilités d'entretien et de réparation et les moyens en matériel et la technicité des entreprises locales.

III.2. Les types d'approches des systèmes de confortement

Les dispositifs utilisés pour le confortement des pentes instables sont nombreux et variés Dans cette étude, on propose une classification des systèmes de parades, basée sur leurs définitions, et leurs types d'approches : douce et dure [19].

Système de parade (Bedr.S.M, 2008) :



III.2.1. Approche douce

Une approche douce est l'utilisation de méthodes naturelles, esthétiques, et qui s'attaque directement aux facteurs d'instabilités.et divisé en trois techniques :

- Terrassement.
- Drainage.
- Végétation.

III.2.2.1. Terrassement

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de confortement par terrassement :

- Les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied.
- Les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage.
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable [19].

a) Allègement en tête

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de géométrie en tête. On peut également substituer le matériau terrassé par un matériau léger (polystyrène, matériau à structure alvéolaire, etc.) [20].

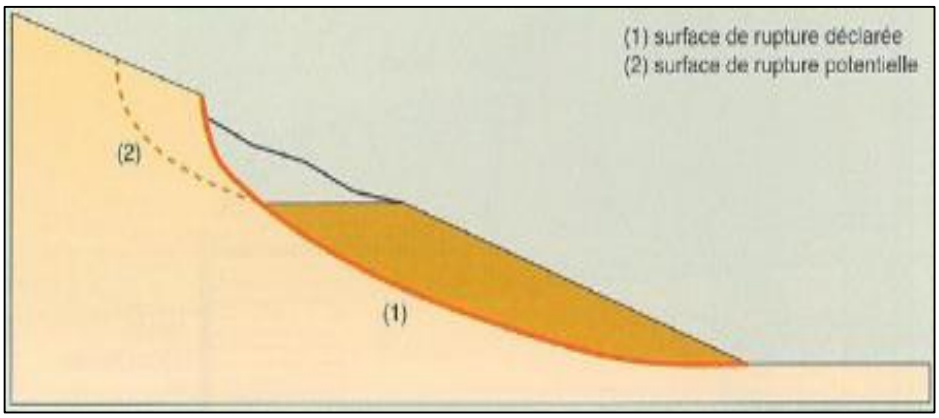


***Figure III. 1** : Allègement en tête.*

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement augmenter la sécurité par retalutage du terrain naturel. dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne.

Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais, et il est de pratique courante. Notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité par rapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

b) Remblai en pied

Le chargement en pied d'un glissement comme représenté sur la Figure (Ⅲ. 1), est une technique souvent utilisée, généralement efficace. L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contrebalancement des forces motrices. Comme dans le cas d'un ouvrage de soutènement, le dimensionnement doit justifier de la stabilité au renversement, de la stabilité au glissement sur la base et de la stabilité au grand glissement. Mais en pratique, c'est la stabilité le long de la surface de rupture du glissement déclaré qui est dimensionnant.

La stabilité au grand glissement suppose que :

- L'ouvrage limite les risques de reprise du glissement en amont.
- L'ouvrage ne déclenche pas d'autre glissement, par exemple à l'aval.

Les ouvrages ainsi dimensionnés, en plus de leur fonction « poids », peuvent assurer un drainage du massif. Aussi utilise-t-on en général un matériau drainant.

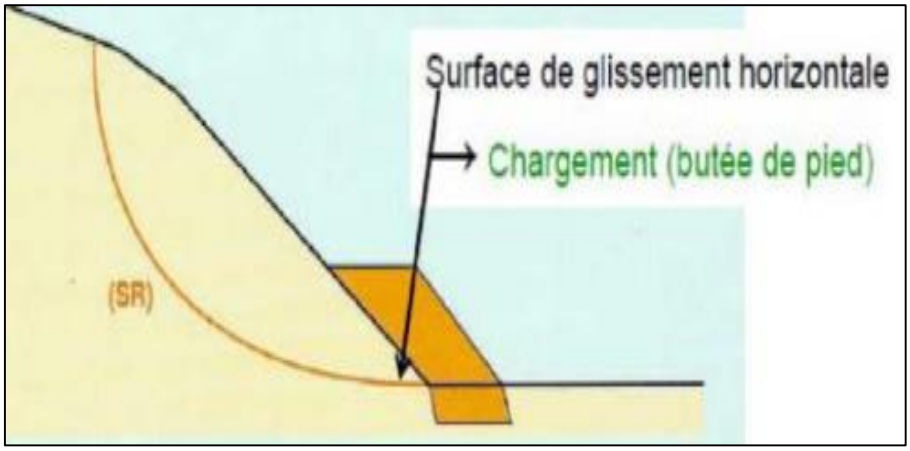


***Figure III. 2** : stabilisation par butées de pied.*

c) Purge

Les techniques de terrassement s'accompagnent fréquemment de purges du matériau déplacé par le glissement. Cette solution est généralement limitée aux glissements de taille modeste. On peut, dans certains cas, purger l'ensemble du matériau glissé, à condition que la surface mise à nu soit stable par le glissement.

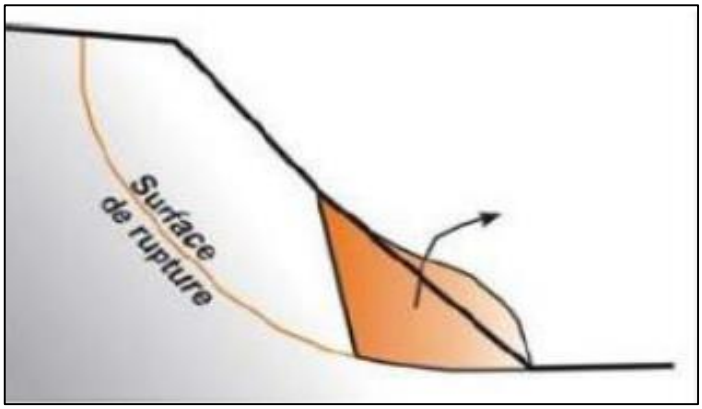


***Figure III. 3** : La purge totale.*

d) Reprofilage

Il consiste en un adoucissement de la pente moyenne. Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais, et il est de pratique courante. notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité par rapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires [20].

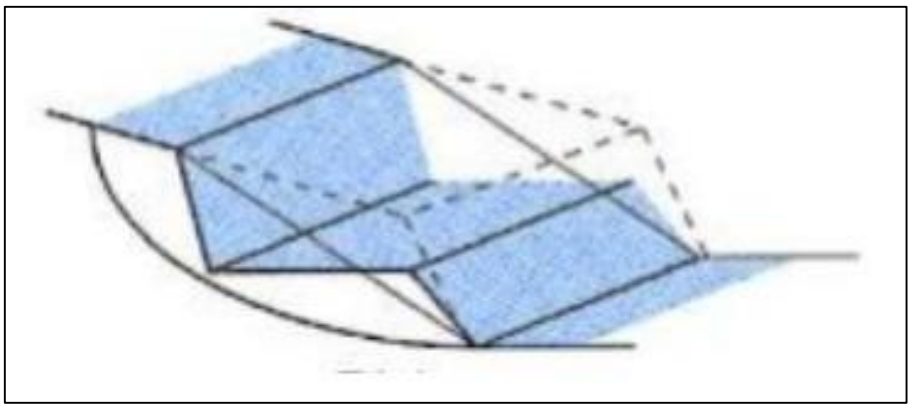


***Figure III. 4** : Reprofilage.*

e) Substitution totale ou partielle

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. cela permet de reconstituer le profil du talus initial. Il importe de vérifier la stabilité au cours des phases

de travaux et celle du talus définitif dans lequel on prend en compte les caractéristiques du matériau de substitution et du matériau en place.

La substitution de matériaux glissés suppose que l'on connaisse le volume de matériaux concerné, que l'on excave plus profondément que la surface de rupture, et que l'on réalise des redans afin d'assurer un bon accrochage entre le substratum et le sol d'apport. La tenue des talus provisoires de la purge dépend des conditions de terrassement, de la météorologie .etc. des substitutions partielles sont souvent employées, sous forme de bêches ou de contreforts discontinus. Le coefficient de sécurité de la pente ainsi traitée peut être estimé [20].

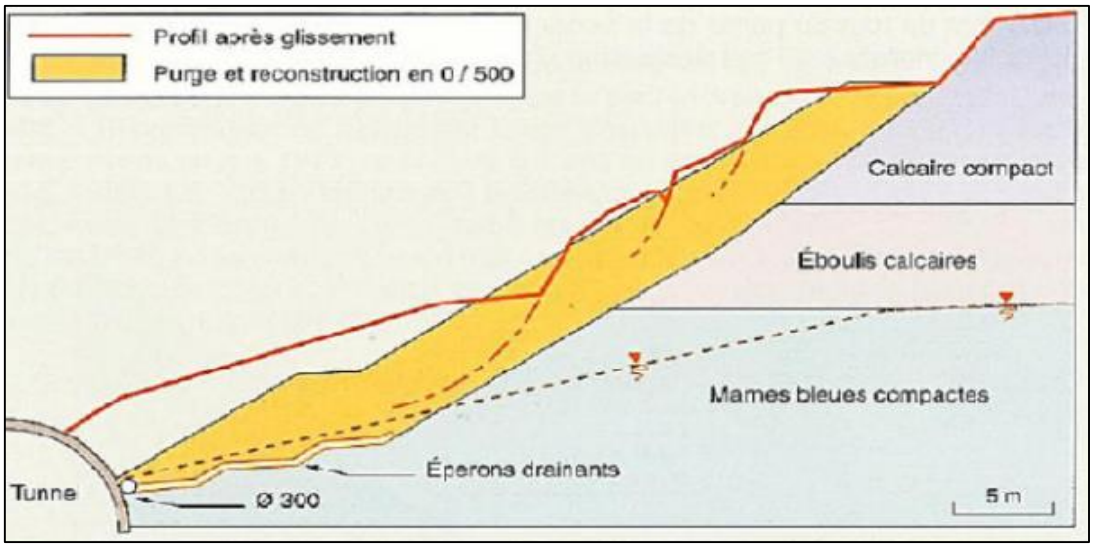


***Figure III. 5** : Substitution totale des matériaux glissés au droit de la tête.*

III.2.2.2. Dispositifs de drainage

Dans la plupart des cas de glissement, l'eau joue un rôle moteur déterminant. Aussi utilise-t-on couramment les techniques de drainage comme :

- ✓ Collecte et canalisation des eaux de surface.
- ✓ Tranchées drainantes.
- ✓ Drains subhorizontaux.
- ✓ Masques et éperons drainants.
- ✓ Drains verticaux, galeries drainantes.

a) Collecte et canalisation des eaux de surface

L'objectif est de limiter les infiltrations dans le massif en mouvement. Les eaux peuvent provenir des zones de sources, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou un bassin de stockage à l'amont ou plus simplement de l'impluvium et des eaux de ruissellement. En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures, à stagner dans les zones

de faible pente et aggravent ainsi une instabilité amorcée. Aussi les ouvrages de collecte des eaux (fossés, caniveaux, cunettes) et l'étanchéification des fissures de surface, bien que ne constituant pas des ouvrages de drainage à proprement parler, sont-ils réalisés en première urgence dans de nombreux cas de glissements.

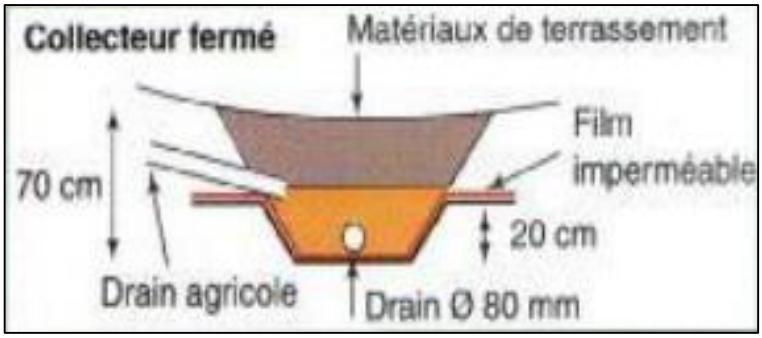


Figure III. 6 *: exemple de drainage en surface.*

b) Tranchées drainantes

Les tranchées drainantes sont des ouvrages couramment employés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau.

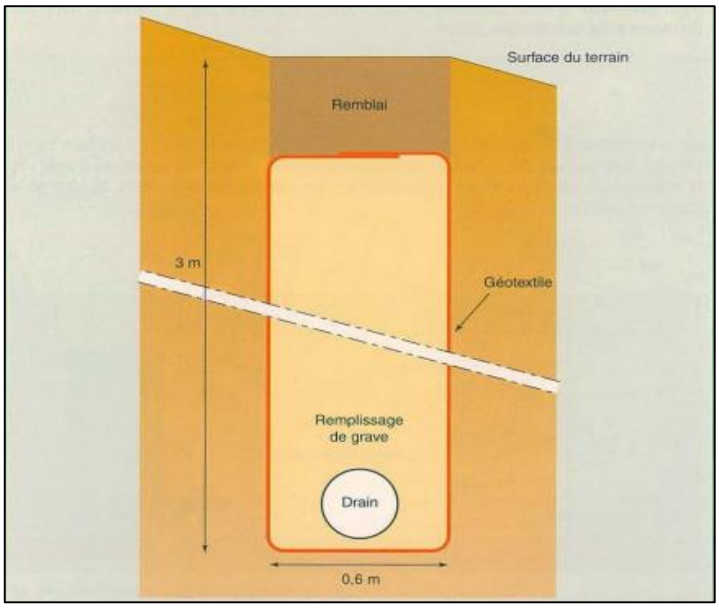


Figure III. 7 *: coupe schématique d'une tranchée drainent.*

c) Drains subhorizontaux

Lorsque les contraintes d'accessibilité du site ou les conditions de circulation interdisent la réalisation de tranchées, l'installation de drains subhorizontaux peut permettre de diminuer les pressions interstitielles et de décharger des aquifères localisés. la technique

consiste à réaliser de nombreux forages avec une faible pente sur l'horizontal 2° à 5° et à y placer des tubes crépines. ces tubes sont généralement en PVC de 50 à 80mm de diamètre, parfois en acier lorsque des grandes déformations sont susceptibles de se produire

Le glissement de Chatel-Guyon par exemple s'est produit dans des formations de sable argileux surmontant des argiles et marno- calcaires. il a été provoqué par la construction d'un remblai routier sur ces formations saturées. pour la solution de stabilisation il a été décidé de réaliser une dizaine de drains subhorizontaux de pente 9°, de 40m de longueur [20].

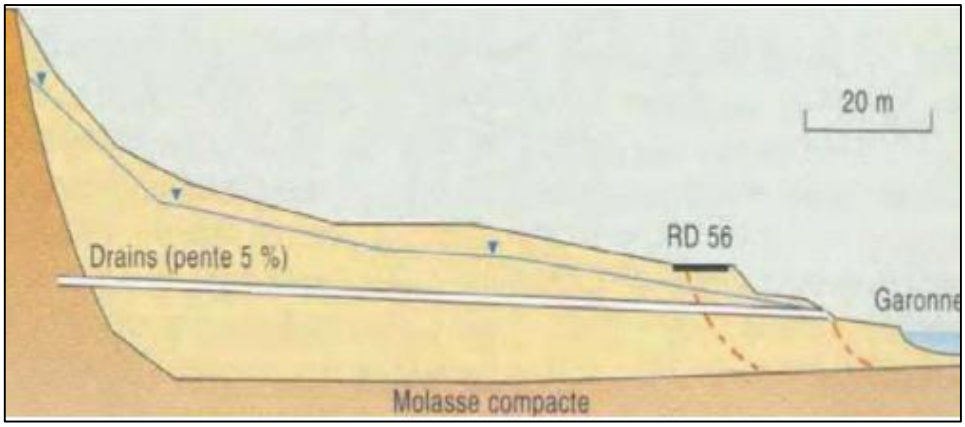


Figure III. 8 *: Exemple de stabilisation par drains subhorizontaux de la RD à Muret (Haute Garonne, France).*

d) Masques et éperons drainants

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus (M. Rat .1976) ; leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante de terrain, mais leurs caractéristiques très frottant apportent également un gain de stabilité. les éperons drainants sont des sortes de masques discontinus ; s'il est inutile ou difficile de réaliser un masque, on se contente de faire des saignées remplies de matériau drainant régulièrement espacées.

e) Drains verticaux, galleries drainantes

Les puits drainants équipés de pompes, installés en ligne, constituent un écran drainant, à condition bien sûr que la maintenance soit correctement assurée. le forage de drains subhorizontaux depuis le fond de puits de gros diamètre permet d'accroître leur rayon d'action.

Les drains-siphons sont des forages verticaux équipés d'un système d'évacuation de l'eau par siphonage vers un point bas du versant (de cote inférieure à celle du fond de forage).

Cette technique est utilisée lorsqu'on veut atteindre des profondeurs de rabattements importantes mais inférieures à 10 mètres.

III.2.2.3. Végétations

La végétation (gazon, arbustes et arbres) est très efficace et très utile pour la stabilité des sols, l'enlèvement de terre pour construire des talus supprime inévitablement la couverture végétale et les sols de surface sont laissées exposées et vulnérables aux attaques de ruissellement et le vent. la végétation stabilise la surface du sol par l'enchevêtrement de ses racines, réduit la fuite des eaux de ruissellement dans le sol, et retarde la vitesse de ruissellement. En outre, la végétation peut avoir une influence indirecte sur la stabilité profonde en appauvrissant l'humidité du sol, en atténuant la profondeur de pénétration du gel, et en fournissant un habitat favorable pour l'établissement de la végétation plus profondes (arbustes et arbres).

La végétation est multifonctionnelle, relativement bon marché, autoréparation, visuellement attrayante et ne nécessite pas d'équipement lourd pour son installation. Toutefois, il existe certaines limites. la végétation est sensible à la brûlure et à la sécheresse. Elle est difficile de s'implanter sur les pentes raides, incapables de résister à des affouillements et lentes à s'établir [21].

III.2.2. Approche dure

Cette approche s'attaque au problème en modifiant, d'une manière directe, les propriétés, mécaniques, physiques ou chimiques du sol [19].

III.2.2.1. Introduction d'éléments résistants

Ce sont des techniques et structures destinées à réduire ou à arrêter les déformations.

III.2.2.1.1. Soutènements

Deux grands types de structures peuvent être distingués :

a) Les ouvrages rigides

Ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des glissements de terrain, du fait de leur incompatibilité avec toute déformation ; en outre, le dimensionnement doit prendre en compte les efforts très importants engendrés par le glissement. La pratique est de dimensionner l'ouvrage en prenant en compte un effort limite de butée du sol en amont, qui

est l'effort maximal apporté par les masses en mouvement (la déformation du sol étant une compression) [19].

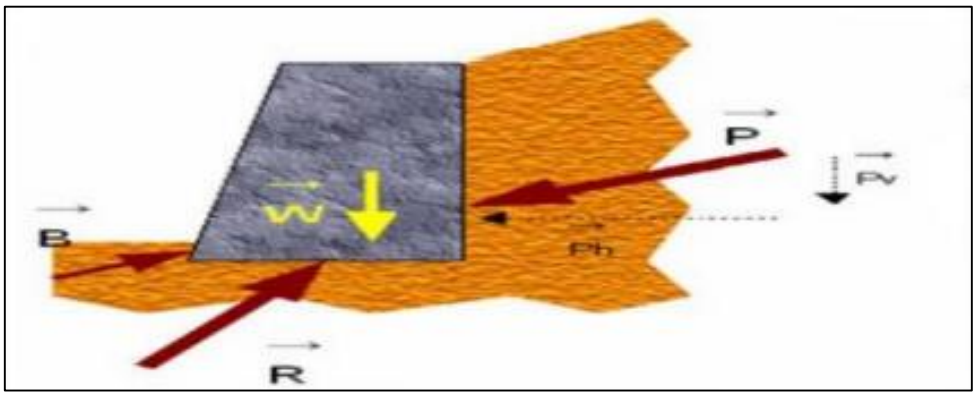


***Figure III. 9** : Mur de soutènement.*

b) Les ouvrages souples

Ce sont des structures obtenues à partir de gabions, de murs cellulaires, ou de sol renforcé par fils, par armatures synthétiques ou métalliques, par nappes de géotextiles, par grilles métalliques ou synthétiques. ces ouvrages fonctionnent comme les massifs poids décrits ci-dessus. On les dimensionne en deux phases : vis-à-vis de la stabilité interne selon une méthode propre à chacune des techniques, et vis-à-vis de la stabilité externe ainsi que décrit précédemment. ces techniques, qui admettent les déformations du sol, sont utilisées nettement plus couramment que les murs rigides [19].

- **Les murs en gabions**

Le principe du mur poids est d'opposer le poids de la maçonnerie du soutènement, à la poussée des terres qui tend à le renverser. la poussée des terre est minimal au sommet du mur et croit avec la profonde en arrière du mur : c'est pourquoi les murs poids s'épaississent vers la base. Les matériaux de base utilisés pour ce type de mur peuvent être la pierre ou le béton armé [19].

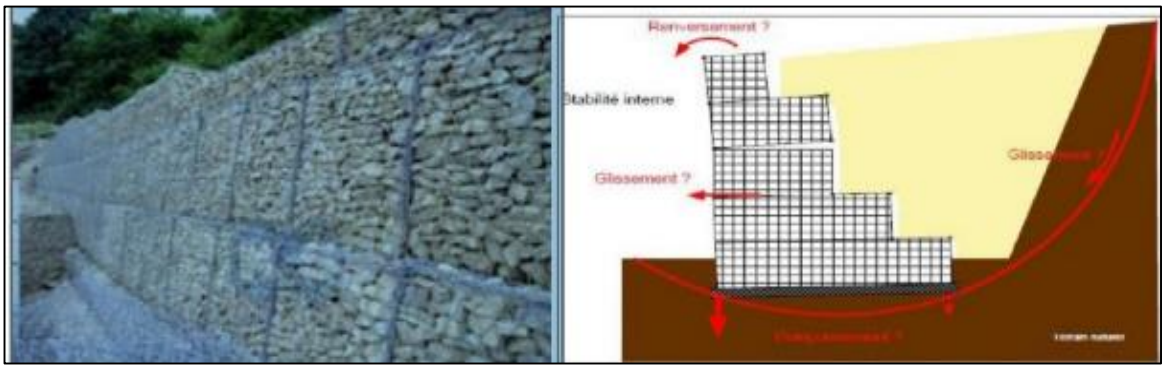


Figure III. 10 *: murs en gabion.*

- **Murs en géotextiles**

Les géotextiles sont des textiles techniques perméables fabriqués de fibres synthétiques, utilisés dans les travaux de génie civil, d'environnement et d'architecture du paysage afin de séparer, filtrer, améliorer le drainage, renforcer et répartir plus efficacement les charges imposées aux sols et surfaces. ils sont permanents et insensibles aux acides que l'on retrouve à l'état naturel dans les sols, ce qui leur confère une durée de vie excédant celle des ouvrages qu'ils protègent [19].



Figure III. 11 *: Murs en géotextiles.*

- **Clous et micro-pieux**

La stabilisation par clouage consiste à transférer les efforts stabilisateurs vers la partie stable du sol par un mécanisme d'accrochage. une masse solidaire est importante du sol est créée assurant ainsi la stabilité du massif. Deux types de clouage existent, le clouage passif où la présence seule du clou assure le transfert des efforts, et le clouage actif où le clou est

préalablement mis en tension. La mise en place des inclusions est en général préalable au creusement [22].

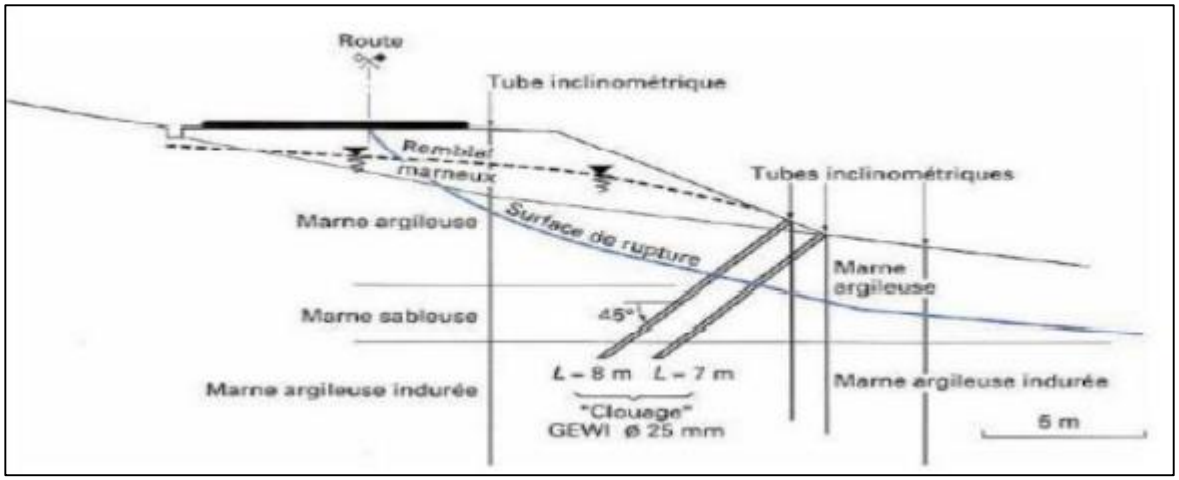


***Figure III. 12** : Exemple de clouage d'un glissement.*

- **Les pieux**

Le clouage de glissement par des pieux ou des barrettes procède du même principe. Toutefois compte tenu de leurs inertie importante, les pieux travaillent principalement en flexion /cisaillement alors que les clous de faible inertie travaillent en traction/flexion. Généralement, on dispose deux ou trois rangées de pieux dans le tiers central de la pente instable. Comme dans le cas d'un clouage par micro-pieux ou clous, l'évaluation de la sécurité au glissement se fait en utilisant une méthode de calcul de stabilité de pente dans laquelle on introduit les efforts apportés par les pieux. cette technique a été employée pour stabiliser le glissement de terrains [19].



***Figure III. 13** : illustration de réalisation d'un pieu.*

- **Pneu sol**

Le procédé Pneu sol est une association de pneus entiers et de sols, utilisée pour la construction de murs de soutènement. le mot "pneus" désigne tous les éléments du pneu usagés (deux flancs, une bande de roulement) ou les pneus entiers qui sont associés linéairement ou en nappes et susceptibles de supporter des efforts de traction importants.

Le mot "sol" englobe toutes les variétés de terrains naturels, artificiels ou des déchets divers. Cette méthode est utilisée aujourd'hui :

- En soutènement
- En réducteur de poussée
- En raidissement de pente
- En absorbeur d'énergie
- En remblais léger
- En protection des pentes et berges [20] .



***Figure III. 14** : technique pneu sol.*

III.3. Conclusion

L'étude des glissements de terrain présente une grande importance pratique : par les risques qu'ils font encourir aux habitations et aux ouvrages, et l'ampleur de ces risques, par la difficulté technique des confortements, par le coût toujours élevé des travaux de confortement. Il est donc essentiel de faire des études approfondies, pour mieux adapter nos ouvrages aux impératifs du sol.

Chapitre IV

Analyse De Site

IV.1. Introduction

Dans le cadre de l'étude de stabilité des glissements de terrain au niveau du contournement nord de la ville de Médéa, la Société algérienne des ponts et travaux d'arts (SAPTA) a confié l'élaboration du dossier d'exécution relatif au traitement de glissement de terrain du PK 6+700 au PK 7+060 à la Société algérienne d'études d'infrastructures (BET SAETI).

IV.2. Situation de projet

Le glissement de terrain fait l'objet d'étude se trouve au niveau de la commune de Draa Essamar située à 4 kms à l'ouest de la ville de Médéa dans une géomorphologie accidentée avec réseau hydrographique important.

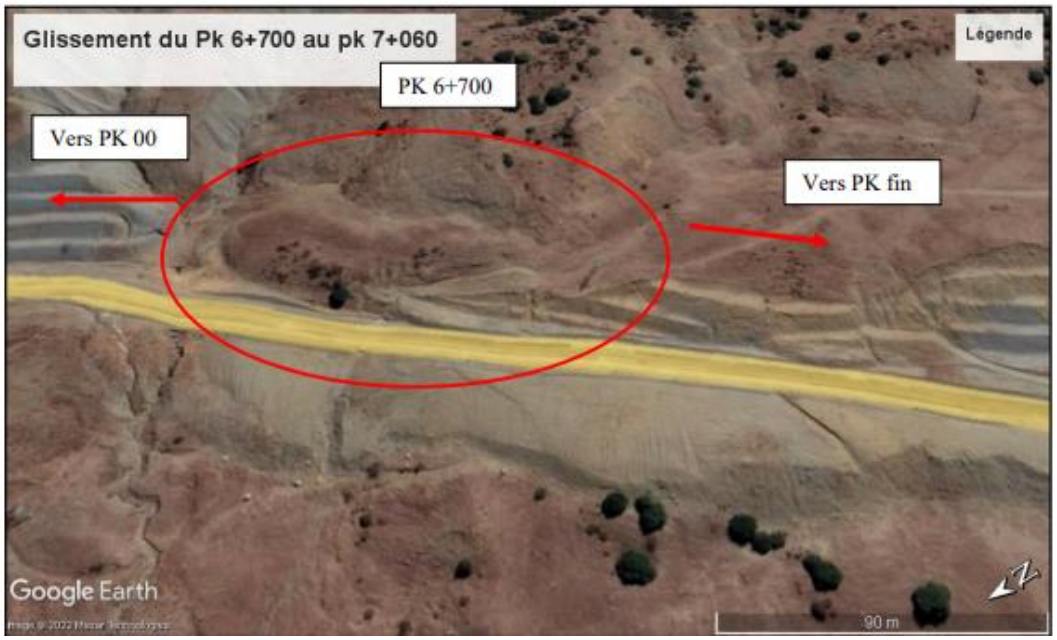


Figure IV. 1 *: Situation de la zone d'étude.*

IV.3. Contexte géologie

IV.3.1. Géologie locale

Après consultation de la feuille géologique de Médéa au 1/50 000éme, il en ressort que la région 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 sa

partie nord et les dépôts du Cénozoïque dans sa partie sud. Les roches les plus anciennes de la région sont celles du Trias.

IV.3.2. Stratigraphie :

Les sédiments triasiques forment des structures dispersées dans l'eau reliées à ces régions chevauchées. Ils sont représentés par des roches gypseuses argileuses panachées, Parfois associé à des blocs calcaires et dolomitiques du Jurassique. Ils sont très intéressés L'étude du gypse et du sel à une valeur pratique.

Le nord du Crétacé est largement développé et le centre de la région. Ils sont représentés par une fondation puissante, comprenant Sédiments du Crétacé inférieur à supérieur.

Les strates du Crétacé inférieur sont représentées par des schistes siliceux argileux, argilite et marne inter stratifiées avec du grès siliceux, parfois de la roche Il ressemble à du plâtre. Le gisement cénomanien est caractérisé par des marnes et calcaire. La marne est compacte et a une structure argileuse. Le calcaire est gris foncé, en blocs et rubané, et la fracture est en forme de coquille. Les sédiments du Crétacé supérieur comprennent la marne grise, Grès brun et schiste. Strates paléogènes Sédiments éocènes et oligocènes. Ce sont des marnes argileuses, des grès, Combiné avec le calcaire organique du passé. Les gisements du Néogène sont développés dans toute la région de Wilaya, et Représenté par des strates miocènes et pliocènes de marnes et de calcaires matières organiques, grès, conglomérat. Les sédiments quaternaires sont représentés par la formation de limons pantes, Sable, argile, galets.

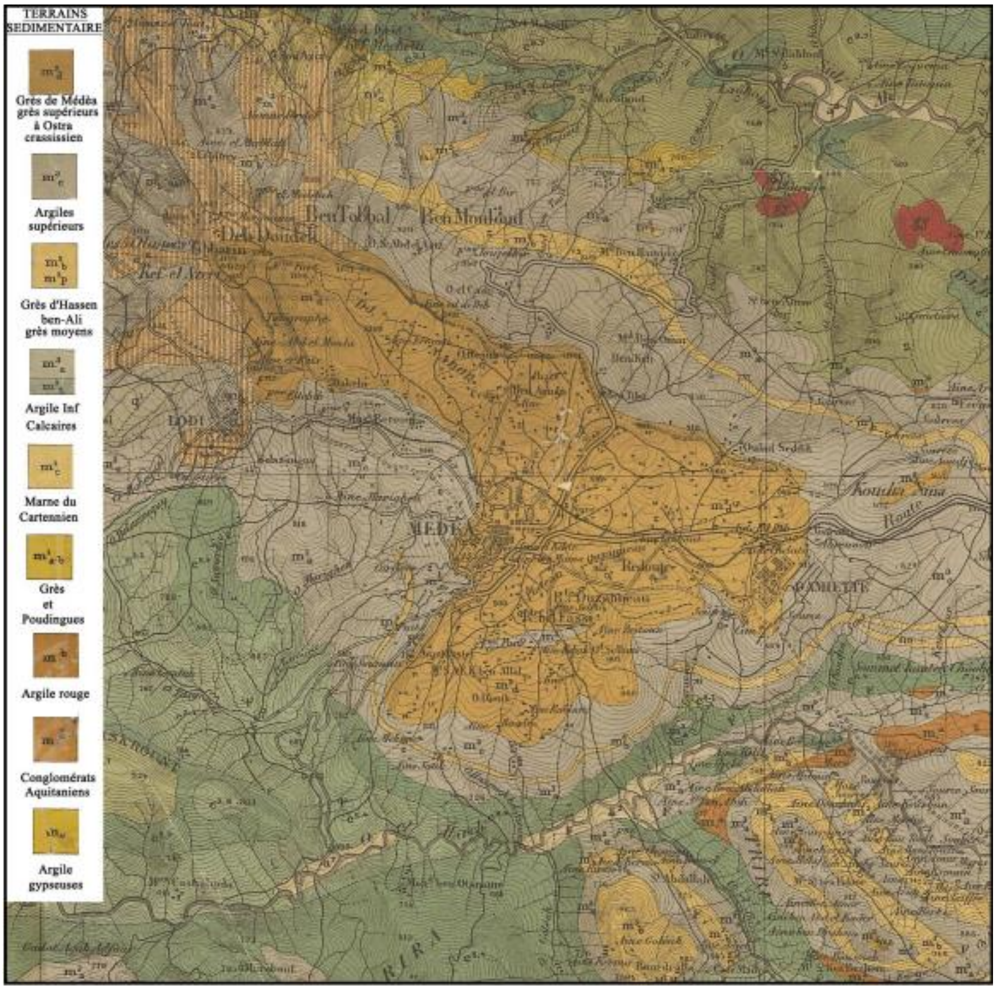


***Figure IV. 2** : Extrait de zone d'étude sur la carte géologique de Média échelle 1/50.000ème.*

IV.3.3. Tectonique

Cette région occidentale de la Médéa correspond à la structure plissée du Néogène et fracturé au niveau des rides anticlinales complexes. Cette configuration permet l'affleurement socle crétacé et oligocène, donnant ainsi naissance à trois synclinaux, Présentation de la gamme complète de revêtements de sol suisses en différentes épaisseurs.

Cette structure plio-quaternaire a évolué par l'activité sismique à l'ère actuelle Connu par la région.

La région de Médéa appartient au domaine tellien et est constituée d'anticlinaux Blida et Tablât, correspondant aux parcelles indigènes au sud la couche Tell est définie Mouvements tectoniques enregistrés la zone est associée à l'orogenèse alpine et est divisée en 3 types pas en forme

Déformation tangentielle se manifestant par un déplacement de couche alité.

Déformation molle et cassante se manifestant par des plis et des défauts de différentes directions.

IV.3.4. Sismicité :

La réglementation sismique algérienne (RPA) a établi des règles basées sur l'ampleur de l'action sismique régionale pour tenir compte de la probabilité de séismes survenant dans la zone d'étude. Ces règles ont été récemment révisées après le séisme de Boumerdès du 21 mai 2003, divisant le territoire algérien en cinq (05) zones sismiques :

- **Zone 0** sismicité négligeable ;
- **Zone I** sismicité faible ;
- **Zone II a et IIb** sismicités moyenne ;
- **Zone III** sismicité élevée ;

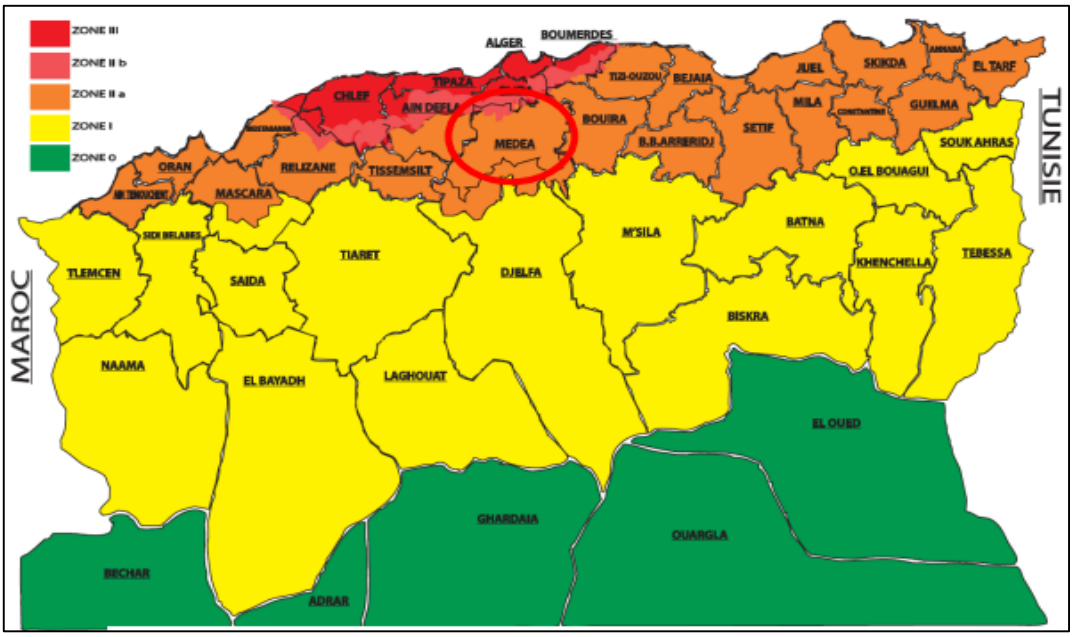


Figure IV. 3 *: Carte de zonage sismique de l'Algérie.*

Le projet de la liaison autoroutière doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci- après : [23]

Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale.

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance.

Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne.

Groupe 3 : Ouvrages de faible importance.

Tableau IV. 1 *: coefficient d'accélération A.*

ZONE				
Groupe	**I**	**IIa**	**IIb**	**III**
1A	0,15	0,25	0,30	0,40
1B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0,07	0,10	0,14	0,18

La carte de zonage sismique ci-dessous montre que la région de Médéa appartient à la **zone IIb** et le facteur d'accélération à considérer est **A = 0,25**, avec :

- kh = 0,5 A (%g) = forces horizontales.
- kv = ± 0,3 kh = forces verticales.
-g= accélération de la pesanteur.

IV.4. Diagnostic sur site

Une inspection minutieuse du site a permis de mettre en évidence une série de glissements de terrain circulaires, caractérisés morphologiquement par des fissures ou des niches de déchirure, et des déplacements de masse perlés limités par des fractures bien visibles en surface. ces glissements de terrain se produisent dans des sols strictement meubles avec des pentes constituées de marnes.

Visuellement, le glissement de terrain s'est produit en amont, jusqu'au pied du remblai,

Comme indiqué ci-dessous :



***Figure IV. 4** : presontation du site .*

IV.5. Causes des instabilités

- Géologiques et géotechniques : présence de la marne qui est très vulnérable à l'eau et sujette aux glissements de terrain ; ainsi, son étude de stabilité doit être soigneusement élaborée, avec une attention particulière ;
- Géomorphologique : terrain vallonné ; la pente est plus ou moins importante (facteur en faveur du glissement) ;
- Hydraulique : aucune mesure de drainage n'a été effectuée sur le site, les eaux de pluie, et même les eaux usées se déversent sauvagement sur les talus marneux, en provoquant leur saturation [23].

IV.6. Reconnaissance géotechnique

IV.6.1. Essais in situ

La compagne de reconnaissance géotechnique menée sur site a comporté l'exécution des essais suivants :

✓ Deux sondages, carottés notés SC1 et SC2 de 15m et 20m respectivement avec prélèvement d'échantillons intacts et remaniés pour des essais au laboratoire.

✓ Six (06) essais au pénétromètre dynamique.

✓ Un (01) sondage préssiométrique de 20 m de profondeur.

✓ Un piézomètre ;

✓ Des essais physico-mécaniques de laboratoire.

IV.6.2. Essais de laboratoire

Les échantillons intacts récupérés des sondages carottés ont été soumis aux essais de laboratoire conforme aux normes en vigueur et qui sont :

✓ Essais physiques :

- Mesure des teneurs en eau naturelle et de saturation.
- Mesure du degré de saturation.
- Mesure des densités.
- Analyses granulométriques.
- Limites d'Atterberg.

✓ Essais mécaniques :

- Essais de cisaillement à la boite de Casagrande de type de drainé et UU et CD.
- Essais de cisaillement au triaxial UU.

IV.6.3. Description lithologique des Sondages carottés

La description géologique de chaque forage a été établie à partir des récupérations obtenues de haut en bas.

L'examen des coupes percées réalisées permet de tirer en continu

Les lithologies suivantes :

SC 01 : Le sondage a été localisé à 899m au large, en amont de la route (déblai), foré à une profondeur de 15m, recoupant la formation et résumé ci-dessous :

- De 0 à 1 m : terre végétale.
- De 1 à 6.5m : marne plastique de couleur brunâtre.
- De 6.5 à 15m : Marne grise compacte et peu plastique.

SC 02 : Ce dernier situé à la côte 884m et poussé jusqu' à 20 mètres de profondeur. Ce sondage carotté a traversé sur sa totalité les formations suivantes :

- De 0 à 09 m : Argile sableuse de couleur brunâtre.
- De 09 à 9.5 m : bancs gréseux jaunâtre.
- De 9.5 à 20 m : Marne dure compacte, peu plastique grisâtre [23].

IV.6.4. Interprétation des résultats de laboratoire à partir des sondages carottés

❖ Couche d'argile sableuse :

IV.6.2.1. Essais physiques

Humidité :

SC N°	Profondeur (m)	ω (%)	γ_d (t/m3)	γ_h (t/m3)	Sr (%)	Interprétation
SC 02	2.0-2.5	27.5	1.51	2.00	94	Sol détrempé, moyenne densité
	8.0-8.5	22.6	1.67	2.06	98	Sol détrempé, moyenne densité

Les densités sèches sont de 1.5 à 1.65 t/m3, un degré de saturation entre 94 à 98% et les teneurs en eau naturelle sont de l'ordre de 22.6 à 27%. Ces matériaux sont compacts, détrempé.

Granulométrie :

SC N°	Profondeur (m)	%< 2 mm	%< 80 µ	Classification selon L.C.P.C
SC 02	2.0-2.5	100	90	Sol fin
	8.0-8.5	100	96	Sol fin

Limites d'Atterberg :

SC N°	Profondeur (m)	WL (%)	WP (%)	IP (%)	Interprétation des résultats
SC 02	2.0-2.5	51	24	27	Sol argileux, très plastique, dure.
	8.0-8.5	44	24	20	Sol argileux, très plastique, dure.

Les limites d'Atterberg mesurées présentent des teneurs en eau de limite de liquidité de 44 à 51% et des indices de plasticité de 20 à 27 %. Selon la classification géotechnique USCS, ces matériaux appartiennent à la famille des sols fins à savoir des argiles très plastiques (AP et At).

IV.6.2.2. Essais mécaniques

Un essai de compressibilité à l'odomètre a été réalisé, les résultats obtenus sont comme suit :

Sondage	Pres.Préconsolidation Pc (bar)	Coef. Compressibilité Cc	Ind. gonflement Cg
SC 02 (2.0-2.5)	2.14	0.22	0.07

C'est une formation moyennement compressible et non gonflante.

Essais à la boite de Casagrande :

Des essais de cisaillement (saturés) rapides réalisés à la boite de Casagrande ont donné les paramètres de résistance suivants :

Des essais de type drainé ont été réalisés CD

Sondage	Cohésion C (bar)	Angle de frottement φ(°)
SC 02 (2.0- 2.5)	0.01	28.44

Essais au triaxial :

Des essais triaxiaux de type UU ont été réalisés :

Sondage	Cohésion C (bar)	Angle de frottement φ (°)
SC 02 (8.0- 8.5)	0.49	2.79

- Couche marneuse :

IV.6.2.3. Essais physiques

Humidité :

SC N°	Profondeur (m)	ω(%)	γ_d (t/m3)	γ_h(t/m3)	Sr (%)	Interprétation
SC 01	5.5-5.9	20.3	1.73	2.10	97	Sol détrempé, moyenne.
	10.00-10.70	28	1.6	2.04	100	Moyenne.
	14.20-14.80	15	1.73	2.02	72	Sol détrempé, dense
SC 02	11.20-11.70	17.5	1.84	2.20	100	Sol saturé, dense
	13.00-13.45	15.9	1.9	2.25	100	Sol saturé, très dense

Les densités sèches sont de 1.60 à 1.90 t/m3, un degré de saturation entre 72 à 100 % et les teneurs en eau naturelle varient de 15 à 28 %. Ces matériaux sont compacts, saturés à détrempés.

Granulométrie :

SC N°	Profondeur (m)	%< 2 mm	%< 80 µ	Classification selon L.C.P.C
SC01	5.5-5.90	100	100	Sol fin
	10.00-10.70	100	100	Sol fin
	14.20-14.80	100	100	Sol fin
SC 02	11.20-11.70	100	100	Sol fin
	13.00-13.45	100	100	Sol fin

Limites d'Atterberg :

SC N°	Profondeur (m)	WL (%)	WP (%)	IP (%)	Interprétation des résultats
SC01	5.5-5.90	53.50	24	29	Sol argileux, très plastique, dure.
	10.00-10.70	56.50	28.30	28.20	Sol argileux, très plastique, dure.
	14.20-14.80	55.20	26.40	28.80	Sol argileux, très plastique, dure.
SC 02	11.20-11.70	52.90	28.20	24.70	Sol argileux, très plastique, dure.
	13.00-13.45	47.70	24.70	23.00	Sol argileux, très plastique, dure.

Les mesures de limites d'atterberg présentent des limites de liquidité de 53.50 à 56.50 %, et indice de plasticités de 23.00 à 29 %.

Selon la classification géotechnique USCS, ces matériaux appartiennent à la famille des sols fins à savoir des argiles très plastiques (At).

IV.6.2.4. Essais mécaniques

Essais à la boite de Casagrande : [23]

Des essais de cisaillement (saturés) rapides réalisés à la boite de Casagrande ont donné les Paramètres de résistance suivants : A court terme UU.

Sondage	Cohésion C (bar)	Angle de frottement φ (°)
SC 02 (12.45-13)	4.4	12.89

Essais au triaxial :

Des essais triaxiaux de type UU ont été réalisés :

Sondage	Cohésion C (bar)	Angle de frottement φ (°)
SC 01 (5.5-5.9)	0.72	1.06
SC 01 (10-10.7)	0.58	0.43

IV.6.5. Essais aux pénétromètres dynamiques lourds : (P.D.L)

La résistance dynamique de pointe du sol (Rd) est donnée conventionnellement, à partir du nombre mesuré «N» en appliquant la formule de battage dite des « Hollandais ».

$$R_d=\frac{N*(M^2*H)*L}{(M'+M)*A}$$

Avec :

M : masse du mouton (Kg).

N : nombre de coupes nécessaires pour un enfoncement de 20 cm.

L : enfoncement de référence = 20 cm.

M' : masse des tiges (Kg).

A : section droite de la pointe (m^2).

H : hauteur de chute (cm).

Les résultats de ces essais sont interprétés et représentés sous forme de documents graphiques appelés « PENETROGRAMMES » joints en annexe. La profondeur est positionnée en ordonnée et la résistance dynamique de pointe en abscisses. L'étude des résultats obtenus permettra :

✓ De définir le niveau d'assise le plus favorable pour les fondations.

✓ Localiser des horizons éventuels de faibles résistances.

Le tableau suivant donne les valeurs de la résistance de pointe minimale (Rd min) par tranche de sol de même résistance : [23]

Essai N°	Profondeur (m)	Résistance de pointe moyenne (bars)	Nature du sol
PD 1	0 – 1.6	24	Remblai et Argile décomprimée
	1.6 – 10.20	>80	Argile compacte
PD 2	0 – 4.5	08 à 48	Remblai et Argile décomprimée
	4.5 – 6.40	>100	Argile compacte
PD 3	0 – 3.0	08 à 16	Argile décomprimée
	3.0 – 9.00	60 à 160	Argile compacte
	>9.00	>200	Marne compacte
PD 4	0 – 3.0	08 à 56	Argile décomprimée
	3.0 – 9.00	56 à 120	Argile compacte
	>9.00	>160	Marne compacte

PD 5	0 – 1.6 1.6 - 4.8	16 à 40 >80	Argile décomprimée Marne compacte
PD 6	0.0 – 4.0 4.0 – 9.40	08 à 56 >80	Remblai et Argile décomprimée Argile compacte

IV.6.6. Essais préssiométriques

Lithologie de SP04 (20 m) :

- 0.00 - 8.00m : Argile ;

- 8.00 - 20.00m : Marne indurée.

Les résultats détaillés des essais préssiométriques sont présentés dans les tableaux ci-après :

Profondeur (m)	**E (bar)**	**Pl (bar)**	**E/PL**
2	154.9	10.5	14.78
4	41	9.9	4.15
6	112.8	10.5	10.23
8	154.8	15.1	10.26
10	865.3	44.4	19.5
12	821.8	45.5	18.06
14	1108.8	50	22.18
16	1228.7	50	24.57
18	1065.9	50	21.32
20	1142.5	50	22.85

D’après les résultats obtenus de SP04, nous avons pu distinguer deux horizons de comportement légèrement distinct :

Horizon 01 : (de 0.00 à 8.00m)

- Les valeurs des pressions limites sont comprises entre 9.9 et 15.1 bars ; Le sol est considéré comme des argiles et limons fermes de classe « B » ;

- Le rapport E/Pl varie entre 4.15 et 14.78 indiquant que le sol est sous consolidé à normalement consolidé.

Horizon 02 : Au-delà de 8.00m de profondeur

- Les valeurs des pressions limites sont comprises entre 50.0 et 51.50 bars, avec E/Pl varie entre 44.4 et 50 ; Le sol est considéré comme marne indurée [23].

IV.7. Conclusion

L'étude géotechnique du site a permis de conclure sur les différentes caractéristiques du site qui est constitué de trois couches :

- La première couche marne plastique de (1m à 6,5m) de coulure brunâtre se caractérise par une densité humide égal à 2.10(t/m³) et degré de saturation égal à 97% et cohésion égale à 0.72 bar et angle de frottement égal à 1.06°.
- La deuxième couche marne grise de (6,5m à 9m) compacte et peu plastique se caractérise par une densité humide égal à 2.04 (t/m³) et degré de saturation égal à100 % et cohésion égal à 0.58 bar et angle de frottement égal à 0.58°.
- La troisième couche marne dure de (9m à 15m) compacte peu plastique grisâtre se caractérise par une densité humide égal à 2.20(t/m³) et degré de saturation égal à100 % et cohésion égal à 4.4 bar et angle de frottement égal à 12.89°.

Chapitre V

Modélisation De Glissement

V.1. Introduction

Dans ce chapitre on va étudiée le glissement de terrain du PK 6 +700 au PK 7 +060 au niveau de la commune de Draa Essmar à l'ouest de la ville de Médéa.

Pour étudier ce cas, nous avons choisi le logiciel de calcule TALREN4 version 2.0.3 dans le but d'analyser la stabilité de la transformation en fonction du facteur de sécurité et de comprendre la cinématique du problème.

V.2. Présentation du logiciel TALREN4 (Version 2.0.3)

TALREN est un logiciel développé par Terrasol qui se concentre sur la stabilité des talus naturels, des remblais, des barrages et des digues. Son nom est dérivé de "Talus Renforcés". ce logiciel prend en compte diverses techniques de renforcement, telles que les tirants précontraints, les clous, les pieux et micropieux, les géotextiles, les palplanches, ainsi que les parois moulées, afin d'évaluer la stabilité de ces structures.

V.3. Analyse de la stabilité de talus :

V.3.1. Données géotechniques :

Nous allons effectuer une analyse quantitative du cas de glissement situé à PK 6 +700 au PK 7 +060 au niveau de la commune de Draa Essmar à l'ouest de la ville de Médéa, avec le code de calcul TALREN V4 (la méthode utilisées est Bishop et Fellenius), nous souhaitons quantifier la stabilité en terme de coefficient de sécurité, et de comprendre la cinématique du problème.

- **Coefficient de sécurité :**

Pour assurer la stabilité d'un glissement dans des conditions stables à long terme durant le service, un coefficient de sécurité $F_S \geq 1.25$ est requis, cependant, lorsqu'il s'agit de prendre en compte l'effet sismique un coefficient de sécurité $F_S \geq 1.4$ est exigé.

- **Séisme :**

Le coefficient d'accélération de la valeur de pic sismique de la zone du projet : A=0.25g. Lors de l'analyse de stabilité générale de talus, le coefficient sismique horizontal est pris égale à Kh=0.5*A*g=1.226, le coefficient sismique vertical est pris égale à

Kv = ± 0.3 Kh=0.367

- **Caractéristiques des couches :**

Tableau V. 1: *Les données géométrie de terrain.*

N Couche	γ_h(kN/m³)	Cohésion (kPa)	Angle de frottement φ (°)
Marne plastique (1m à 6,5m)	20,59	72	1,06
Marne grise 1 (6,5m à 9,5m)	20,00	58	0,43
Marne grise 2 (9m <)	22,05	440	12,86

V.3.2. Géométrie du modèle :

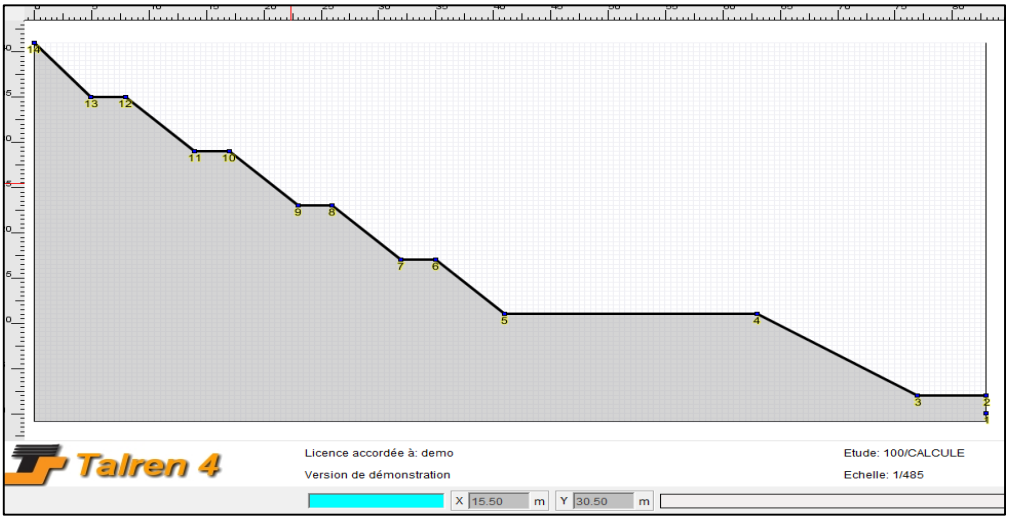
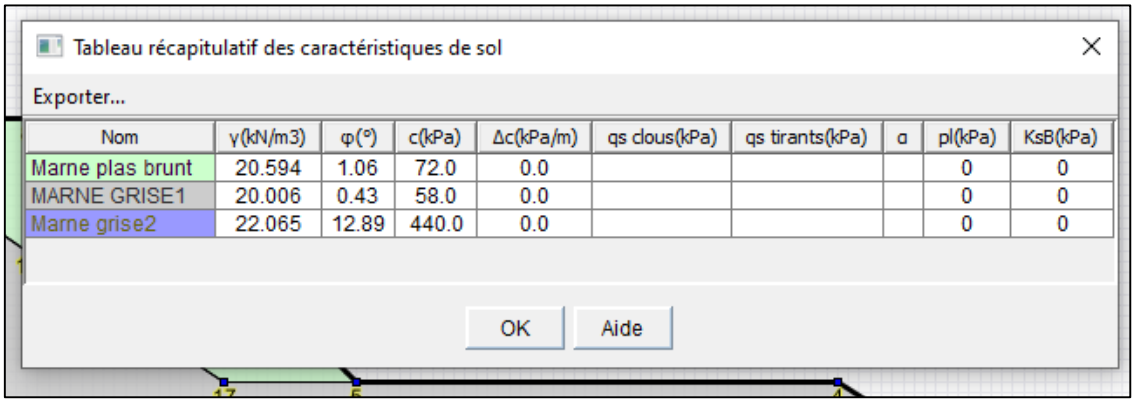


Figure V. 1 *: la géomètre de modèle.*

La géométrie du talus est décrite dans un repère cartésien (OXY), l'axe (OX) étant orienté horizontalement et dans la direction de l'avale et l'axe (OY) étant dirigé verticalement ; orienté vers le haut.

- **Tableau récapitulatif des caractéristiques de sol**



Nom	γ(kN/m3)	φ(°)	c(kPa)	Δc(kPa/m)	qs clous(kPa)	qs tirants(kPa)	α	pl(kPa)	KsB(kPa)
Marne plas brunt	20.594	1.06	72.0	0.0				0	0
MARNE GRISE1	20.006	0.43	58.0	0.0				0	0
Marne grise2	22.065	12.89	440.0	0.0				0	0

***Figure V. 2** : tableau récapitulatif des couches de sol.*

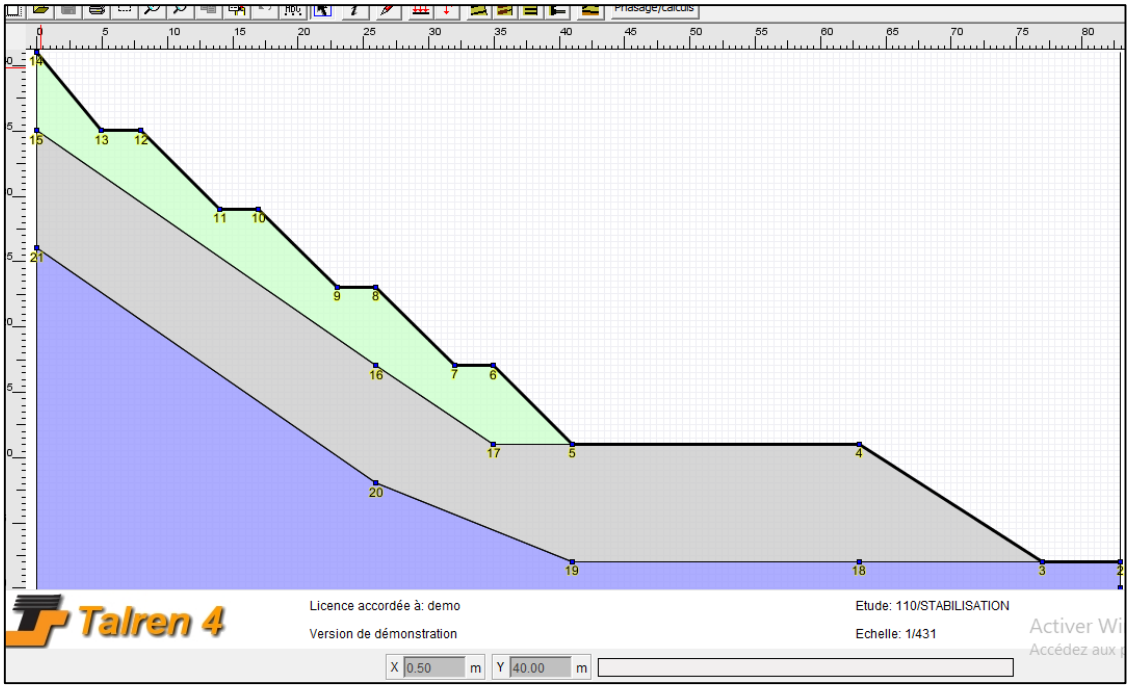


***Figure V. 3** : la géométrie représente les couches du terrain.*

V.4. Présentation des résultats de calcul avant le confortement

V.4.1. Calcul avec la méthode de Bishop

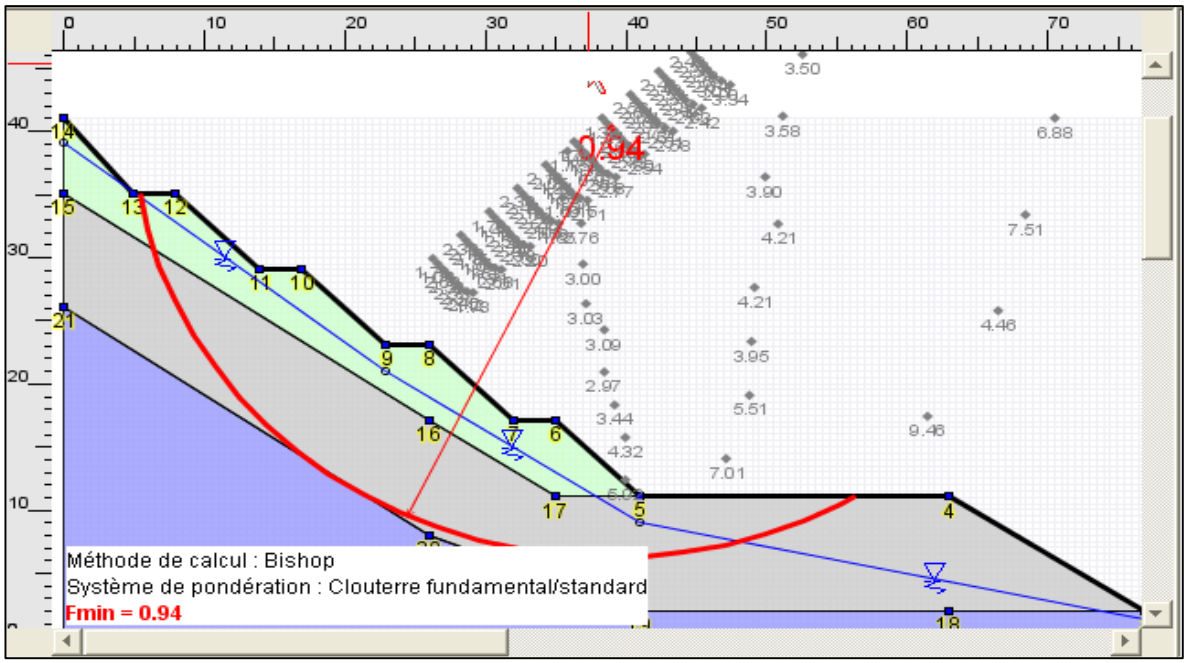


Figure (V. 4) *: Le résultat Avec la méthode de Bishop avec nappe sans séisme.*

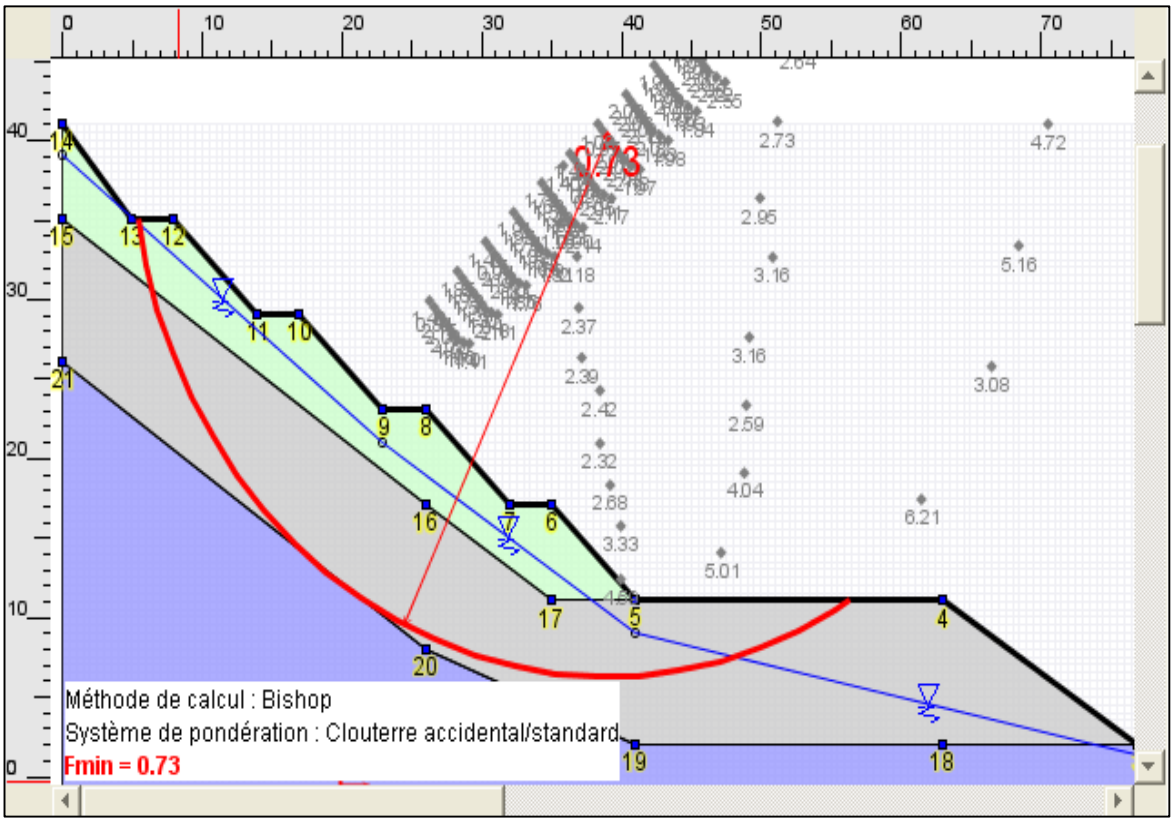


Figure V. 5 *: Le résultat Avec la méthode de Bishop avec nappe avec séisme.*

V.4.2. Calcul avec la méthode de Fellenius

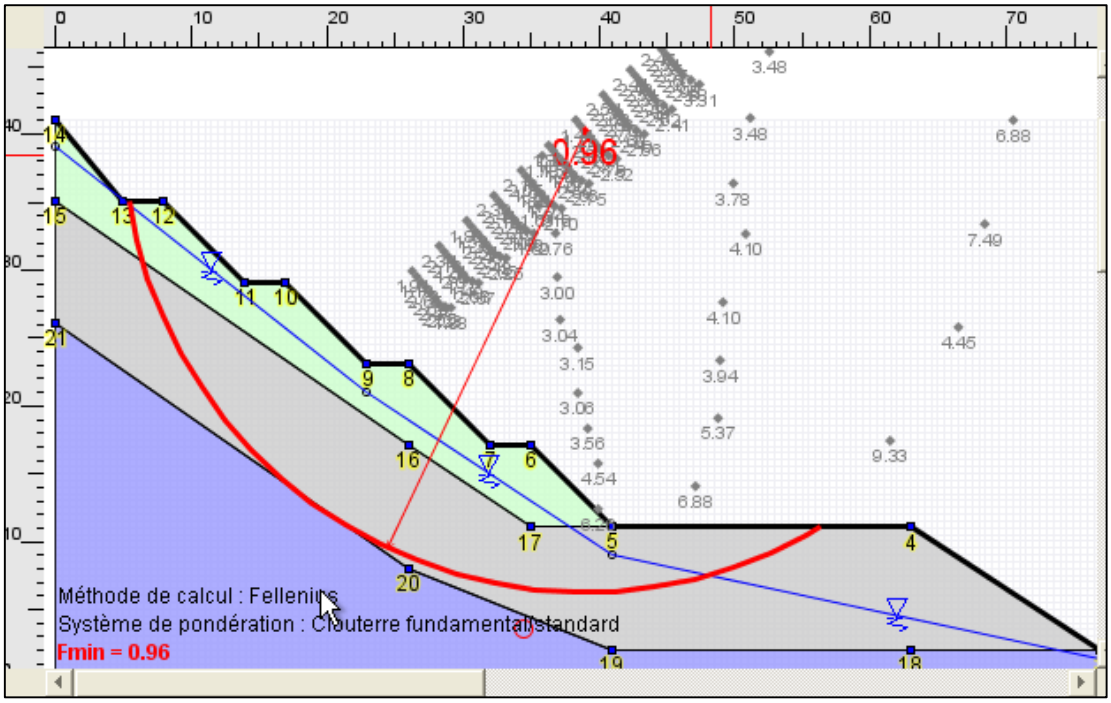


***Figure V. 6** : Le résultat Avec la méthode de Fellenius avec nappe sans séisme.*

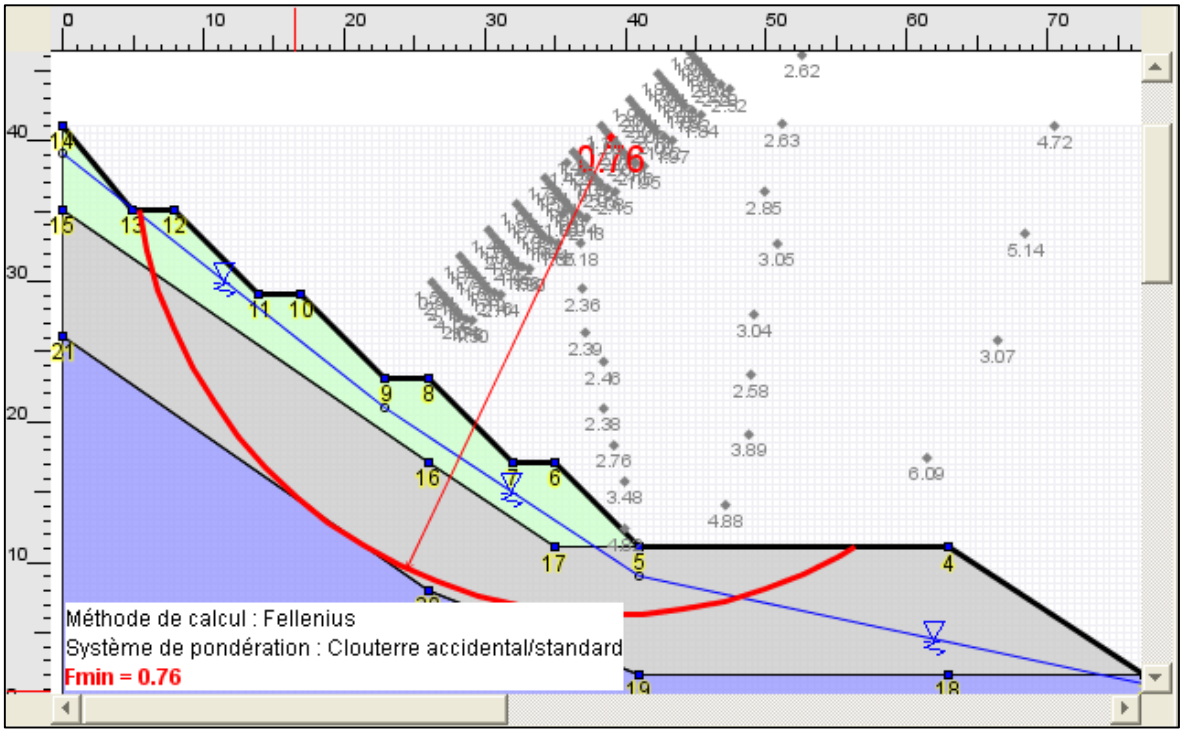


***Figure V. 7** : Le résultat Avec la méthode de Fellenius avec nappe avec séisme.*

- **Interprétation des résultats :**

Le coefficient de sécurité (F_S) du talus avant confortement, calculé avec les deux méthodes (prise en compte de la nappe phréatique et l'effet de séisme) :

Tableau V. 2:*valeurs des facteurs de sécurité calculé avant confortement.*

	Méthode de calcul	**Description de la situation Prise en compte**	**Coefficient de sécurité F_S**
Avant Confortement	Bishop	Avec nappe	0,94
		Sans séisme	
		Avec nappe	0,73
		Avec séisme	
	Fellenius	Avec nappe	0,96
		Sans séisme	
		Avec nappe	0,76
		Avec séisme	

V.5. Présentation des résultats de calcul après le confortement

V.5.1. Définition du confortement choisi :

Afin de résoudre cette problématique, une solution a été envisagée sous la forme d'un système de renforcement. ce système comprendrait une série de pieux anti-glissements disposés en une rangée, avec un diamètre de 1,20m et un espacement de 1,30m, et encragede 18,6m. ce qui nécessite un rabattement au-delà du cercle de glissement par création des tranchés drainante dans le sens transversal du glissement et de l'évacuer vers les exutoires.

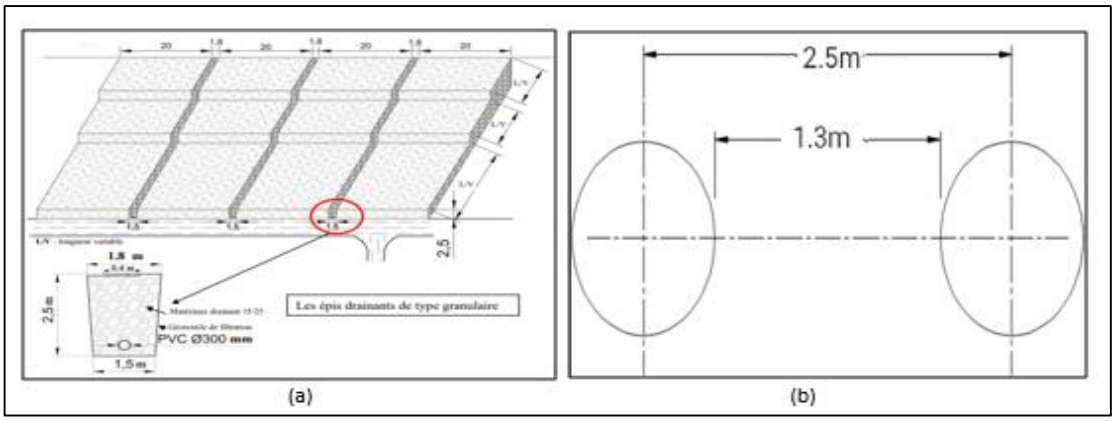


***Figure V. 8** : (a) Dispositif des tranches drainantes. (b) : Distance entre les pieux.*

V.5.2. Calcul avec la méthode de Bishop

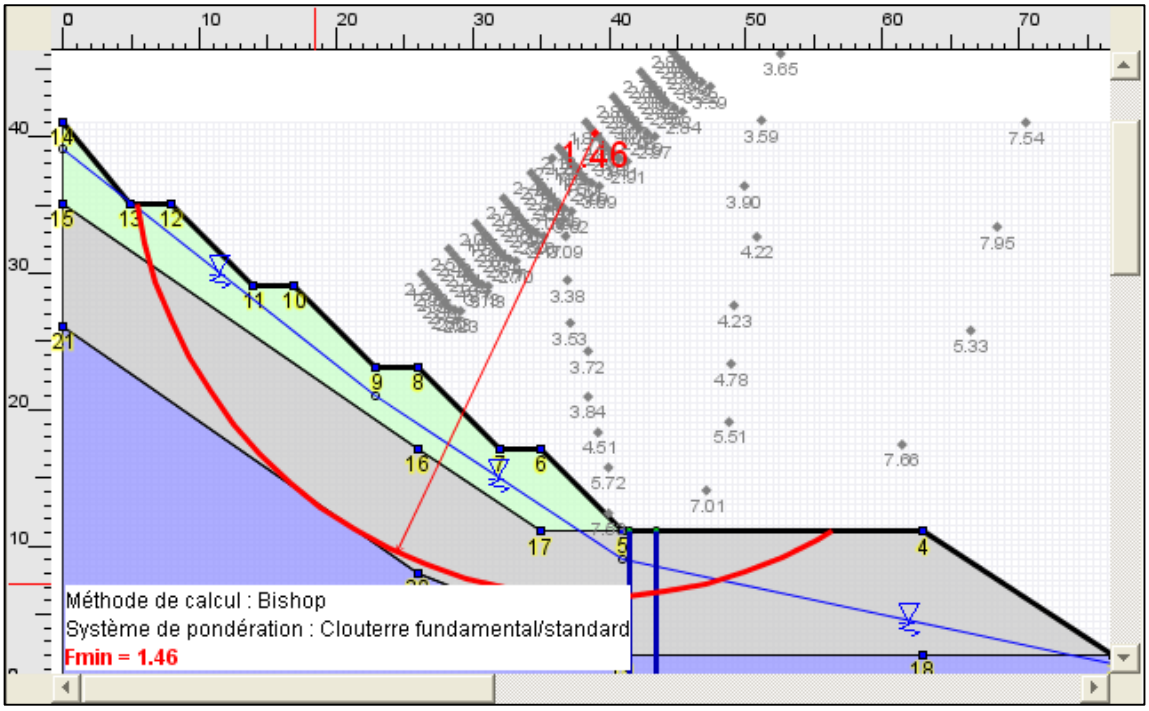


***Figure V. 9** : Le résultat avec la méthode de bishop avec nappe sans séisme.*

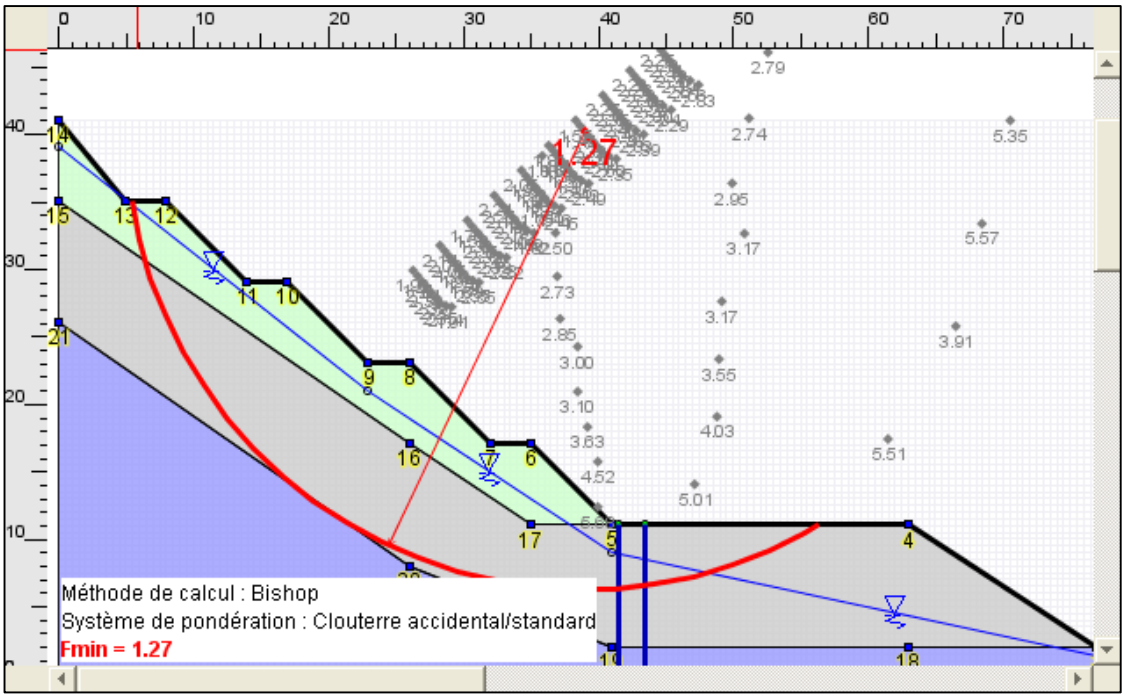


Figure V. 10 *: Le résultat avec la méthode de bishop avec nappe avec séisme.*

V.5.3. Calcul avec la méthode de Fellenius

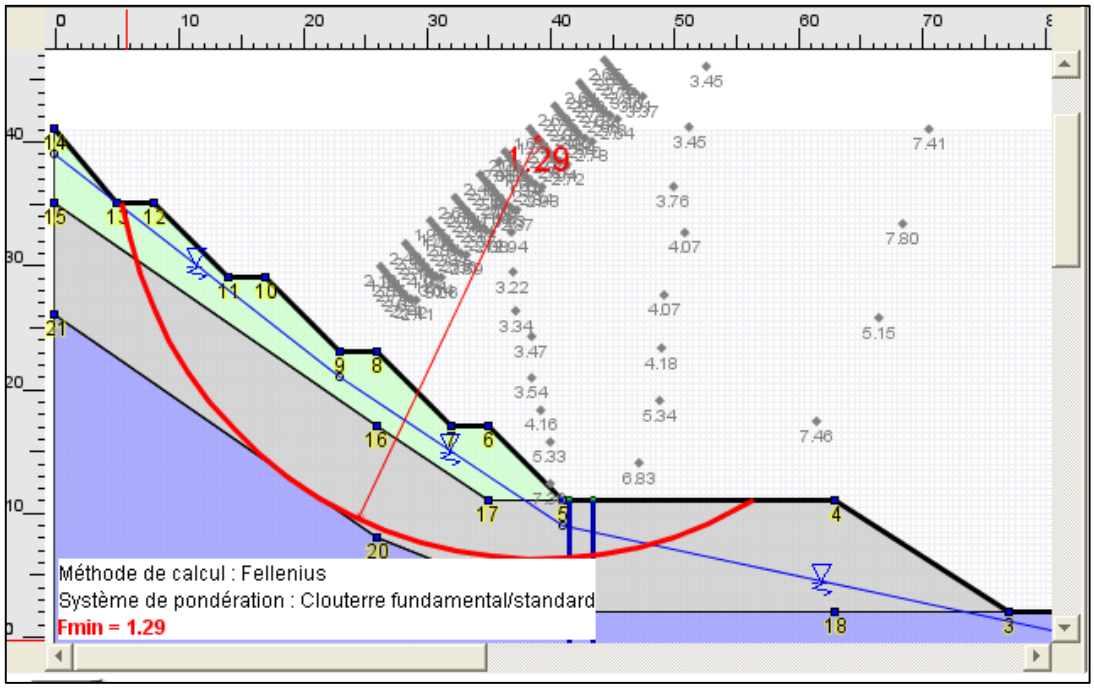


Figure V. 11 *: le résultat avec la méthode de Fellenius avec nappe sans séisme.*

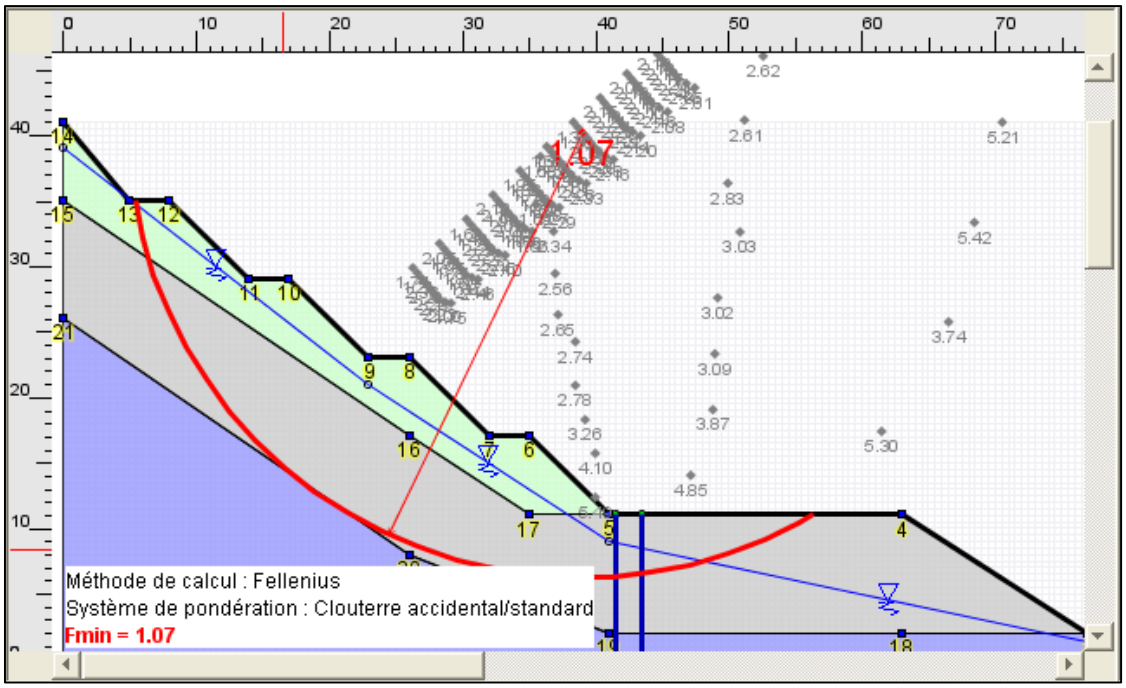


***Figure V. 12** : le résultat avec la méthode de Fellenius avec nappe avec séisme.*

- **Interprétation des résultats après confortement :**

***Tableau V. 3** : valeurs des facteurs de sécurité calculée après confortement.*

	méthodes	Description de la situation Prise en compte	Coefficient Sécurité F_S
Après confortement	Bishop	Avec nappe	1,46
		Sens séisme	
		Avec nappe	1,27
		Avec séisme	
	fellenuis	Avec nappe	1,29
		Sens séisme	
		Avec nappe	1,07
		Avec séisme	

V.5. Interprétation des résultats des calculs :

On remarque pour chaque phase, les valeurs de F_S sont approximativement les mêmes pour les deux méthodes (Bishop, Fellenuis). par contre, il y a une différence entre une phase et une autre, qui est essentiellement due à l'effet de séisme, sachant que les caractéristiques géotechniques sont les mêmes.

Cette variation au niveau de la valeur de coefficient de sécurité due au procédure de calcule de chaque méthode, mais tout ça confirme qu'on a toujours sur la marge de sécurité. Les résultats de calcul dans ce cas sont très satisfaisants et montrent une stabilité du talus, du fait que les coefficients de sécurités obtenus sont égaux ou supérieurs à la valeur 1,25.

V.6. Conclusion

Pour stabiliser la zone affectée par le ce glissement, nous avons proposé un confortement, ce choix de confortement se porte sur les pieux en béton armé, cette solution est efficace pour ce type de situation étant donné qu'ils peuvent être mise en place sans aggrave l'équilibre précaire du site.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude et l'analyse d'un mouvement de terrain mettent en évidence les risques associés aux glissements de terrain, ce qui représente un véritable problème pour les gestionnaires des ouvrages publics et privés. Les conséquences de ce phénomène peuvent varier, allant d'un simple mouvement de terrain nécessitant un soutènement basique à un véritable glissement spectaculaire provoquant d'importants désordres et des désagréments indésirables pour les habitants, tout en ayant un impact négatif sur l'économie nationale en raison des coûts élevés de traitement inévitables.

L'étude présentée dans ce mémoire nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie des différentes étapes d'une étude de glissement, y compris les calculs de stabilité, les techniques de renforcement et la maîtrise des logiciels nécessaires pour concevoir un renforcement efficace contre les glissements de terrain. Cette étude a été menée sur le tronçon allant du PK 6+700 au PK 7+060, situé dans la commune de Draa Essmar à l'ouest de la ville de Médéa.

Dans un premier temps, nous avons analysé les glissements afin de déterminer la surface de rupture potentielle. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Talren4, qui a permis de localiser la surface de glissement. En proposant la solution la plus adéquate, nous avons pu concevoir un système de renforcement efficace pour résoudre le problème, en proposant la construction d'un mur en béton armé. Cette technique de stabilisation des talus s'est révélée efficace pour résoudre les problèmes d'instabilité. En conclusion, cette étude approfondie du glissement a considérablement enrichi nos connaissances en matière de traitement des glissements de terrain et des talus en général. Il s'agit d'un phénomène complexe qui nécessite une expertise approfondie dans plusieurs domaines, tels que la géotechnique, la géologie, l'hydrogéologie et l'hydraulique.

Référence Bibliographique

Références

[1] «ministere de la trannsition écologique et de la cohésion des trootoire,» [En ligne]. Available:https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/mouvements-de-terrain/les-differents-types-de-mouvements-de-terrains. [Accès le 27 02 2023].

[2] DJERBAL. L, «Analyse des mécanisme de déformation et de la rupture progressive du versant instables d'AIN EL HAMMEM,» thése doctorat de l'Université de Mouloud , Tzi-Ouzou, (2013).

[3] BOULSNAM. F, BOUFATAH.K, «Analyse et traitement d'un glissement de terrainsur la RN n° 64/PK 47+200, El Oumaria (MEDEA),» mémoire de master Université Dr. Yahia Farès, Médéa, (2015 –2016).

[4] SAIDANI.R, BENSLIMANE.A, «Etude glissement de terrain avec possibilité de traitement (cas :Site 2332 logments AIN DJARDA MEDEA), » mémoire de master Université Dr. Yahia Farès, Médéa, (2022).

[5] KHELLIFA.K, GACEMI.T, «Etude et traitement de glissement de terrain sur le RN 24 au PK 113+500,» mémoire de master Université Dr. Yahia Farès, Médéa,(2022).

[6] BOUEDJA.F, «Tectonique actuelle et récente et risquesismique de la région de Constantine,» mémoire de magister.

[7] MAAMER.A, «Etude de glissement de la route massinissa a costantine,» mémoire de master . université LARBI BEN MHIDI, Costantine, (2018-2019).

[8] BOUGURRA.A, MAHIDDINE.M, HAMADI.Z ,«Analyse d'un glissement de terrain par la méthode des éléments finis,» mémoire de master . université Dr. YAHIA Farés , Médéa , (2015).

[9] CHIKHI.A, «contribution à l'analyse de stabilité des terrains marneux en pentes de la région d'Alger par PLAXIS : cas de Parc Donya-Dely Brahim,» mémoire de master . université djilali BOUNAAMA , de Khmise Meliana , (2015).

[10] MOUACI.A, LAIDI,F ,ZIREK.A , «Analyse d'un glissement de terrain sur le RN Au (PK82+700),» mémoire de master . université Dr.Yahia Farés , de Médéa, (2015-2016).

[11] KHOUDJA FAHEM.O, BOUHENNICHE.M, «Analyse et traitement d'un glissement de terrain dans la section autoroutiere (pk 20+930) ~ (pk 21+175),» mémoire de master . Universitaire YAHIA FARES , de Médéa , (2016).

[12] FARIK.A, BOUDJEMA.I, «Stabilité des remblais de grande hauteur renforcé par géosynthétiques Cas du remblai de AIN SFIHA WILAYA deSETIF,» École Nationale Polytechnique, de Setif , (2009).

[13] FAURE.R.M, «L'évolution des méthodes de calcule en stabilité des pentes partie I:méthodes de rupture,» p. 16, (1 07 2001).

[14] DURVILLE.J L,GILLE.S, «téchnique de l'ingénieur,» 10 08 2008. [En ligne]. Available: DURVILLE, J. L., & GILLE, S. (2008). Stabilité des pentes ,glissement en terrains meubles. Technique de l'ingénieur, traité de construction ... [Accès le 02 03 2023].

[15] OMAR.B ,ABDERRAHMANE,B «Etude géotéchnique de glissement de tarrein à Mascara,» mémoire de master. université de Djilali Boumaamre , Khemis Miliana, (2018-2019).

[16] B. F., «Les méthodes d'analyses de stabilité bul,» *labo.P et CH, Special*, pp. 56-62, (1976).

[17] SAMIR.B, «modélisation et interaction renforcement sol pour les talus instables,» juin 2008.[enligne].Available:https://www.researchgate.net/publication/331346442_MODELISATION_ET_INTERACTION_RENFORCEMENT_SOL_POUR_LES_TALUS_INSTABLES.

[18] YAHIOUI. Y, «Contribution à l'analyse dynamique des terrains en pentes sous séisme par l'ogiciel plaxis,» mémoire de magistére. université ABOU BEKER BELKAID , de Télémcen.

[19] Hani.Y , «Etude de stabilité et du confortement du glissement autoroutier PK410 Wilaya d'EL Taref Par logiciel GEO5,» ecole nationale superieure des mines et de la metallurgie amar laskri, ANNABA, (2020).

[20] SAAOU.L , «Etude de stabilité et de confortement d'un section de la RN24 à Seket,» mémpore de master . université MOULOUD MAMMERI , de Tizi-ouzo, (2016-2019).

[21] BOULFOUL.K, «Etude de stabilisation par pieux des glissement de terrain,» Thése doctorat. université batna 2-MUSTAPHA BEN BOULAID , BATNA , (2021).

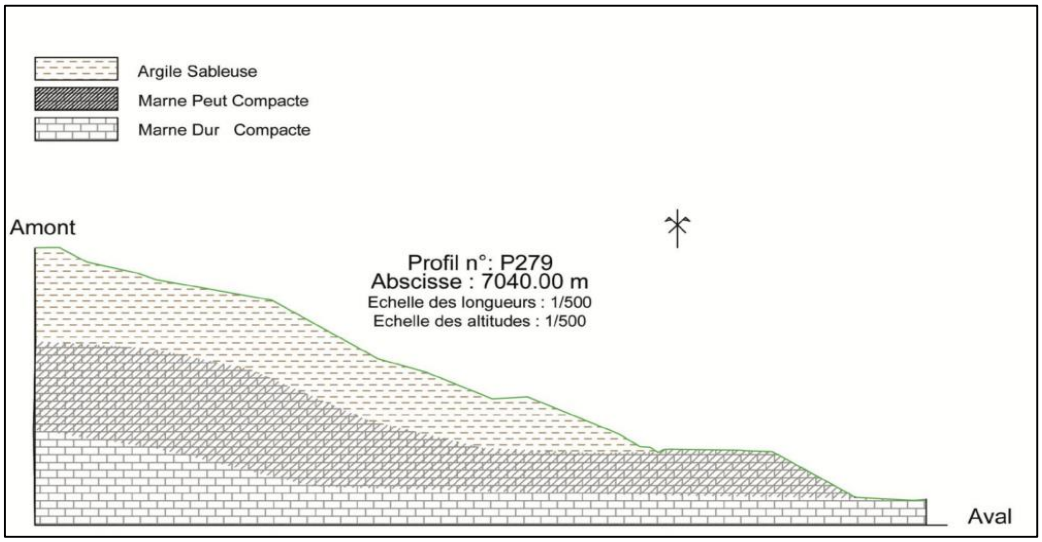
[22] Guerfi.H, « Stabilisation des talus renforcés par pieux,» Mémoire de magister, Université de ElHadj Lakhdar., Batna, (2012).

[23] Rapport géotechnique .

Annexes

Annexe " A "

Coupe géologique :



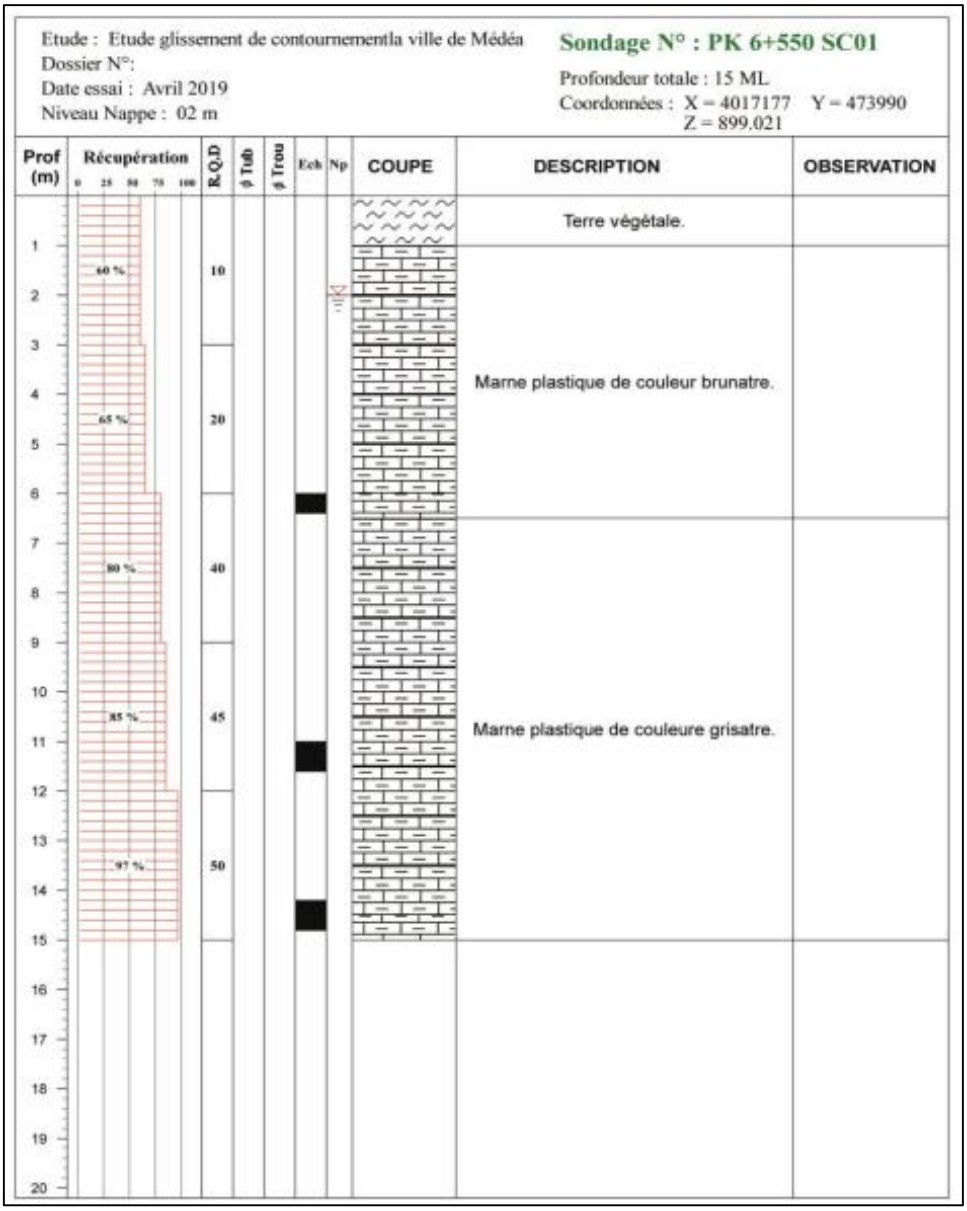
Photos des caisses de sondages :

- Sondage SC 01 :





Résultats des essais géotechniques



Projet: Etude d'execution du contournement Nord de la ville Medéa PK 6+ 650 ESSAI AU PRESSIOMETRE MENARD

N° de Dossier: 008 2022

Localisation: MEDEA

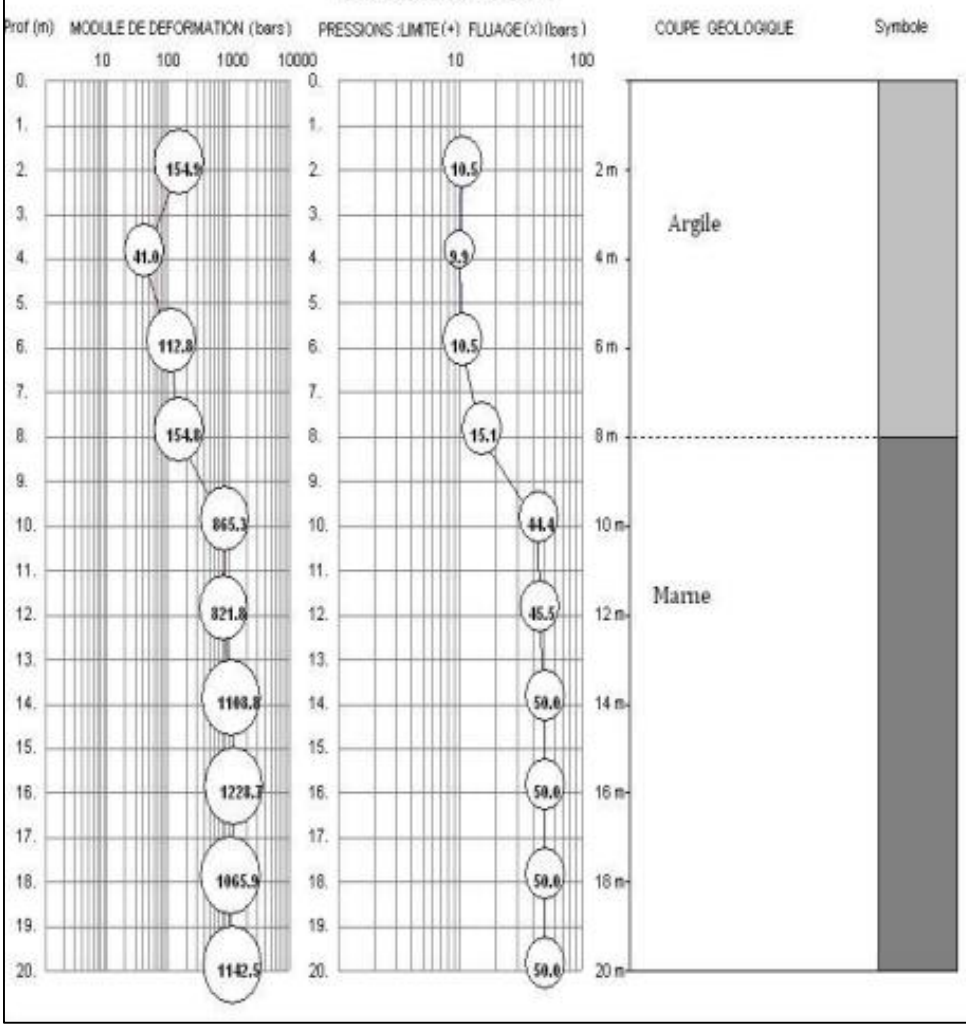
N° du Forage: SP04

X=

Y=

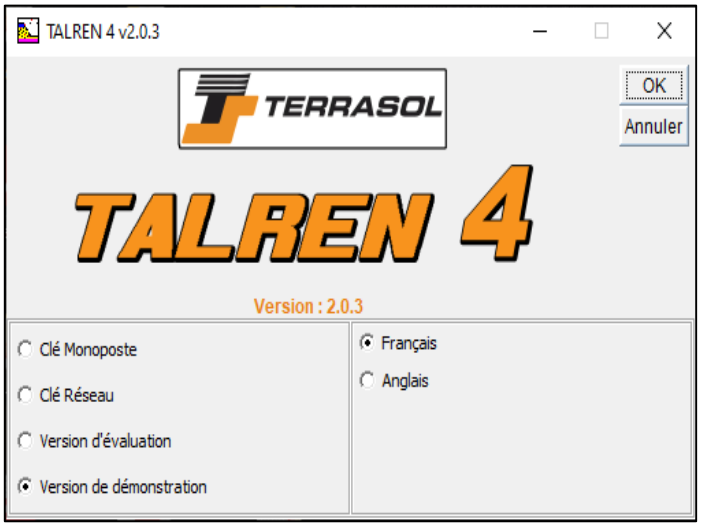
Z=

GRAPHIQUE SYNOPTIQUE



Annexe "B"

- **Fenêtre de Lancement de logiciel TALREN4**



Fenêtre de lancement du logiciel.

- **L'interface graphique interactive :**

L'interface de TALREN4 est une interface graphique interactive, développée en fonction des principes suivants :

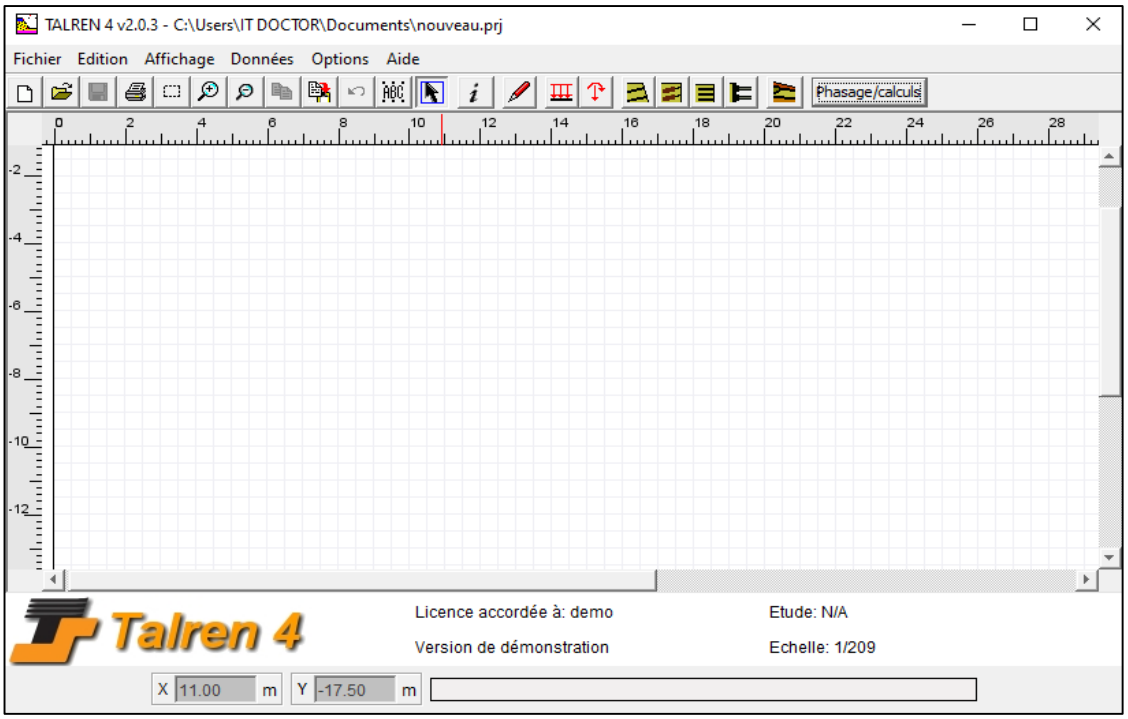
• La plupart des manipulations, en particulier le dessin de la coupe, peuvent être effectuées à l'aide de la souris. Il est également possible de visualiser et de modifier les propriétés des différents éléments (données et résultats) à l'aide du bouton droit de la souris.

• Le logiciel TALREN4 propose une visualisation graphique chaque fois que c'est possible : les courbes d'anisotropie, ou les contraintes le long de la surface de rupture sont 2 exemples d'affichage graphique proposés.

• Les données non nécessaires ne sont pas affichées : par exemple, si aucun clou n'est défini, la saisie de qs clous n'est pas nécessaire : cette donnée est donc "cachée" dans ce cas.

• Chaque donnée n'est saisie qu'une et une seule fois, pour garantir une grande fiabilité et limiter les manipulations nécessaires en cas de modification des données.

• De nombreux assistants (jeux de pondérations/sécurité partiels) et bases de données (sol, renforcements) sont disponibles.



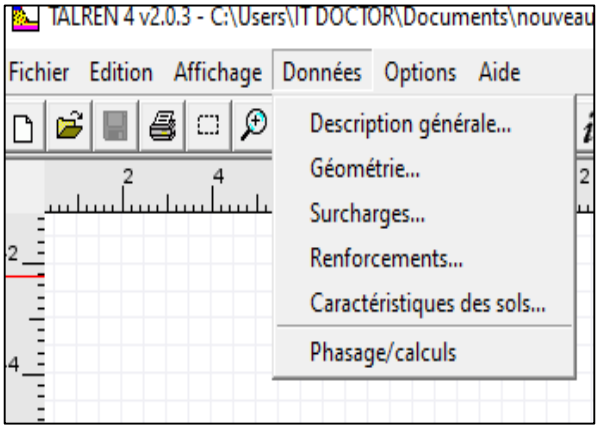
Interface de TALERAN4.

➢ **Les différentes options pour la manipulation de l'interface**

- **Le menu, les barres de boutons et le navigateur :**

Le menu, dont l'arborescence complète est illustrée sur la suivantes :

- Fichier
- Edition
- Affichage
- Données
- Phases et situations
- Calcul et résultats
- Options
- Aide



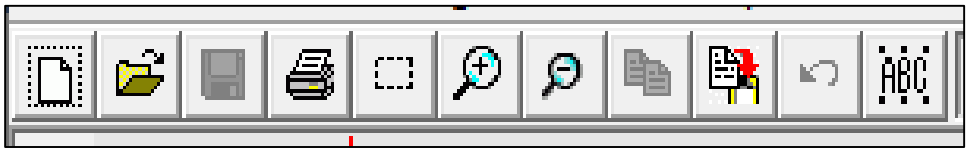
Exemple du menu Données.

- **La barre de boutons principale :**

Les boutons ci-dessus correspondent dans l'ordre aux fonctions suivantes :

- Nouveau fichier ;
- Ouvrir un fichier ;
- Enregistrer un fichier ;
- Imprimer ;
- Zoom sur une fenêtre définie par l'utilisateur ;
- Zoom avant ;
- Zoom arrière
- Copier dans le presse-papier l'élément sélectionné ;
- Capture d'écran ;
- Commentaires généraux.

Les boutons comportent chacun une légende, qui s'affiche lorsque la souris passe dessus



La barre de boutons principale.

- **Les barres de boutons contextuelles :**

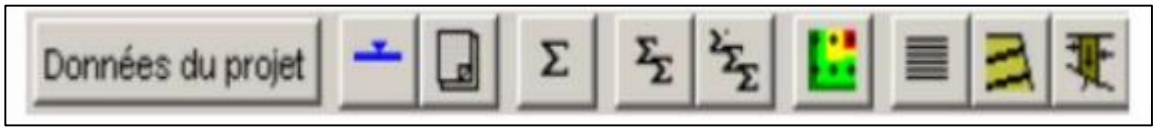
Les boutons ci-dessous correspondent dans l'ordre aux fonctions suivantes :

- Outil "Sélection".
- Description générale du projet.
- Dessin de lignes géométriques.
- Dessin de surcharges (surcharges réparties puis torseurs).
- Dessin de renforcements (clous, tirants, bandes puis butons).
- Définition des jeux de caractéristiques de sol (ouverture d'une boîte de dialogue).
- Basculement en mode "Phasage/Calculs".



La barre de boutons contextuelle "Données".

Les boutons ci-dessus correspondent dans l'ordre aux fonctions suivantes :



La barre de boutons contextuelle "Phasage/Calculs.

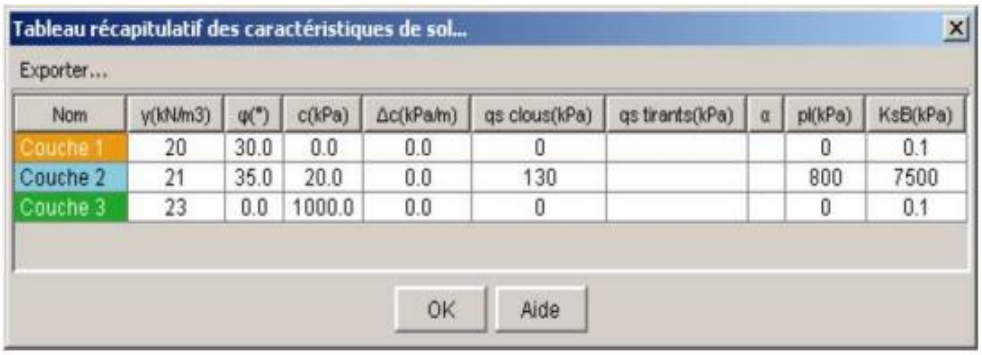
- Basculement en mode "Données".
- Définition des conditions hydrauliques (ouverture d'une boîte de dialogue).
- Propriétés de la situation sélectionnée (ouverture d'une boîte de dialogue).
- Calcul de la situation sélectionnée.
- Calcul de toutes les situations de la phase sélectionnée.
- Calcul de toutes les situations pour toutes les phases.
- Configuration de l'affichage graphique des résultats (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulement si des résultats sont disponibles pour la situation affichée).
- Résultats détaillés par surface (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulement sides résultats sont disponibles pour la situation affichée)
- Efforts dans les renforcements (ouverture d'u résultats sont disponibles pour la situation affichée).
- Résultats détaillés par tranches (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulementsi des résultats sont disponibles pour la situation affichée).

- **Tableau récapitulatif des caractéristiques de sol**

Cette option ouvre une fenêtre dans laquelle est affiché un tableau récapitulatif de tous les jeux de caractéristiques définis. Toutes les caractéristiques figurent dans le tableau, excepté les caractéristiques "complexes" du type anisotropie de cohésion et d'angle de frottement, pour lesquelles il est simplement indiqué qu'elles sont définies par plusieurs valeurs.

Le tableau peut être déplacé, et peut être conservé à l'écran pendant que l'utilisateur continue à travailler dans Talren 4.

L'utilisateur ne peut modifier aucune donnée dans le tableau. S'il souhaite le faire, il doit passer par "Données" et "Caractéristiques de sol" (menu ou bouton).



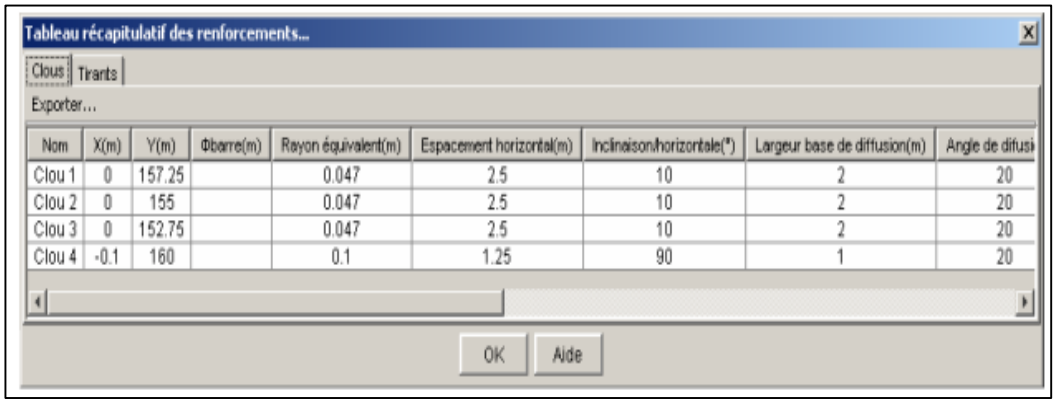
Exemple de tableau récapitulatif des couches de sol.

- **Tableau récapitulatif des renforcements :**

Cette option ouvre une fenêtre dans laquelle sont affichés 4 tableaux récapitulatifs de tous les renforcements définis, accessible par des onglets (un tableau par type de renforcement : clous, tirants, bandes et butons), Seuls les types de renforcements pour lesquels des éléments ont été définis dans le projet sont présentés.

Si aucun renforcement n'est défini dans le projet, l'option "Tableau récapitulatif des renforcements" est grisée dans le menu "Affichage".

Le tableau peut être déplacé, et peut être conservé à l'écran pendant que l'utilisateur continue à travailler dans Talren 4.



Exemple de tableau récapitulatif des renforcements.

- **La gestion du phasage :**

TALREN 4 permet d'étudier des projets, et non plus seulement des coupes, c'est-à-dire que la gestion du phasage d'exécution est intégrée au logiciel : à partir d'une coupe initiale (qui doit comporter tous les éléments qui seront utilisés dans le phasage : lignes géométriques, caractéristiques des sols, surcharges, renforcements), il est possible de définir dans le même fichier plusieurs phases d'exécution successives (chaque phase correspondant à une coupe du projet) :

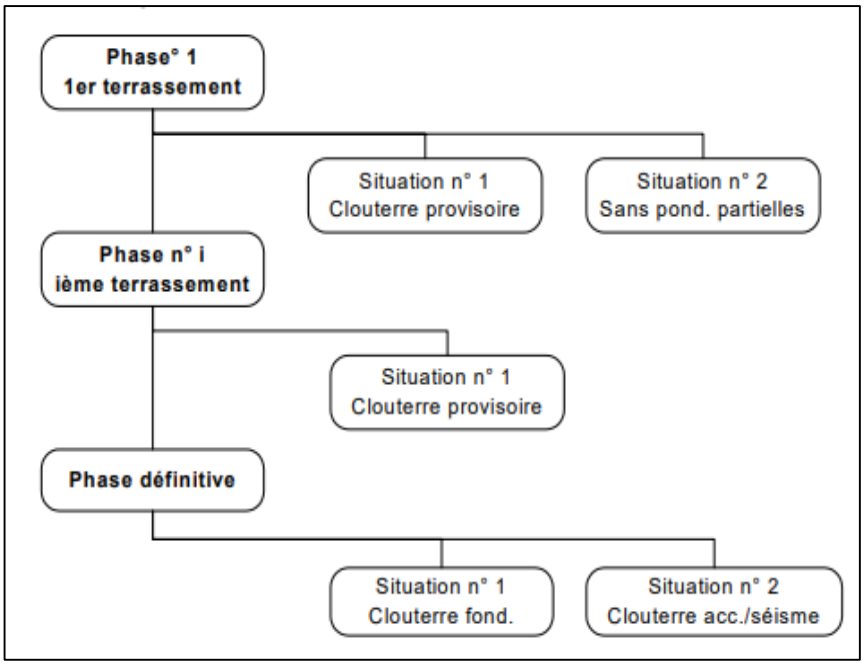
- ✓ activation/désactivation d'éléments de sols, surcharges, ou renforcement ;
- ✓ modification de certaines caractéristiques de sols ;
- ✓ modification des conditions hydrauliques.

Il n'est donc plus nécessaire de créer plusieurs fichiers pour étudier les phases successives d'un même projet. D'autre part, il est possible de définir plusieurs situations de calcul pour une même phase. Les situations peuvent se distinguer les unes des autres principalement par :

- ✓ une méthode de calcul différente ;
- ✓ un jeu de coefficients de sécurité/pondération partiels différent ;
- ✓ des conditions sismiques différentes ;
- ✓ une définition des surfaces de rupture différentes.

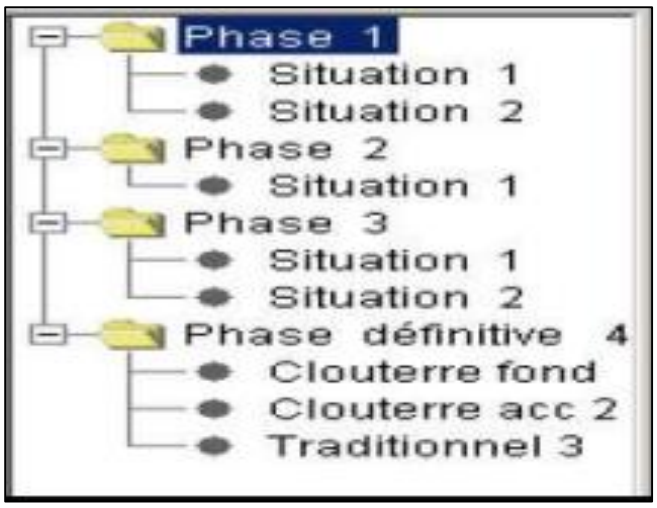
Il est ainsi possible, par exemple, pour une même phase de calcul (donc une même coupe) de vérifier la stabilité de plusieurs types de surfaces de rupture (plusieurs points de passage pour des cercles par exemple), ou de comparer la situation fondamentale et la situation avec séisme.

Le principe de hiérarchisation des phases de calcul et des situations de calcul est illustré par un exemple sur la figure



Gestion des phases et situations.

Chaque calcul porte sur une situation de calcul d'une phase d'exécution. les calculs pour chaque situation de chaque phase sont indépendants des calculs des autres situations et autres phases. par exemple, le résultat du calcul pour la situation m de la phase n ne dépend ni des résultats de la phase n-1 ni des résultats de la situation m-1 ni d'aucun autre résultat. il faudra donc lancer autant de calculs pour un fichier projet que de situations définies pour toutes les phases du fichier projet.

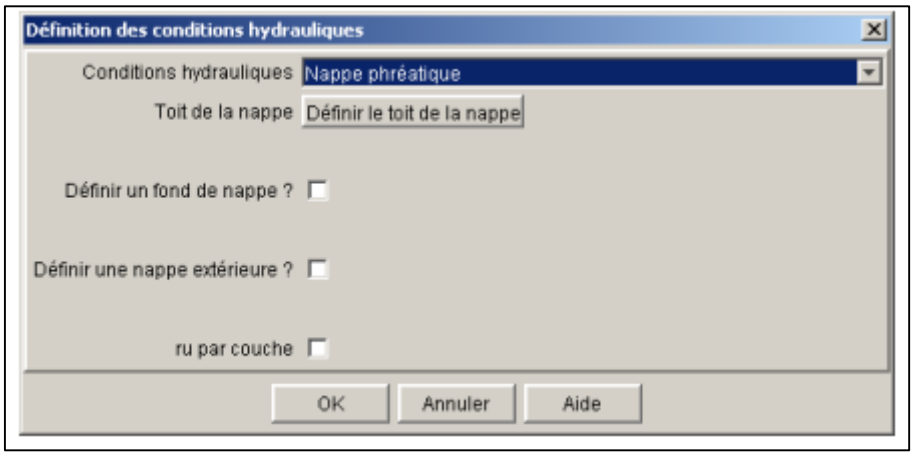


Navigateur des phases et situations.

- **Les conditions hydrauliques**

On accède à la définition des conditions hydrauliques par le menu "Phases et situations" puis l'option "Conditions hydrauliques pour la phase sélectionnée", soit par la même option dans le menu contextuel (clic droit sur le libellé d'une phase), soit encore par le bouton  de la barre de boutons contextuelle. Une boîte de dialogue s'ouvre (Figure V.11), et plusieurs types de définition sont possibles.

Il suffit de choisir l'option "Nappe phréatique" puis de cliquer sur le bouton "Définir le toit de la nappe". Une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre alors et permet de saisir les points définissant la surface de la nappe.



Définition d'une nappe phréatique.