

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بلقاسم – تلمسان –

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE
Département de GENIE CIVIL



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En: Travaux publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Par: BEKKOUCHE YUCEF

MOROUCHE AHMED

Sujet

ETUDE DE STABILITE D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN.

**Cas d'un glissement de terrain sise dans la rocade côtière entre MARSAT
BEN MHIDI-GHAZAOUET (1 ère tranche) au PK 1+000**

Soutenu en Juin 2024 devant le jury composé de

Mme BOURABAH Maghnia Asmahane
Mme SMAIL Nadia
Mme AYAD Fatima

M C B
M C A
M C B

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen

Présidente
Examinatrices
Encadrante

Année universitaire : 2023 /2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord remercier notre créateur ALLAH le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la patience et le courage afin d'accomplir ce travail.

Nous adressons tous nos sincères et chaleureux remerciements :

A nos parents qui nous ont toujours encouragés et soutenus durant toutes nos études.

Au Mme. AYAD Fatima, pour l'orientation, la disponibilité, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port.

Aux membres de jury, mesdames BOURABAH Maghnia Asmahane et ISMAIL Nadia pour avoir accepté de juger notre travail.

Un grand remerciement pour M.HADJAJI Amri, M.CHEKROUN Lokmane El-Hakim et M.BENHAMOU Miloud Pour leurs conseils et leurs motivations, ainsi que pour leurs précieuses aide durant ce projet de fin d'études

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin à tous les enseignants ayant contribué à notre formation

Dédicaces

Avec un énorme plaisir, que je dédie ce travail

À ma très chère respectueuse et magnifique mère qui m'a toujours soutenu.

À mon père Mohammed, décédé trop tôt. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde

Mes très chers frères et ma sœur

À toute ma famille

À mon binôme Morouche Ahmed

À tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Un remerciement très spécial pour Mr. Hadjadji Amri ingénieur au LTPO et Mr. Chekroun Lokmane El-Hakim Ingénieur OA Egis-route pour ces conseils et ces motivations.

BEKKOUCHE Youcef

Dédicaces

Je dédie ce travail

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

À mes très chers parents

Témoignage d'affection et de grande reconnaissance

Que Dieu les garde pour moi mon père et pour ma mère Que Dieu vous accorde sa miséricorde et vous récompense abondamment, et qu'il me réunisse avec vous dans les jardins du paradis.

Mes très chers frères et ma sœur, Que Dieu les garde pour moi, Merci du fond du cœur pour tous les efforts que vous m'avez donnés

À toute ma famille,

À tous mes amis qui m'ont supporté pendant le processus de réalisation de ce travail

À mon binôme BEKKOUCHE Youcef et à sa famille.

À tous les enseignants du Département de Génie Civil

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

À tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

MOROUCHE Ahmed

Résumé

Les glissements de terrain sont un phénomène très dangereux selon plusieurs normes et critères répandus dans le monde. Cette étude se concentre sur l'analyse des glissements de terrain et le but de ce travail est de mener une étude géotechnique de ce phénomène. Pour cela, nous avons commencé notre étude par des généralités sur les glissements de terrain, pour ensuite nous avons présenté les différentes méthodes d'analyse de la stabilité. Enfin, nous discutons sur les méthodes de confortement de ces pentes. La partie principale de ce travail consiste à analyser un talus instable situé dans la wilaya de Tlemcen à la région de Ghazaouet, sur la nouvelle rocade côtière entre le village de Dar Ben Tatta et la commune de Tianet. Ce glissement de terrain s'est produit entre les points kilométriques 001+00 et 001+500. Nous avons étudié cette talus en utilisant deux programmes différents, PLAXIS 2D V8.2 et TALREN V5. Les résultats obtenus du coefficient de sécurité, par ces deux méthodes éléments finis et équilibre limite permettent de mieux comprendre le comportement d'un talus. En fournissant des données sur les déplacements, ils permettent de faire les prévisions nécessaires pour réduire ce risque.

Mots clés

Glissement, confortement, talus, PLAXIS, TALREN, coefficient de sécurité.

الانهيارات الأرضية هي ظاهرة خطيرة جداً وفقاً لعدة معايير منتشرة حول العالم. تركز هذه الدراسة التي قمنا بها على تحليل الانهيارات الأرضية والهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة جيوتقنية لهذه الظاهرة. ولذلك، بدأنا دراستنا بالعموميات حول الانهيارات الأرضية، ثم عرضنا الطرق المختلفة لحساب الثبات، وأخيراً تطرقنا إلى طرق تقوية هذه المنحدرات. يتكون الجزء الرئيسي من هذا العمل من تحليل منحدر غير مستقر يقع في ولاية تلمسان بمنطقة الغزوات، على الطريق الدائري الساحلي الجديد بين قرية دار بن طاطة وبلدية تياننت. حدث هذا الانهيار الأرضي بين نقاط الكيلومتر 00+001 و500+001. قمنا بدراسة هذا السد باستخدام برنامجين مختلفين، TALREN V5 PLAXIS 2D V8.2. النتائج التي تم الحصول عليها من معامل الأمان، من خلال هاتين الطريقتين للعناصر المحدودة وتوازن الحد، تسمح لنا بفهم سلوك المنحدرات بشكل أفضل. ومن خلال توفير بيانات الحركات، فإنها تجعل من الممكن إجراء التنبؤات اللازمة لتقليل هذه المخاطر.

الكلمات الدالة

معامل الأمان، الانهيارات الأرضية، PLAXIS، TALREN، المنحدر.

Abstract

Landslides are a very dangerous phenomenon according to several standards and criteria widespread around the world. This study focuses on the analysis of landslides and the aim of this work is to conduct a geotechnical study of this phenomenon. To do this, we began our study with generalities on landslides, then we presented the different methods of stability analysis. Finally, we discuss the methods of reinforcing these slopes. The main part of this work consists of analyzing an unstable embankment located in the wilaya of Tlemcen in region of Ghazaouet , on the new coastal ring road between the village of Dar Ben Tatta and the commune of Tianet. This landslide occurred between kilometer points 001+00 and 001+500. We studied this embankment using two different programs, PLAXIS 2D V8.2 and TALREN V5. The results obtained from the safety coefficient, by these two finite element and limit equilibrium methods, allow us to better understand the behavior of an embankment. By providing travel data, they make it possible to make the necessary predictions to reduce this risk. Key words

Landslides, slope, PLAXIS, TALREN, safety coefficient.

TABLE DES MATIERES

Remerciement.....	II
Dédicaces.....	III
Dédicaces.....	IV
Résumé.....	V
الملخص.....	VI
Abstract.....	VII
TABLE DES MATIERES.....	VIII
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES TABLEAUX.....	XV
Introduction générale.....	2
Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain.....	4
1.1. Introduction.....	5
1.2. Définition de mouvements de terrain.....	5
1.3. Les types des mouvements de terrain	6
1.3.1. Les écroulements et les éboulements (Chutes de pierres).....	7
1.3.1.1. Les chutes de blocs	7
1.3.1.2. Les éboulements.....	8
1.3.1.3. Les écroulements.....	8
1.3.2. Le fluage et la solifluxion	9
1.3.2.1. Le fluage	9
1.3.2.2. la solifluxion	10
1.3.3. Les coulées boueuses	11
1.3.4. Les Glissements	12
1.3.4.1. Glissement plan	13
1.3.4.2. Glissements circulaire ou rotationnel	13
1.3.4.3. Glissements quelconque (aléatoire).....	14
1.4. Classification des glissements de terrain	14
1.5. Principales causes des mouvements de terrains	15
1.5.1. Les causes naturelles	15

1.5.2. Les causes anthropiques	15
Chapitre 02 : Méthodes de calcul des glissements de terrains	18
2.1. Introduction	19
2.2. Coefficient de sécurité	19
2.3. Méthodes de calcul	20
2.3.1. Les méthodes basées sur l'équilibre limite	20
2.3.1.1. Méthode des tranches	20
A. Méthode de Fellenius(1927).....	22
B. Méthode de BISHOP simplifier (1954).....	23
C. Méthode de JANBU (1956).....	23
D. Méthode de morgenstern et price (1965).....	24
E. Méthode de spencer (1967).....	25
F. Méthode de perturbations (1974).....	25
2.3.2. Méthodes des éléments finis	25
2.4. Conclusion.....	26
Chapitre 03 : Les méthodes de confortement des glissements de terrains.....	27
3.1. Introduction.....	28
3.2. Les méthodes de confortements	28
3.2.1. Approche douce	29
3.2.1.1. Terrassements	30
a. Reprofilage.....	30
b. Substitution totale	31
c. Allègement en tête	32
3.2.1.2. Drainages.....	32
a. Drainage de surface.....	33
b. Drainage subhorizontaux	34
c. Drains verticaux, galeries drainantes.....	35
3.2.1.3. La vegetation.....	35
3.2.1.4. Avantage et inconvenient.....	36
3.2.2. Approche dure.....	37
3.2.2.1. Le renforcement	38

a. Les tirants d'ancrages.....	38
b. Clouage.....	39
c. Les pneusol	40
d. Pieux et barrette	41
3.2.2.2. Les soutènements	43
a. Les ouvrages de soutènements rigides	44
b. Les ouvrages de soutènements souples	45
3.2.2.3. Avantage et inconvénient.....	46
3.3. Choix de la méthode de confortement	46
3.4. Conclusion.....	47
Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement.....	48
4.1. Introduction.....	49
4.2. Présentation de la liaison routière.....	49
4.3. Présentation du sujet d'étude.....	50
4.3.1. Géographique.....	50
4.3.2. Topographique.....	51
4.3.3. Contexte Géologique.....	52
4.3.4. Aperçu Climatologique et Hydrologique.....	55
4.3.5. Sismologie de la zone d'étude.....	55
4.4. Diagnostic de glissement	56
4.4.1. Historique et description du glissement.....	56
4.4.2. Facteurs déclencheurs du mouvement.....	59
4.4.2.1. Facteurs morphologiques.....	59
a. La topographie du terrain	59
b. La présence d'eau.....	60
c. La géologie du site.....	60
4.4.2.2. Facteurs anthropiques.....	61
a. L'augmentation des charges en tête de talus comme la mise en place des dépôts....	61
b. Suppression de la butée stabilisatrice.....	62
4.5. Programme d'investigation.....	63
4.6. Résultats et interprétations.....	63

4.6.1. Description géologique des sondages carottés et préssiométrique.....	63
4.6.2. Essais pressiometriques.....	67
4.7. Essais Géotechniques de laboratoire.....	68
4.7.1. Essais physiques.....	68
4.7.2. Essai mécanique.....	68
4.7.3. Essai chimiques.....	69
Chapitre 05 : Calcul de la stabilité par PLAXIS D2 V8.2 et TALREN V5.....	70
5.1. Introduction.....	71
5.2. Présentation des deux logiciels utilisés.....	71
5.2.1. Le logiciel PLAXIS version 8.2.....	71
5.2.2. Le logiciel TALREN version 5.....	74
5.3. Caractéristiques du modèle d'étude.....	77
5.4. Analyse à l'aide de PLAXIS.....	79
5.4.1. Cas du talus initial.....	79
5.4.2. Cas du talus après le renforcement.....	86
5.5. Analyse à l'aide de TALREN.....	96
5.6. Interprétations des résultats.....	100
5.7. Conclusion.....	101
Conclusion générale.....	102
Références bibliographiques.....	104
Annexes.....	107

LISTE DES FIGURES

Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain

Figure 1.1: Les différents types du mouvement de terrain (Gilles,S 1998).....	6
Figure 1.2: Structure d'éboulement.....	7
Figure 1.3: Chute de pierres et de blocs	8
Figure 1.4: Aspect de l'écroulement.....	9
Figure 1.5: Phénomène de fluage	10
Figure 1.6: Phénomène de la solifluxion.....	11
Figure 1.7: une coulée de boue.....	12
Figure 1.8: Schéma explicatif du phénomène:	13
Figure 1.9: Glissement plan	13
Figure 1.10: Glissement circulaire	14
Figure 1.11: Glissement quelconque.....	14
Figure 1.12: Surcharge de remblai au sommet de talus	16
Figure 1.13: Les déblais et les excavations à la base du talus	16
Figure 1.14: Concentration d'eau vers la pente	17
Figure 1.15: Glissement de terrain du a la déforestation en Indonésie, décembre 2014.....	17

Chapitre 02 : Méthodes de calcul des glissements de terrains

Figure 2.1: Description de découpage en tranches avec la surface de rupture	21
Figure 2.2: Démonstration des forces agissantes sur une tranche.....	21
Figure 2.3: Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius	22
Figure 2.4: Equilibre d'une tranche de sol dans la méthode de FELLENIUS	22
Figure 2.5: Exemple pour élément finis + Maillage	26

Chapitre 03 : Les méthodes de confortement des glissements de terrains

Figure 3.1: Organigramme des méthodes de confortements (Bedr, 2008)	29
Figure 3.2: Organigramme de l'approche douce.....	30
Figure 3.3: Schéma d'un reprofilage (Durville,J. Gilles,S. 1996)	31
Figure 3.4: Schéma d'un Substitution Partielle(Durville,J. Gilles,S. 1996).....	32
Figure 3.5: Schéma d'un Allègement en tête	32
Figure 3.6: Schéma d'un système d'Masques drainants	34
Figure 3.7: Méthode de confortement, Drainage subhorizontaux.....	34
Figure 3.8 : Schéma représenter le principe de Drains verticaux	35
Figure 3.9: Une méthode de confortement "végétation"	36
Figure 3.10: Organigramme d'Approche dure	38
Figure 3.11: Exemple d'un tirant dont l'armature est scellée directement dans le terrain.....	39
Figure 3.12: Méthode de clouage	40
Figure 3.13: Merlon de Moutiers, mur pare bloc – 8000 pneus découpés sur un flan	41

Figure 3.14: Différentes étapes de la réalisation d'un Pieu battu en béton préfabriqué	42
Figure 3.15: Différentes étapes de la réalisation d'un pieu foré	43
Figure 3.16: Mur de Soutènement.....	43
Figure 3.17: Exemple des ouvrages de soutènement	44
Figure 3.18: Mur gabion.....	45

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

Figure 4.1: 1 ^{ère} tranche entre RN98 et RN99 (Google earth)	49
Figure 4.2: Photos de localisation de site	50
Figure 4.3: Localisation du site de glissement sur la carte topographique Tlemcen au 1 /25 000ème	51
Figure 4.4: Localisation du point de glissement sur image satellitaire.....	51
Figure 4.5: Profil en dénivelé présente la topographie du versant de la zone de glissement	52
Figure 4.6: Extrait de la Carte géologique de Nord Oran au 1/500000	53
Figure 4.7: Carte de zonage sismique du territoire national –RPA99	56
Figure 4.8: trajectoire de la fissuration en 03/2021 localisé sur Google Earth	57
Figure 4.9: début de fissuration au niveau de tête et le long du pied de talus amont	57
Figure 4.10: périmètre de la fissuration en 02/2022 localisé sur Google Earth	58
Figure 4.11: Profil en dénivelé présente la topographie du versant de la zone de glissement.....	59
Figure 4.12: Talus non chargé (Google Earth)	61
Figure 4.13: Talus chargé en 2017 (Google Earth).....	62
Figure 4.14: Butée stabilisatrice en place 2017	62

Chapitre 05 : Calcul de la stabilité par PLAXIS D2 V8.2 et TALREN V5

Figure 5.1 : Fenêtre d'entrée des données de PLAXIS	72
Figure 5.2: Organigramme du code PLAXIS	73
Figure 5.3: fenêtre des paramètres de Mohr-Coulomb	74
Figure 5.4: Fenêtre d'entrée des données de TALREN	75
Figure 5.5: Géométrie du modèle.....	77
Figure 5.6: Géométrie du talus avec les conditions aux limites.....	79
Figure 5.7: Maillage du modèle	80
Figure 5.8: Génération des contraintes totales (Direction principale)	81
Figure 5.9: Génération des contraintes totales (Contraintes déviatoriques)	81
Figure 5.10: les étapes de calcul.....	82
Figure 5.11: courbe de facteur de sécurité ($F_s = 0,59$).....	83
Figure 5.12: Déformation du maillage	84
Figure 5.13: Déplacement totaux à travers le talus	85
Figure 5.14: Contraintes totales (2881,00 kN/m ²).....	86
Figure 5.15: Modèle géométrique avec l'ouvrage de confortement (mur de soutènement)	87
Figure 5.16: Maillage du modèle	88
Figure 5.17: Déplacement total	89

Figure 5.18: Contraintes totales (2677,00 kN/m ²)	90
Figure 5.19: courbe de facteur de sécurité $F_s=1,41$	91
Figure 5.20: Modèle géométrique avec l'ouvrage de confortement (mur de soutènement sur pieux)	92
Figure 5.21: Maillage du modèle	93
Figure 5.22: Déplacement totale	94
Figure 5.23: Contraintes totales (2672,00 kN/m ²)	95
Figure 5.24: courbe de facteur de sécurité $F_s=1,70$	95
Figure 5.25: courbe comparative de l'évolution des coefficients de sécurité des 3 cas	96
Figure 5.26: Description générale du projet	97
Figure 5.27: résultat de coefficient de sécurité $F_s=0.42$	98
Figure 5.28: résultat de coefficient de sécurité $F_s=1.19$	98
Figure 5.29: résultat de coefficient de sécurité $F_s=1.62$	99
Figure 5.30: courbe de variation de coefficient de sécurité par les deux logiciels.....	100

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain

Tableau 1.1: La classification de glissement de terrain selon (Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers; 2009).....	15
--	----

Tableau 1.2: La classification de glissement de terrain selon (Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers; 2009).....	15
--	----

Chapitre 02 : Méthodes de calcul des glissements de terrains

Tableau 2.1: Equilibre des talus en fonction des valeurs théoriques du coefficient de sécurité.....	19
---	----

Tableau 2.2: Equilibre des talus en fonction des valeurs expérimentales du coefficient de sécurité.....	19
---	----

Tableau 2.3: Différentes définitions d'un coefficient de sécurité.....	20
--	----

Tableau 2.4: Variations de ru en fonction des conditions hydrauliques régnant au sein du massif.....	Error! Bookmark not defined.
--	------------------------------

Chapitre 03 : Les méthodes de confortement des glissements de terrains

Tableau 3.1: Cite quelque avantage et inconvénient de l'approche douce. (NORDINE, 2010).....	37
--	----

Tableau 3.2: Cite quelque avantage et inconvénient de l'approche douce.....	46
---	----

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

Tableau 4.1: Coefficients d'accélération de zone.....	56
---	----

Tableau 4.2: Récapitulatif des essais de laboratoire (Sondage SC1).....	64
---	----

Tableau 4.3: Récapitulatif des essais de laboratoire (Sondage SC2).....	65
---	----

Tableau 4.4: Récapitulatif des essais de laboratoire (Sondage SC3).....	66
---	----

Tableau 4.5: Récapitulation des résultats des essais pressiométriques.....	67
--	----

Tableau 4.6: Récapitulation des résultats des essais de cisaillement.....	69
---	----

Chapitre 05 : Calcul de la stabilité par PLAXIS D2 V8.2 et TALREN V5

Tableau 5.1: Caractéristiques géotechniques du modèle.....	78
--	----

Tableau 5.2: Caractéristiques géotechniques du Remblai.....	78
---	----

Tableau 5.3: Synthèse des résultats d'analyse de la stabilité du talus.....	100
---	-----

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, la croissance démographique a entraîné une demande croissante d'aménagement des terres pour la construction de logements, de routes, d'ouvrages d'art, et autres infrastructures. Parallèlement, afin de préserver les terres agricoles et les zones naturelles, la disponibilité des terrains à urbaniser s'est réduite. Cette pression combinée a conduit, à implanter des projets dans des zones exposées à des phénomènes naturels tels que les glissements de terrain, classés parmi les catastrophes les plus impressionnantes et parfois les plus meurtrières.

Les glissements de terrain sont parmi les risques naturels les plus répandus et ils touchent toutes les régions du monde. Ils provoquent des déformations qui peuvent toucher tous les sols dans des conditions différentes et se développent dans la plupart des massifs de sols meubles. Causant chaque année d'énormes dégâts tant en vie humaines et il provoque des dégâts matériels très importants, tel que la destruction totale ou partielle des ouvrages (bâtiments d'habitation, ponts, barrages...etc.), l'obstruction des voie (routes, chemin de fer ...etc.), la cessation de la communication routière et ferroviaire entraînant une paralysie des échanges économiques.

L'instabilité des pentes a suscité l'intérêt des géotechniciens, qu'ils soient praticiens ou chercheurs. Des essais et des études ont été menés, et bien que des conclusions aient été tirées, il est difficile de généraliser en ce qui concerne la géologie, la géomorphologie et le comportement des pentes. Chaque terrain possède ses propres caractéristiques et réactions. De nombreuses méthodes de calcul de stabilité ont été proposées, chacune reposant sur des hypothèses différentes et offrant des degrés de facilité d'utilisation variés. Cependant, toutes convergent vers la détermination d'un coefficient de sécurité global pour la pente. En vue d'améliorer la stabilité des pentes, diverses techniques de renforcement ont été développées, se distinguant par leurs procédés de mise en œuvre, leurs coûts et leur durabilité.

Dans ce projet de fin d'études, nous avons utilisé les deux codes de calcul : TALREN qui est basé sur la méthode des équilibres limite ainsi que PLAXIS qui est basé sur la méthode des éléments finis. Plusieurs simulations ont été effectuées pour la modélisation du talus rencontré instable.

Le présent travail s'intéresse au projet de la rocade côtière qui est entre le village de dar ben tatta et commune de tianet a la région de Ghazaouet wilaya de Tlemcen, qui a enregistré un cas d'instabilité d'une talus au début des travaux de réalisation de routes, On s'est intéressé plus précisément à résoudre les problèmes des sections de déblai du tronçon situé entre PK 1+000--1+500 , où une étude géologique et géotechnique a été

effectuée, ce qui nous a permis de faire une modélisation numérique et de visualiser les différents cas ainsi que leurs résultats.

Ce modeste travail a été effectué en 5 chapitres, commençant par une étude bibliographique sur les glissements de terrain, suivit par les différents méthodes de calcul de stabilité, et puis les méthodes de confortement des glissements de terrain. Et on a fait une présentation du site qui a permis la définition des différentes couches ainsi que leurs paramètres. Et dans le dernier chapitre on a fait une étude numérique à l'aide des deux logiciels PLAXIS 2D V8.2 et TALREN V5 en modélisant le tronçon en question après avoir une présentation des deux logiciels.

Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain

1.1. Introduction :

Le mouvement des terres est un phénomène naturel très destructeur. Les victimes directes sont principalement affectées par l'effondrement des bâtiments, les pertes matérielles dépendant de l'ampleur et de la durée des mouvements de terrain et des méthodes de construction. Cela peut impliquer une détérioration structurelle (fissuration) ou des dommages (effondrement de bâtiments), une dégradation des infrastructures (ponts, routes, voies ferrées, etc.), une rupture de canalisations d'eau, de gaz et autres.

Les glissements de terrain constituent l'un des mouvements de masse les plus spectaculaires et les plus fréquents, et leur apparition provoque une déformation de la croûte terrestre tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Il se développe dans de grandes quantités de sols meubles ou de roches argileuses tendres et se rencontre dans des situations très diverses, affectant des ouvrages artificiels (déblais et remblais) ou, tout simplement, des pentes naturelles.

1.2. Définition de mouvement de terrain :

Les mouvements de terrain c'est une manifestation d'instabilité de la partie superficielle de la croûte terrestre sous l'effet de la pesanteur et des agents de l'érosion, ils représentent des signes perceptibles de l'évolution géologique. Les mouvements de terrain peuvent entraîner des conséquences dévastatrices, affectant non seulement les infrastructures, mais aussi la sécurité et la vie des populations. En effet, la fragilité des constructions face à ces phénomènes met en danger la vie des occupants et entraîne souvent des pertes matérielles considérables. Même de légers déplacements de sol peuvent suffire à compromettre la stabilité des structures, provoquant des fissures graves et menaçant la sécurité des habitants. Dans de nombreux cas, les autorités sont contraintes de prendre des mesures drastiques telles que la délocalisation et la démolition pour assurer la sécurité publique. Ces événements tragiques ont des répercussions économiques significatives, avec des coûts de reconstruction élevés et des pertes irréparables pour les communautés touchées. En outre, la fréquence et l'ampleur de ces mouvements de terrain mettent en lumière l'urgence de développer des stratégies de prévention et de gestion des risques pour minimiser les pertes humaines et matérielles. [01]

1.3. Les types des mouvements de terrain :

Il convient de souligner que la classification des mouvements de terrain n'est pas une finalité en soi, mais plutôt un outil permettant de regrouper et de décrire les principaux types de phénomènes observés. Elle repose sur divers critères choisis en fonction des spécialités des auteurs, tels que des critères géologiques ou mécaniques. L'objectif principal est de faciliter la compréhension et l'étude de ces mouvements en identifiant leurs caractéristiques essentielles. [01]

Parmi les classifications disponibles, celle approuvée par le Comité International de Géologie de l'Ingénieur distingue quatre catégories principales (figure 1.1), offrant ainsi un cadre commun pour la discussion et l'analyse des phénomènes géotechniques:

- Les éboulements et les écroulements (Chutes de pierres).
- Les glissements.
- Le fluage et la solifluxion.
- Les coulées boueuses.

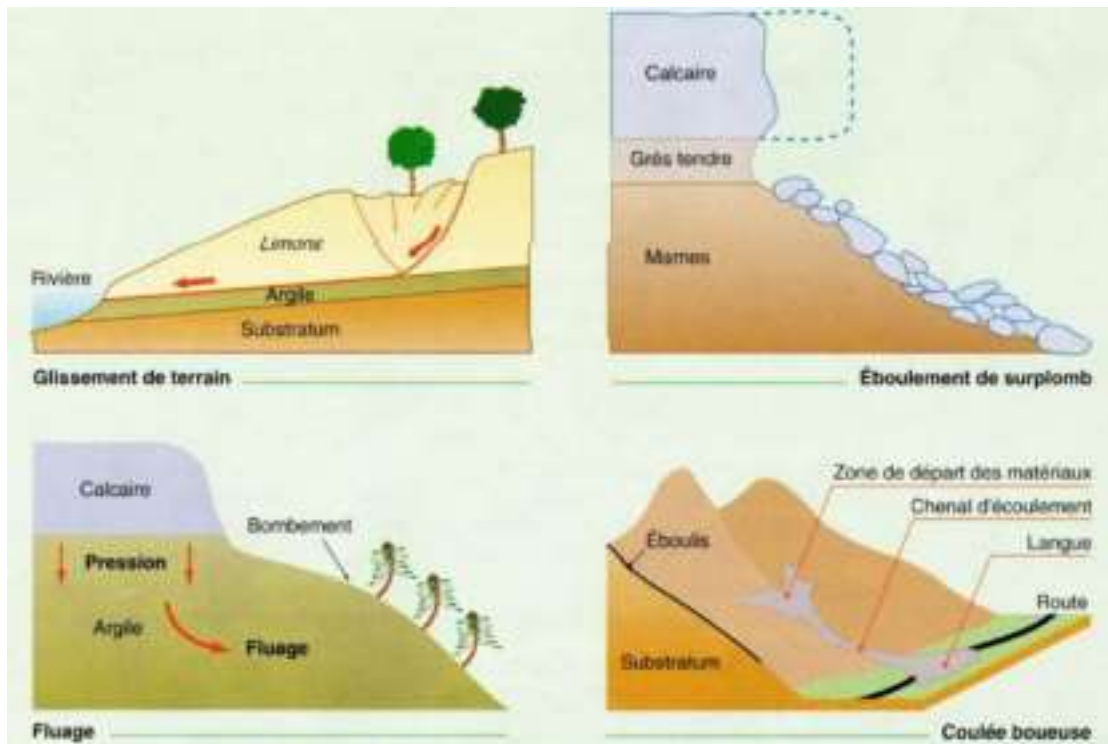


Figure 1.1: Les différents types du mouvement de terrain (Gilles,S 1998).

1.3.1. Les écroulements et les éboulements (Chutes de pierres) :

Les éboulements, dans leur acception large impliquant des phénomènes de chute, se réfèrent à des déplacements rapides de masses. Ces mouvements entraînent des matériaux détachés du massif rocheux le long de surfaces de discontinuité telles que le pendage, la schistosité, les fissures ou les fractures. [02]

On peut diviser ces phénomènes en trois groupes distincts :

- Chutes de pierre et de blocs,
- Eboulements (au sens strict)
- Ecroulements.

En général, on peut les subdiviser en trois domaines: la zone d'arrachement, la zone de transit et la zone de dépôt (voir figure 1.2).

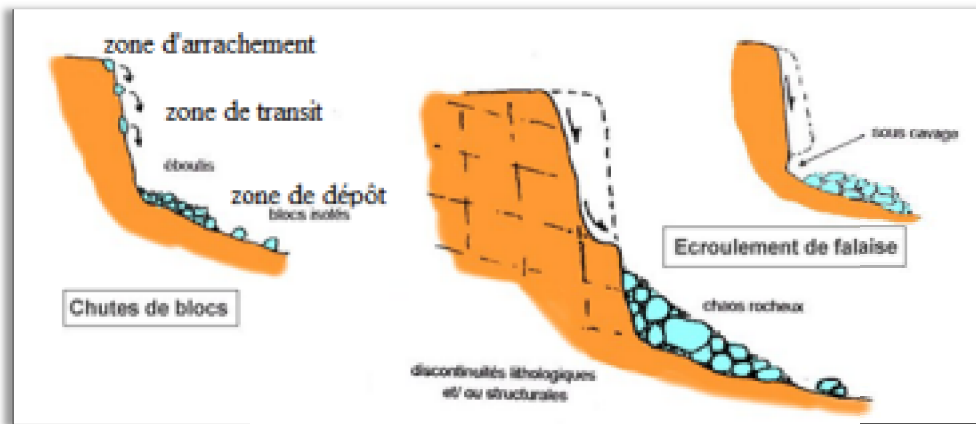


Figure 1.2: Structure d'éboulement [02]

1.3.1.1. Les chutes de blocs :

Les chutes de pierres et de blocs se distinguent par la chute occasionnelle de blocs individuels (figure 1.3), de tailles variables (les pierres ayant un diamètre inférieur à 50 cm et les blocs un diamètre supérieur à 50 cm). Ce phénomène, qu'il soit récurrent ou soumis à des variations saisonnières marquées, témoigne de la désintégration progressive d'une falaise rocheuse. Cette désintégration est influencée par les caractéristiques géologiques, l'exposition et l'altération de la falaise.

Les vitesses de chute vont généralement de 5 à 30 m/s, dans les pentes dont l'inclinaison est inférieure à 30° environ, les pierres et les blocs en mouvement tendent en général à s'arrêter. La présence de la forêt est cruciale car elle contribue significativement à réduire l'énergie cinétique des blocs grâce aux chocs qu'ils subissent en entrant en contact avec les

arbres. Évaluer le volume des matériaux rocheux présentant un risque de chute potentielle n'est envisageable qu'après des études approfondies de la roche. [02]



Figure 1.3: Chute de pierres et de blocs [02]

1.3.1.2. Les Eboulements :

Lors d'un éboulement, une quantité importante de roche se fragmente à un rythme variable, se détache en blocs du massif rocheux et s'éboule. Le volume de matériaux concernés est en général compris entre 100 et 100000 m³ par événement. Dans certaines situations exceptionnelles, des volumes nettement plus importants peuvent également s'effondrer. [03]

1.3.1.3. Les Ecoulements :

Cela implique la chute soudaine de masses rocheuses importantes, un événement spectaculaire et dangereux (figure 1.4). Le traitement de ce phénomène relève du domaine de la mécanique des roches.

Le processus initial peut être expliqué par la formation 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 composantes de la masse écroulée et par leur fragmentation intense. [03]



a. Le mécanisme de l'éroulement

b. Eroulement (RN11,Damous,Algerie)

Figure 1.4: Aspect de l'éroulement [03]

1.3.2. Le Fluage et la Solifluxion :

1.3.2.1. Le Fluage :

Dans le phénomène de fluage (Figure 1.5), les déplacements se produisent de manière progressive et lente, à des vitesses généralement modestes. Contrairement aux glissements, il est difficile d'identifier une surface de rupture distincte. Le matériau est soumis à des contraintes proches de son point de rupture, et le mouvement peut évoluer vers la stabilisation ou la rupture. [04]

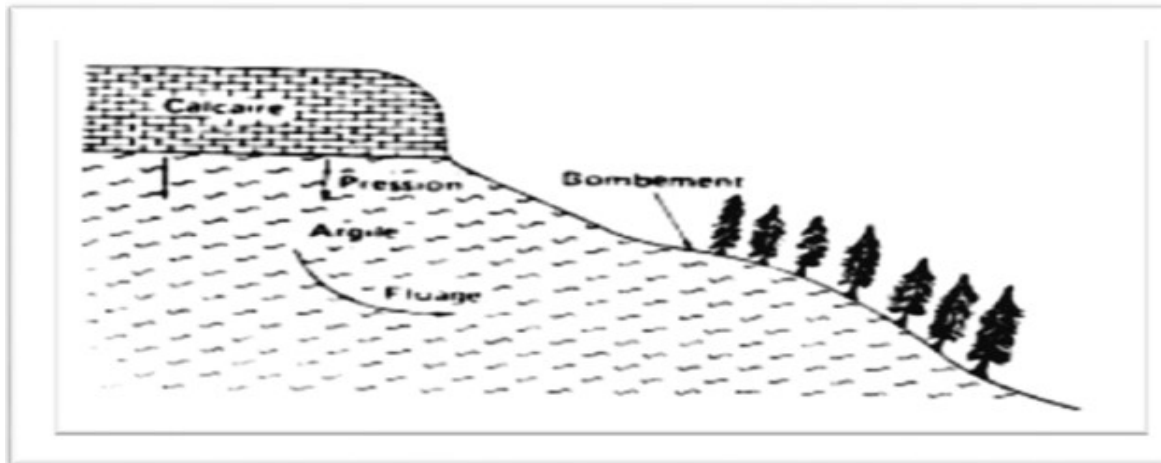
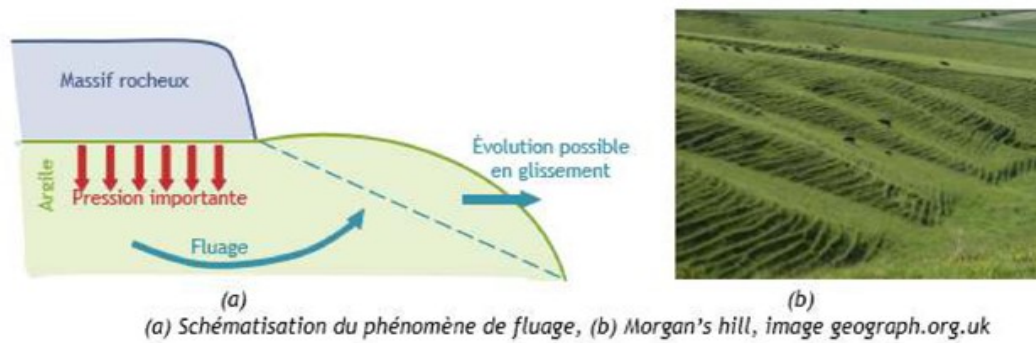


Figure 1.5: Phénomène de fluage [04]

1.3.2.2. La Solifluxion :

La solifluxion désigne le déplacement superficiel des sols sur des pentes extrêmement faibles (Figure 1.6). Cela se produit lorsque la saturation en eau dépasse la limite de plasticité du matériau, déclenchant ainsi un écoulement superficiel du sol le long d'une surface de décollement saturée. [05]

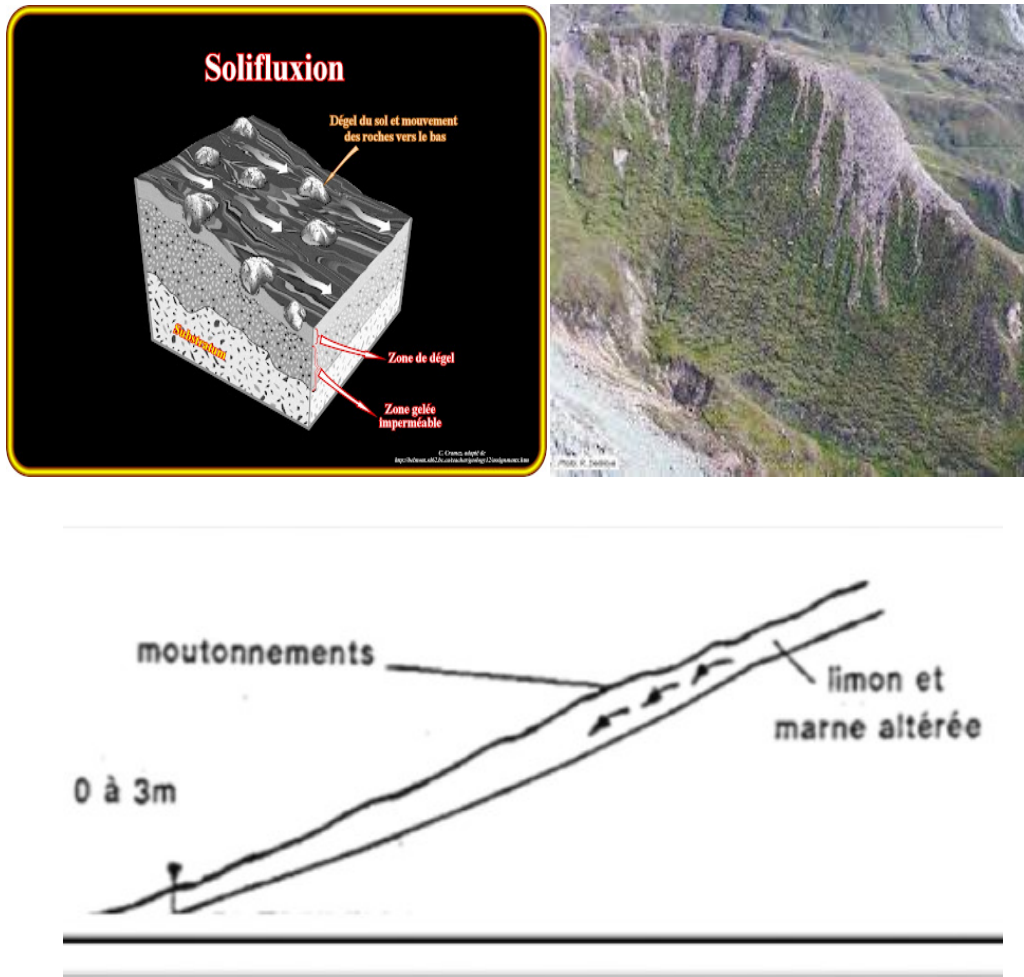


Figure 1.6: Phénomène de la solifluxion [05]

1.3.3. Les coulées boueuses:

Les coulées boueuses se caractérisent par le déplacement d'un mélange de matériaux meubles comprenant du sol, de la végétation et de l'eau. Appelée aussi glissement de terrain liquide, ce phénomène peut être dû à la déforestation. L'eau étant un facteur aggravant ou encore déclenchant des mouvements de terrain et entre autre des coulées boueuses, la couche superficielle du sol se détache et glisse en amas visqueux le long de la pente (Figure 1.7). [07]

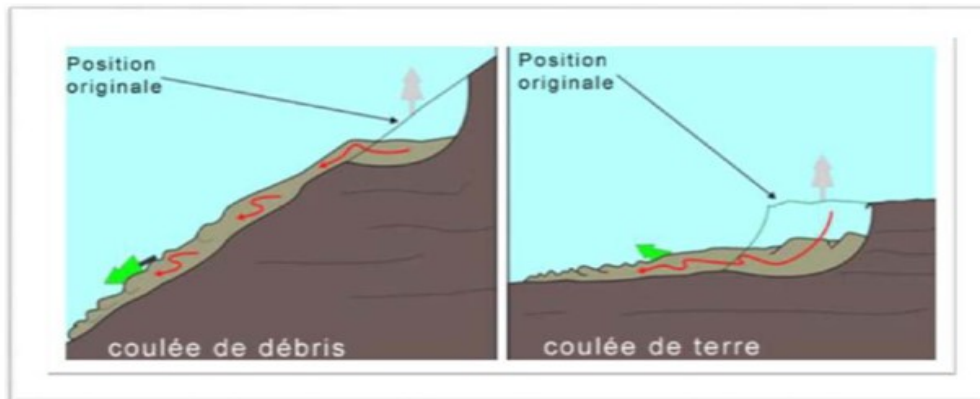


Figure 1.7: une coulée de boue [07]

1.3.4. Les Glissements :

Ces déplacements se manifestent habituellement dans des matériaux non cohésifs tels que les sols ou dans des roches fracturées ou altérées. Ils se manifestent le déplacement d'une masse de matériau le long d'une (ou plusieurs) surfaces de rupture. La forme de cette dernière dépend en partie de la structure géologique du site. Ces surfaces peuvent être de forme quelconque (Figure 1.8). [06]



Figure 1.8: Schéma explicatif du phénomène:
Glissement de terrain [06]

En se référant à la surface de rupture, on distingue trois principaux types de glissements :

1.3.4.1. Glissements Plan :

C'est un mouvement le long d'une surface relativement plane (Figure 1.9), comme une couche ou une surface tectonique, et il survient principalement dans des environnements rocheux stratifiés, tels que les schistes. Les ruptures peuvent se produire à différentes positions, soit sur le flanc d'un talus, soit au pied d'un talus. Dans un glissement plan, la ligne de rupture présente des propriétés mécaniques défavorables, et elle est souvent affectée par l'action de l'eau ; une couche ayant de telles caractéristiques est qualifiée de couche savonneuse. [03]



Figure 1.9: Glissement plan [03]

1.3.4.2. Glissements circulaire ou rotationnel :

La surface de glissement est généralement de forme plus ou moins circulaire (Figure 1.10). Le mouvement se distingue par la présence d'une zone de départ bien définie et par un bourrelet frontal plus ou moins prononcé. Il se développe principalement dans des sols

Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain

meubles et des roches homogènes présentant une faible cohésion ou une fragmentation importante. [03]



Figure 1.10: Glissement circulaire [03]

1.3.4.3. Glissements quelconque (aléatoire):

Très similaire au précédent en apparence extérieure, mais la section verticale de la surface de glissement présente une forme irrégulière (figure 1.11). Il s'agit souvent d'une combinaison des deux cas précédents. Les ruptures sont déclenchées par un mouvement de translation et se produisent dans des dépôts de nature hétérogène. [03]

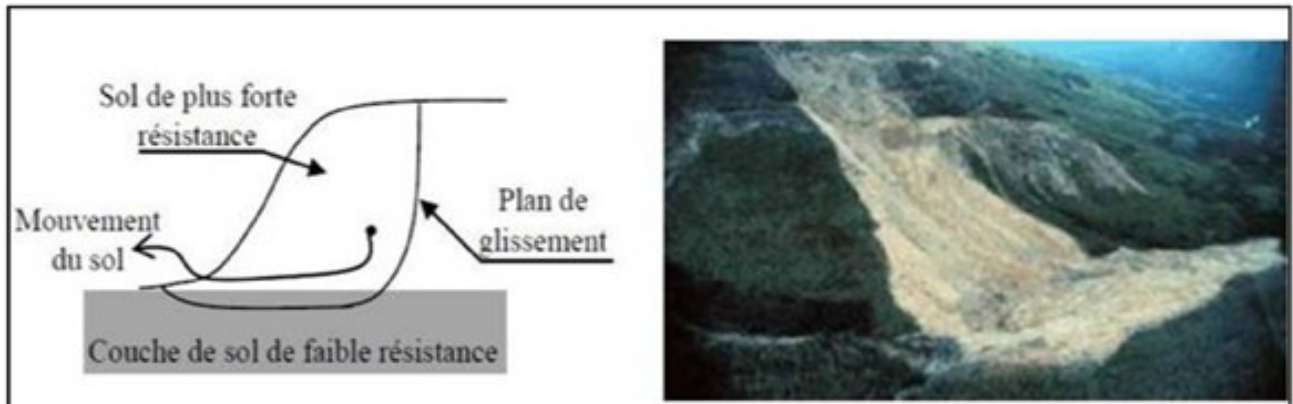


Figure 1.11: Glissement quelconque [03]

1.4. Classification des glissements de terrain :

- Classification d'après la profondeur de la surface de glissement (en m sous la surface du sol) : Les glissements de terrain peuvent être classés en fonction de la profondeur de leur surface de glissement et de la vitesse moyenne du mouvement.

Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain

Tableau 1.1: La classification de glissement de terrain selon (Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers; 2009) [26]

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

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

Tableau 1.2: La classification de glissement de terrain selon (Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers; 2009) [26]

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

1.5. Principales causes des mouvements de terrains :

Le passage d'un terrain stable à un terrain instable, est lié à des causes nombreuses et variées, parmi ces causes :

1.5.1. Les causes naturelles :

- La géométrie de terrain : la pente de la surface du terrain est le premier facteur de stabilité ou d'instabilité et dépend de la nature des sols et l'inclinaison.
- L'érosion qui se produit à la base des pentes qui est due à l'action des cours d'eau.
- La fonte des neiges ou de fortes pluies : les nappes sont alimentées par les pluies et la fonte de la neige qui est responsable de rajouter d'autre phénomène, comme des infiltrations à partir des fossés, de bassins de rétention et d'adduction d'eau ou de réseaux d'assainissement.
- La pression accrue de l'eau dans les vides du sol.
- L'impact du gel et du dégel sur les parois rocheuses.
- Les séismes : les sollicitations sismiques peuvent être la cause de glissement de terrain par deux phénomènes :
 - La liquéfaction des limons et sables fins saturés.
 - La force inertielle déstabilisatrice due au séisme lui-même.

1.5.2. Les causes anthropiques:

- Les surcharges au sommet du talus :

L'ajout d'un poids supplémentaire au sommet d'un talus (Figure 1.12) altère son équilibre, ce qui peut entraîner une détérioration de sa stabilité ou déclencher directement un

Chapitre 01 : Généralités sur les glissements de terrain

glissement. Les charges induites par les structures telles que les remblais, les fondations et les ouvrages de soutènement peuvent entraîner des mouvements et des dommages significatifs.

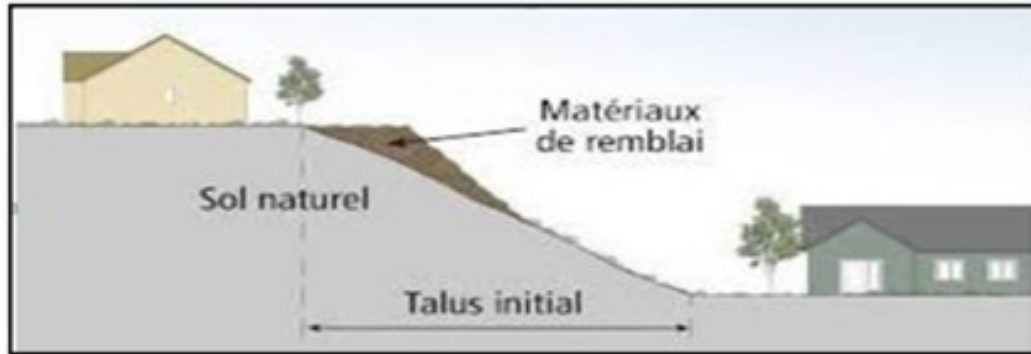


Figure 1.12: Surcharge de remblai au sommet de talus

- Les déblais ou les excavations à la base du talus :

Même une petite excavation ou un léger déblai (Figure 1.13) peut déclencher une rupture lorsque la stabilité du talus est déjà précaire. Ces excavations accentuent l'inclinaison ou la hauteur de celui-ci ce qui peut provoquer un glissement de terrain lors de l'intervention ou nuire la stabilité du talus à plus long terme.



Figure 1.13: Les déblais et les excavations à la base du talus

- La concentration d'eau vers la pente :

Le déversement des eaux de pluie, de drainage, de ruissellement ou des eaux usées dans un talus ou sur sa crête (Figure 1.14) peut entraîner un processus d'érosion, de ravinement ou d'infiltration du sol. Une accumulation excessive d'eau peut compromettre la stabilité du talus et même déclencher un glissement de terrain.



Figure 1.14: Concentration d'eau vers la pente

➤ La déforestation:

La déforestation peut être naturelle. Par exemple, des conditions telles qu'une sécheresse prolongée, un incendie, des vents forts, une éruption volcanique ou un raz-de-marée. Mais plus, généralement, la déforestation est le fruit de l'homme. Pour permettre l'expansion des villes, la construction de routes et d'infrastructures, l'homme procède au déboisement nécessaire.



Figure 1.15: Glissement de terrain dû à la déforestation en Indonésie, décembre 2014

Chapitre 02 :
Méthodes de calcul
des glissements de
terrains

2.1. Introduction :

La mise en mouvement des pentes naturelles, qu'elle soit lente ou brutale, peut entraîner des dommages considérables aux infrastructures et aux constructions, avec des répercussions économiques importantes, et parfois même entraîner des pertes humaines.

Une étude approfondie des pentes comprend non seulement la reconnaissance du site et la détermination des caractéristiques mécaniques des sols, mais également un calcul de la stabilité. Ce calcul vise à identifier la courbe de rupture où le risque de glissement est le plus élevé, ainsi qu'à déterminer la valeur correspondante du coefficient de sécurité.

Dans ce chapitre, on va citer de nombreuses méthodes pour contrôler la stabilité des pentes par le calcul de leurs facteurs de sécurité.

2.2. Coefficient de sécurité:

L'évaluation de la stabilité des talus est généralement basée sur l'utilisation d'un coefficient connu sous le nom de coefficient de sécurité (F_s). Ce coefficient est déterminé en comparant la force résistante à la force motrice agissant sur le talus. En se basant sur les valeurs du coefficient de sécurité, il est possible d'évaluer l'état de stabilité du talus, comme illustré dans le tableau :

Tableau 2.1 : Equilibre des talus en fonction des valeurs théoriques du coefficient de sécurité.

F_s	Etat de l'ouvrage
$F_s < 1$	Danger
$F_s = 1$	Stabilité limite.
$F_s \in]1, 1.25[$	Sécurité contestable.
$F_s \in]1.25, 1.40[$	Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants.
$F_s > 1.4$	Sécurité satisfaisante.

À la suite des expériences menées, une classification a été élaborée par la Société Internationale de la Mécanique des Roches, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 2.2: Equilibre des talus en fonction des valeurs expérimentales du coefficient de sécurité.

$F_s < 1$	Talus instable.
$1 < F_s < 1.5$	Glissement possible.
$F_s > 1.5$	Généralement stable.

Le coefficient de sécurité peut être déterminé en calculant le rapport entre la valeur à laquelle survient la rupture et la valeur calculée sous les conditions spécifiques du projet

pour le paramètre sélectionné. Ce paramètre peut être un rapport de forces, de moments, ou d'autres grandeurs par rapport à une valeur limite, comme illustré dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2.3: Différentes définitions d'un coefficient de sécurité.

Définition	Formule
Rapport de contraintes	$FS = \frac{\tau_{\max}}{\tau}$
Rapport de forces	$FS = \frac{E_{\text{résistant}}}{E_{\text{moteur}}}$
Rapport de moments	$FS = \frac{M_{\text{résistant}}}{M_{\text{moteur}}}$

2.3. Méthodes de calcul :

Les techniques courantes d'évaluation de la stabilité des talus sont diverses et peuvent varier en fonction des caractéristiques géologiques et géotechniques du site étudié. Parmi ces méthodes figurent l'analyse des pentes, l'utilisation de modèles numériques, les calculs basés sur la mécanique des sols, ainsi que l'observation des déformations et des mouvements de terrain. Chacune de ces approches offre des avantages et des limitations, et leur utilisation dépend souvent de la nature spécifique du projet et des données disponibles. L'objectif principal de ces méthodes est d'évaluer la stabilité des talus afin de minimiser les risques de glissement et d'assurer la sécurité des infrastructures et des populations environnantes.

Les méthodes principales pour évaluer la stabilité des talus sont :

- Les méthodes basées sur l'équilibre limite.
- Les méthodes numériques.

2.3.1. Les Méthodes basées sur l'équilibre limite :

2.3.1.1. Méthodes des tranches:

Cette méthode implique d'évaluer les forces qui agissent pour retenir un volume de terrain, délimité par les forces libres du talus et une surface de rupture potentielle, ainsi que celles qui agissent pour le mettre en figure. [13]

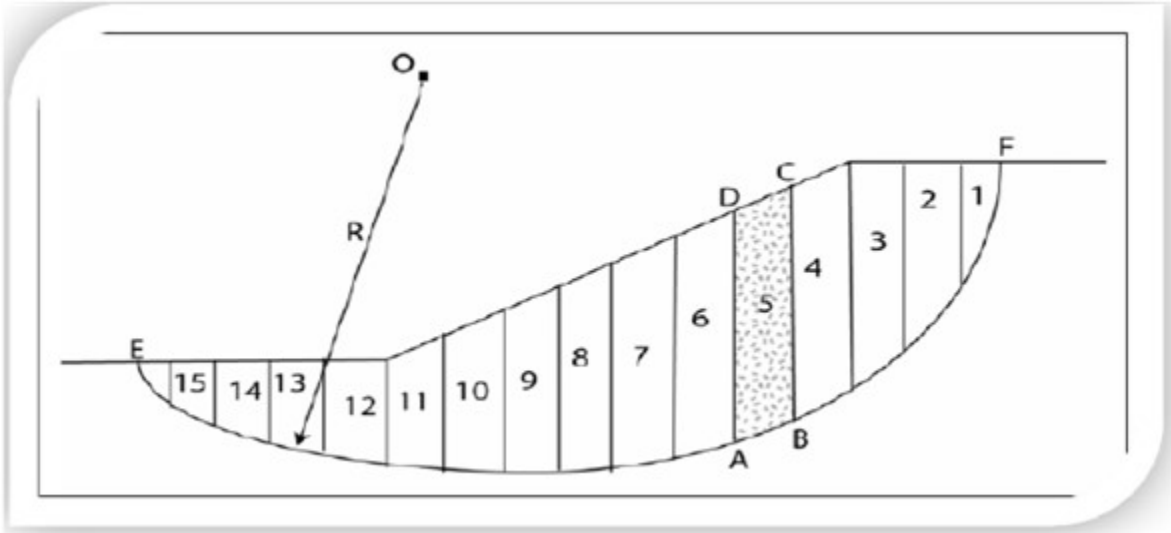


Figure 2.1: Description de découpage en tranches avec la surface de rupture [13]

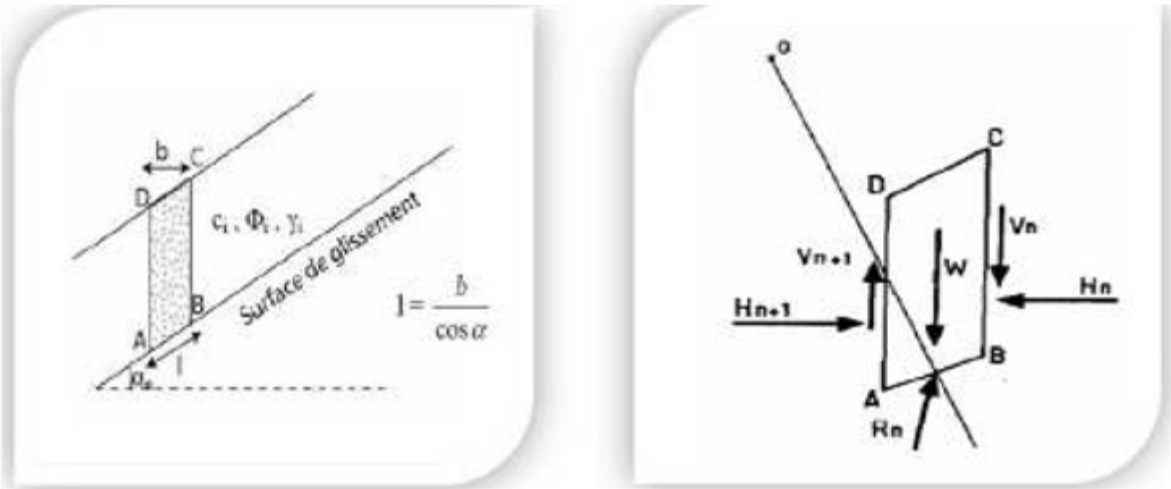


Figure 2.2: Démonstration des forces agissantes sur une tranche [13]

La méthode des tranches implique de diviser le volume de sol (compris dans l'arc EF) en plusieurs tranches, séparées par des plans verticaux.

En l'absence d'eau, chaque tranche (n) est soumise à :

- Son poids $W = \gamma n . h n . b n$
- Les efforts inter-tranches décomposés en efforts horizontaux $H n$ et $H n+1$ et en efforts verticaux $V n$ et $V n+1$.
- La réaction $R n$ du milieu sous-jacent sur l'arc AB (résistance de cisaillement). Elle se décompose en une composante normale et tangentielle.

A. Méthode de Fellenius(1927):

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

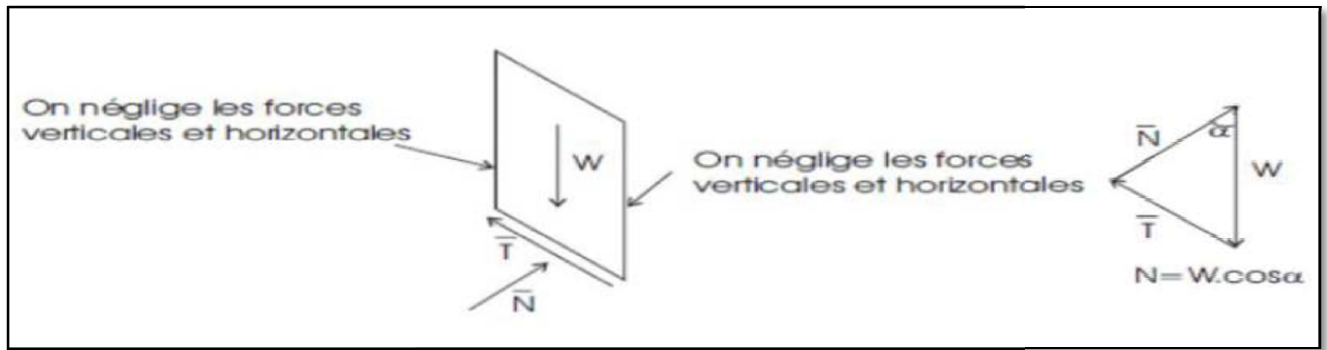


Figure 2.3: Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius [11]

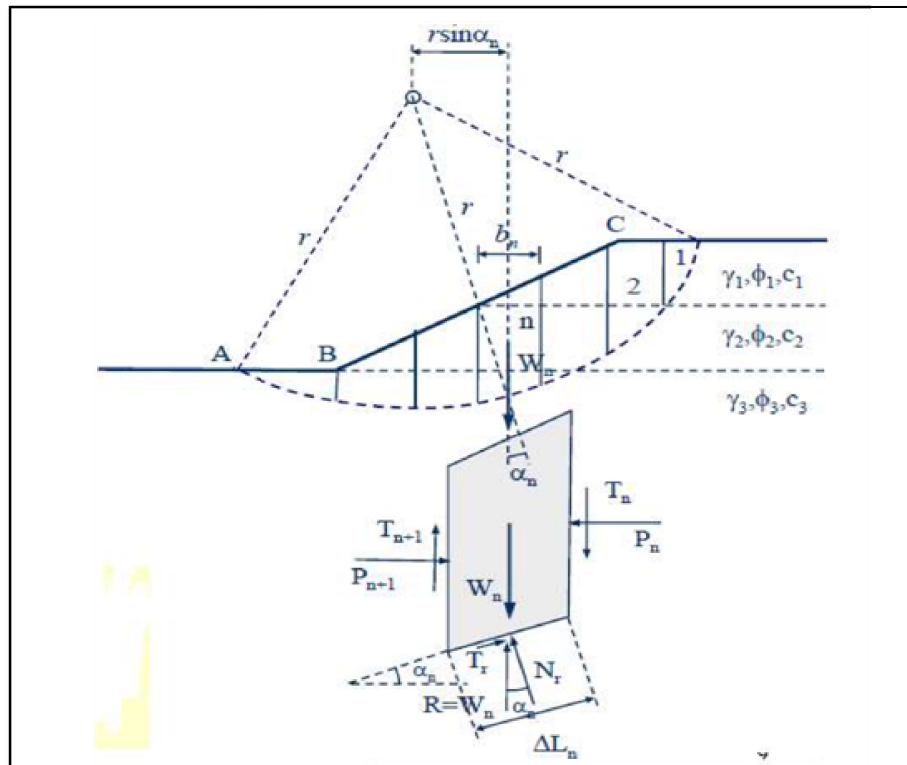


Figure 2.4: Equilibre d'une tranche de sol dans la méthode de FELLENIUS [11]

Le coefficient de sécurité est défini par :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.1)$$

C : la cohésion

ϕ : L'angle de frottement

B. Méthode de BISHOP simplifié (1954):

A cette méthode, il est supposé que :

- La ligne de glissement est toujours de forme circulaire.
- l'équilibre étudié est l'équilibre des moments.
- Les efforts inter-tranches horizontaux sont nuls.

Le facteur de sécurité est donné par cette formule:

$$F_S = \frac{\sum_1^m (C_i b_i + W_i \tan \phi_i)}{m \alpha \sum_1^m W_i \sin \alpha_i} \quad (2.2)$$

$$m \alpha = \cos \alpha_i \left(1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \phi_i}{F_S} \right) \quad (2.3)$$

Pour calculer F_S , il est nécessaire d'effectuer des itérations successives. Lors de la première itération, on utilise F_{S0} comme valeur initiale, obtenue à partir de la méthode de Fellenius. Ainsi, il s'agit d'une méthode indirecte (ou itérative) qui vérifie uniquement l'équilibre des moments, similaire à la méthode de Fellenius, qui ne vérifie pas l'équilibre des forces. [12]

C. Méthode de JANBU (1956):

Cette méthode est élaborée par Janbu (1956). La méthode de Janbu détermine le facteur de sécurité en vérifiant l'équilibre global des forces horizontales et verticales, sans prendre en compte l'équilibre global des moments. [13]

Hypothèses :

- La méthode suppose une surface de glissement quelconque.
- Les forces sont définies de la même manière que dans la méthode simplifiée de Bishop.

Chapitre 02 : Méthodes de calcul des glissements de terrains

Le facteur de sécurité est défini par cette formule :

$$F_f = \frac{\sum [c'.l + (\bar{N} - u.l) \tan \alpha] \cos \alpha}{\sum \bar{N} \sin \alpha} \quad (2.4)$$

Par la projection en parallèle à la base de la tranche ; l'équation devient :

$$F_f = \frac{\sum [c'.l + (\bar{N} - u.l) \tan \varphi'] / \cos \alpha}{\sum W \tan \alpha} \quad (2.5)$$

Remarque : Cette valeur obtenue doit être corrigée en fonction de l'allure de la courbe de rupture.

$$F'_f = f_0 \cdot F_f \quad (2.6)$$

D. Méthode de Morgenstern et Price (1965):

Cette méthode respecte toutes les conditions d'équilibre statique pour chaque tranche, ainsi que l'équilibre des moments et des forces dans la direction horizontale pour l'ensemble de la masse glissant le long d'une surface de rupture circulaire ou non circulaire.

Elle implique l'introduction d'une fonction mathématique arbitraire pour représenter la variation de la direction des forces entre les tranches [09]

$$\tan \theta_i = X/E = \lambda \cdot f(x_i') \quad (2.7)$$

Où : θ_i est l'angle formé par la résultante et l'horizontale, il varie systématiquement d'une tranche à une autre le long de la surface de glissement.

λ : le constante qui doit être évaluée pour le calcul du facteur de sécurité.

$f(x_i')$ est la fonction de variation par rapport à la distance le long de la surface de glissement.

x_i' est la normalisation linéaire des coordonnées x_i , avec les valeurs des deux bouts de la surface de rupture égales à zéro et π .

Une étude comparative des méthodes d'analyse réalisée en 1977 par Fredlund et Krahn a démontré que le choix de la fonction dans la méthode de Morgenstern et Price a une faible influence sur la valeur du facteur de sécurité. [10]

E. Méthode de Spencer (1967):

La méthode de Spencer repose sur l'hypothèse selon laquelle les forces latérales sont toutes parallèles, c'est-à-dire qu'elles sont inclinées selon le même angle. Cet angle est calculé comme faisant partie de la solution d'équilibre.

De plus, cette méthode suppose que les forces normales à la base de chaque tranche agissent au centre de cette base, une supposition qui a très peu d'impact sur le résultat final.

Le principe de calcul de cette méthode est similaire à celui de la méthode de Morgenstern et Price, à la différence près que la fonction de variation utilisée est constante, représentant le rapport constant entre les composantes verticales et horizontales des forces inter-tranches. [13]

F. Méthode de perturbations (1974):

Cette méthode présente l'avantage de traiter aussi bien les surfaces de glissement circulaires que non circulaires. La répartition des contraintes normales ainsi que les valeurs de pression interstitielle à chaque point le long de la courbe de rupture est déterminées à l'aide d'une contrainte approximative, ajustée ou perturbée par deux paramètres. La loi de Coulomb est utilisée pour exprimer les contraintes de cisaillement maximales. Le coefficient de sécurité est défini de manière classique comme le rapport entre le cisaillement maximal disponible et le cisaillement nécessaire à l'équilibre. [13]

2.3.2. Méthodes des Éléments Finis :

La méthode des éléments finis consiste à remplacer la structure physique à examiner par des éléments représentant un nombre infini d'éléments ou de réseaux. Ces éléments sont reliés à une série de points appelés nœuds. Nous évaluons d'abord le comportement de chaque pièce individuelle, puis combinons les pièces de manière à garantir l'équilibre des pouvoirs et la coordination de la véritable fonction de la structure en tant qu'objet continu.

La méthode des éléments finis présente avantages significatifs car il permet l'étude de structures continues présentant des caractéristiques géométriques et des conditions de chargement complexes. De par son caractère répétitif, il nécessite une grande quantité de calculs et est bien adapté aux applications numériques. Cette dernière méthode est la plus intéressante car elle permet de poser des problèmes géotechniques. [36]

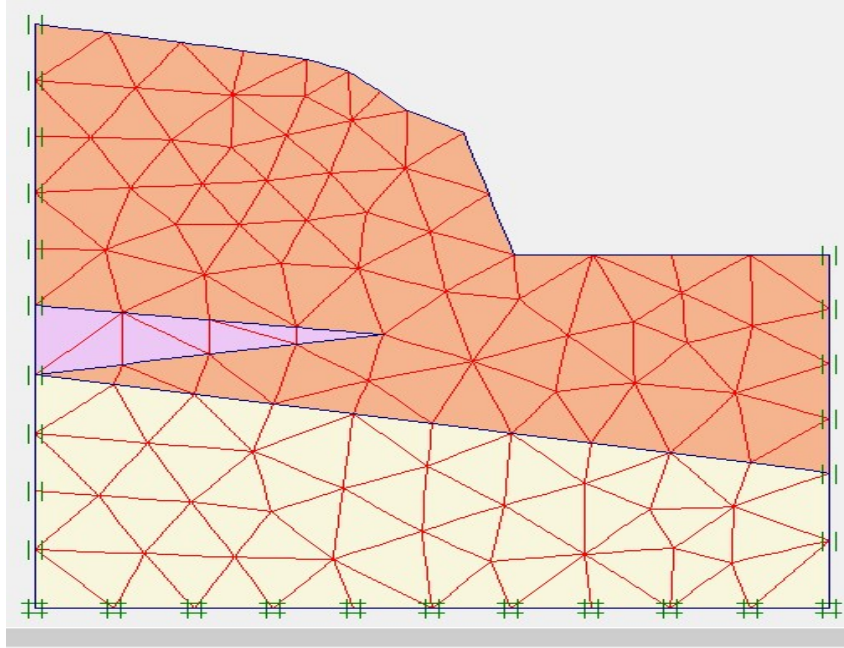


Figure 2.5: Exemple pour élément finis + Maillage

2.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordés les méthodes de calculs des glissements de terrains puisque il existe différentes méthodes de calcul de stabilité, chacune reposant sur des hypothèses spécifiques. L'objectif commun de ces méthodes est de calculer le coefficient de sécurité, un paramètre essentiel pour évaluer la stabilité d'un talus.

C'est pourquoi diverses techniques de stabilisation telles que le renforcement, le terrassement et le drainage sont employées. Leur objectif est de protéger la vie humaine, les équipements et de garantir la stabilité des pentes. Ces sujets seront explorés en détail dans le chapitre suivant.

Chapitre 03 :
Les méthodes de
confortement des
glissements de terrains

3.1. Introduction :

L'étude d'un glissement de terrain permet de déterminer la technique de confortement la plus adéquate pour stabiliser le terrain de manière durable et économique. Le choix de la méthode de confortement dépend de plusieurs facteurs clés liés au site et au type de glissement de terrain.

L'objectif du confortement est d'améliorer la stabilité du terrain et de prévenir de nouveaux glissements.

Le choix de la technique de confortement est dicté par plusieurs paramètres: Les conditions de drainage, le type de versant, la nature du terrain, la géométrie du terrain, le niveau de la nappe phréatique etc...

Le coefficient de sécurité est un élément crucial pour le dimensionnement d'un dispositif de confortement.

Il est important de prendre en compte les différents facteurs qui peuvent influencer le choix du coefficient de sécurité.

Un coefficient de sécurité plus élevé est généralement requis pour les interventions préventives et pour les sites dont les caractéristiques sont mal connues (Un coefficient de sécurité $F = 1,5$ est généralement recommandé pour garantir la durabilité de l'ouvrage et prévenir d'éventuels glissements).

3.2. Les méthodes de confortements :

Les glissements de terrain, qu'ils soient naturels ou provoqués par l'homme, posent de nombreux problèmes. Heureusement, il existe plusieurs techniques pour réduire les risques de rupture. On peut les diviser en deux catégories principales : les approches douces et les approches dures, (**Figure 3.1**)

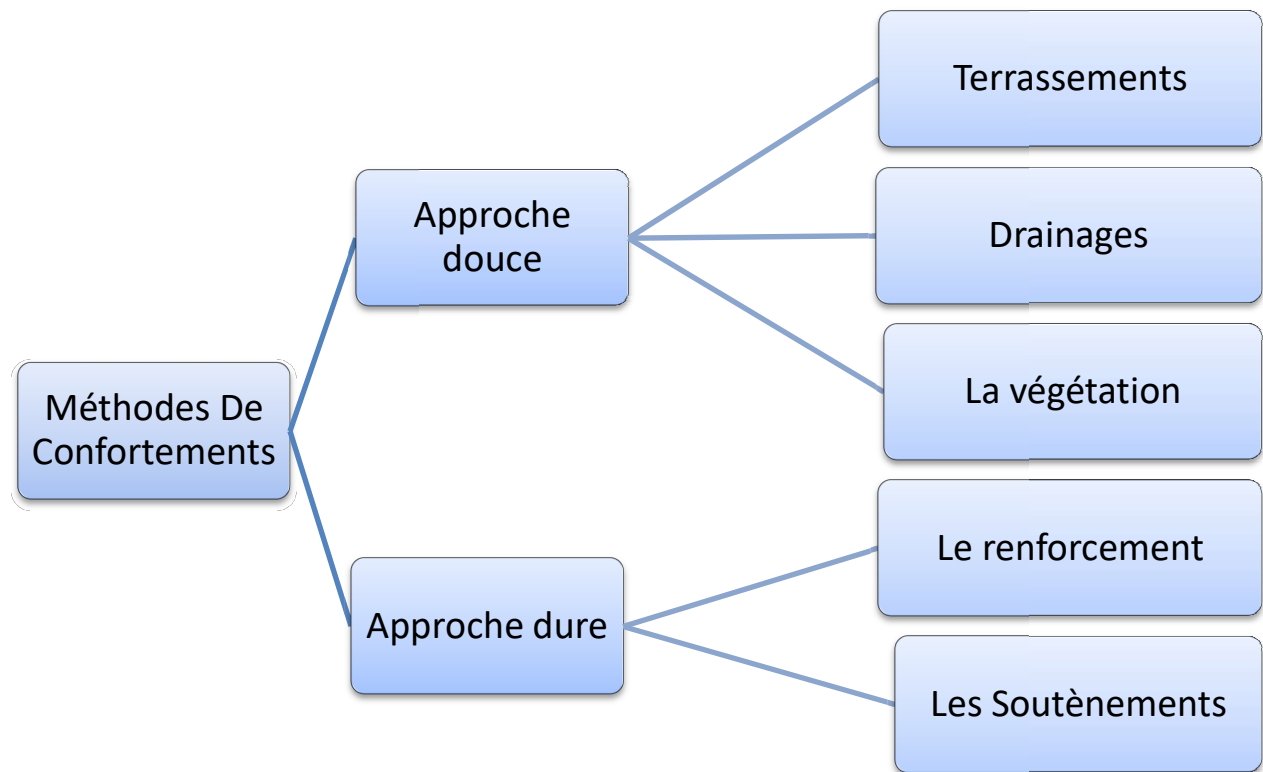


Figure 3.1: Organigramme des méthodes de confortements (Bedr, 2008)

3.2.1.Approche douce :

L'approche douce est une alternative aux techniques de confortement traditionnelles qui met l'accent sur l'esthétique et l'intégration environnementale.

Cette approche est particulièrement adaptée aux sites sensibles où l'impact visuel des travaux doit être minimisé.

L'approche douce peut être une solution efficace pour stabiliser un versant instable tout en respectant l'environnement.

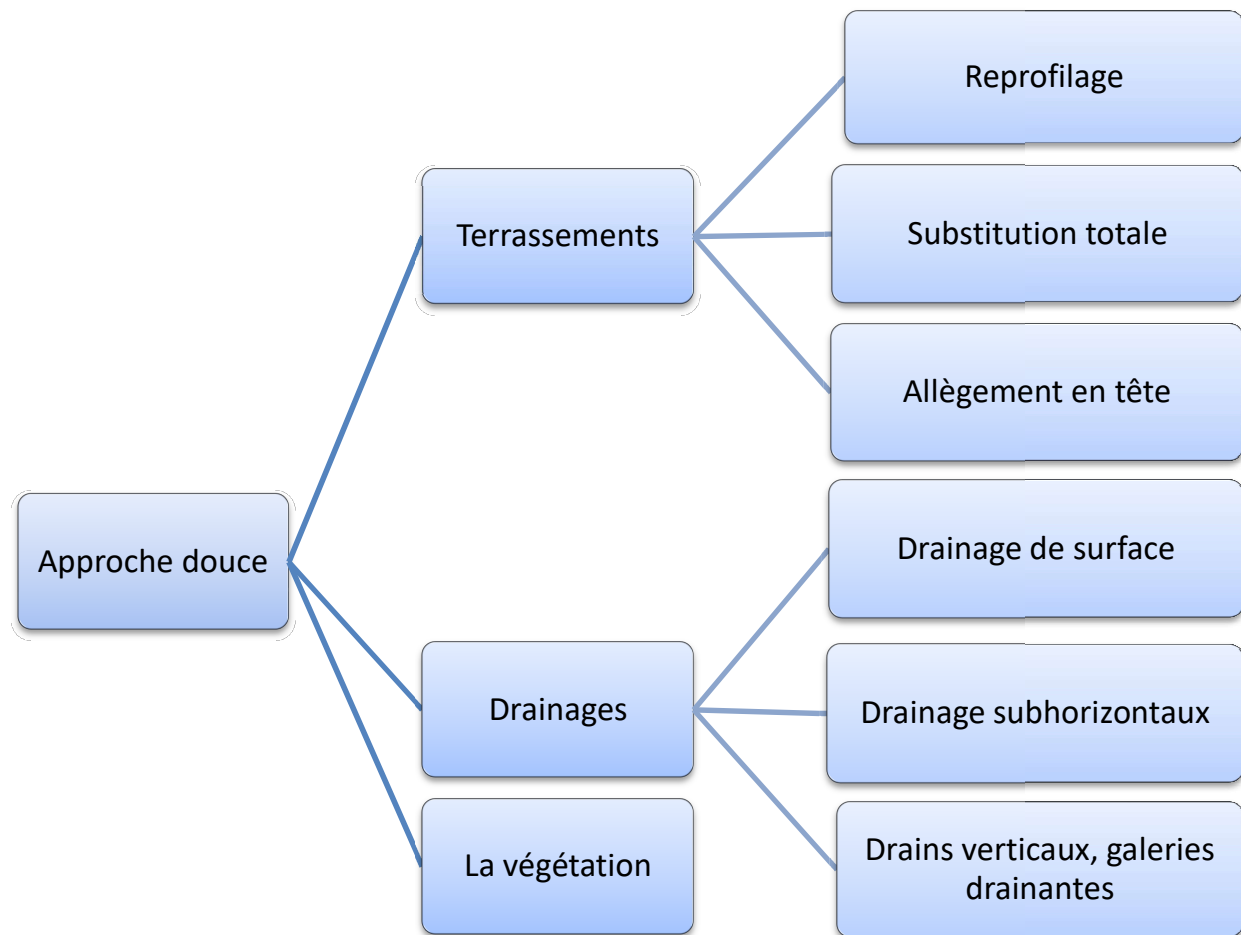


Figure 3.2: Organigramme de l'approche douce

3.2.1.1. Terrassements :

La pente d'un terrain étant un facteur crucial pour sa stabilité, le terrassement s'avère la solution la plus naturelle pour le stabiliser. Il existe trois catégories principales de méthodes de stabilisation par terrassement :

a. Reprofilage :

Ce procédé, semblable au déchargement en tête, vise à réduire la pente moyenne du talus (voir Figure 3.3).

Cette technique est particulièrement efficace pour les talus de déblais, mais elle s'avère généralement inadaptée aux versants naturels instables car elle nécessite le déplacement de volumes importants de sol, ce qui peut fragiliser davantage la zone. [06]

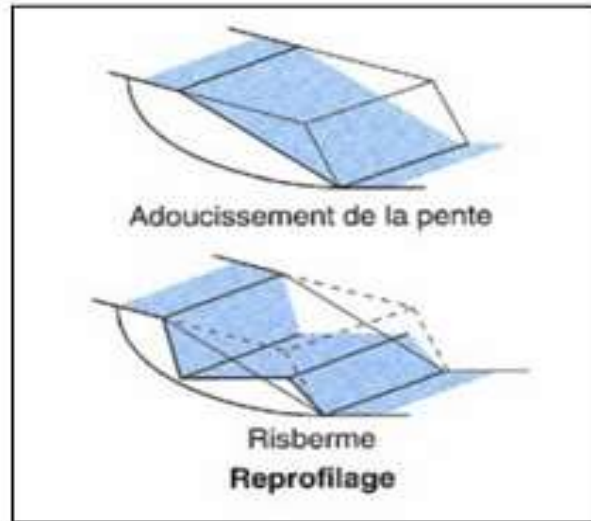


Figure 3.3: Schéma d'un reprofilage (Durville,J. Gilles,S. 1996)

b. Substitution totale :

La substitution totale consiste à remplacer la totalité du matériau instable d'un talus par un matériau de meilleure qualité. Cette technique permet de reconstituer le profil initial du talus et d'améliorer sa stabilité de manière durable.

Il est important de prendre en compte plusieurs facteurs lors de la substitution totale :

- Les caractéristiques du matériau de substitution: Le nouveau matériau doit être stable, résistant et compatible avec le terrain en place.
- Les caractéristiques du matériau en place: Il est important de connaître les propriétés du sol sur lequel le nouveau matériau sera installé.
- Les conditions de drainage: Le drainage adéquat du talus est crucial pour sa stabilité à long terme.
- Les risques d'érosion: Des mesures doivent être prises pour protéger le talus de l'érosion.

La substitution totale est une technique efficace pour stabiliser les talus instables, mais elle peut être coûteuse et techniquement complexe. Il est important de bien évaluer les besoins et de choisir une équipe d'experts qualifiés pour réaliser les travaux.

Quant à la substitution partielle elle est souvent employée, sous forme de bèches (**Figure 3.4**), d'éperon masque ou de contreforts discontinus. Ceci procède à un apport de matériaux nouveaux et de meilleure résistance.

Le calcul du coefficient de sécurité de la pente se fait en prenant la moyenne pondérée des coefficients de sécurité de la pente avec les caractéristiques du matériau initial et de substitution. [06]

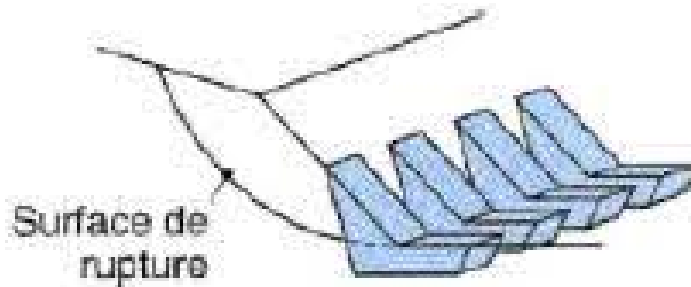


Figure 3.4: Schéma d'un Substitution Partielle (Durville,J. Gilles,S. 1996)

c. Allègement en tête :

Le déchargement en tête consiste à réduire la quantité de terre en haut d'un talus pour en améliorer la stabilité. Cette technique se traduit par une diminution de la force qui s'exerce sur le talus (poids moteur) et, par conséquent, une augmentation de sa résistance au glissement (coefficient de sécurité).

Le déchargement en tête est une technique simple et efficace pour stabiliser les talus instables. Elle est particulièrement adaptée aux talus de faible hauteur et aux terrains meubles. [06]

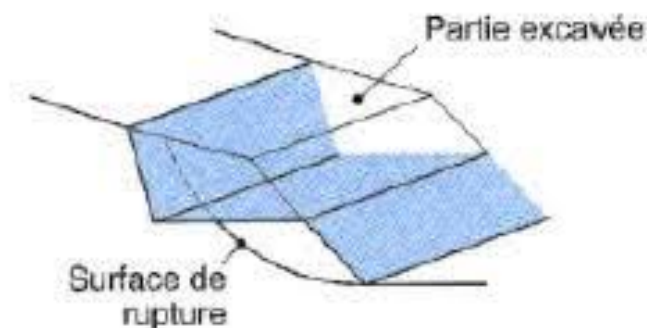


Figure 3.5: Schéma d'un Allègement en tête [06]

3.2.1.2. Drainages :

L'eau est un élément crucial à prendre en compte dans la stabilité des talus. Elle peut non seulement être la cause d'un glissement de terrain, mais aussi en aggraver les effets.

L'ingénierie géotechnique vise à contrer les effets néfastes de l'eau sur les talus en employant différentes techniques de drainage :

a. Drainage de surface :

Le drainage de surface consiste à mettre en place différentes techniques pour évacuer l'eau de la surface du sol. Le choix de la technique dépend de la nature du problème à traiter.

Voici quelques exemples de techniques de drainage de surface :

- Masque végétal: Installation d'une végétation dense sur la surface du sol pour absorber l'eau et ralentir son ruissellement.
- Pavage: Installation d'une surface imperméable (pavés, dalles, etc.) pour empêcher l'eau de s'infiltrer dans le sol.
- Masque drainant: Installation d'une couche de matériau perméable (gravier, géotextile, etc.) pour permettre à l'eau de s'infiltrer dans le sol et de s'écouler (**Figure 3.6**).
- Remplissage des fractures et fissures: Injection de mortier ou de résine dans les fissures du sol pour empêcher l'eau de s'infiltrer et de créer des problèmes de stabilité.
- Égalisation de la surface: Nivellement du sol pour améliorer l'écoulement de l'eau et éviter la formation de flaques d'eau.

Le choix de la technique de drainage de surface la plus appropriée dépend de plusieurs facteurs:

- La quantité d'eau à évacuer: Si la quantité d'eau est importante, un système de drainage plus complexe sera nécessaire.
- La pente du terrain: Un terrain plus pentu nécessite un drainage plus efficace.
- La nature du sol: Un sol imperméable nécessite un drainage plus important qu'un sol perméable.
- Les ressources disponibles: Le coût et la complexité des différentes techniques de drainage doivent être pris en compte.

Le drainage de surface est un outil important pour prévenir les problèmes d'infiltration d'eau et d'érosion. Il existe une variété de techniques disponibles pour répondre aux besoins spécifiques de chaque situation.

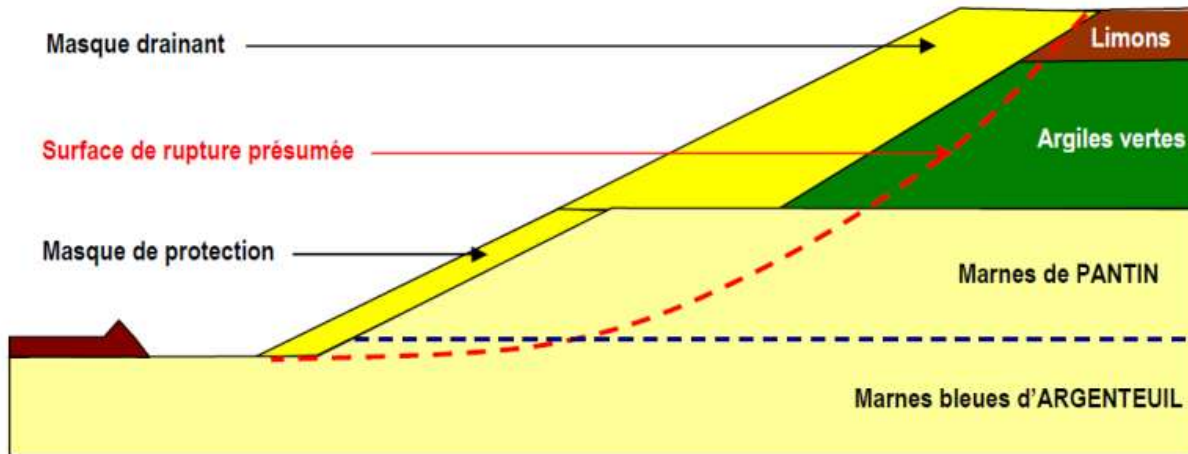


Figure 3.6: Schéma d'un système d'Masques drainants

b. Drainage subhorizontal :

La technique des drains subhorizontaux est une technique d'ingénierie utilisée pour contrôler l'écoulement des eaux souterraines. Cette technique est utilisée lorsque l'excavation de tranchées est impossible ou non souhaitée.

La technique des drains subhorizontaux consiste à forer plusieurs trous inclinés à un angle faible (2 à 5 degrés) et à y installer des tuyaux de drainage. Ces tuyaux, appelés drains subhorizontaux, permettent d'évacuer l'eau des couches de sol et des poches d'eau souterraine, même celles qui sont sous pression.

Pour que la technique des drains subhorizontaux soit efficace, le sol doit avoir une perméabilité suffisante pour permettre un drainage adéquat de l'eau. De plus, cette technique nécessite un entretien régulier pour empêcher le gel et le colmatage.

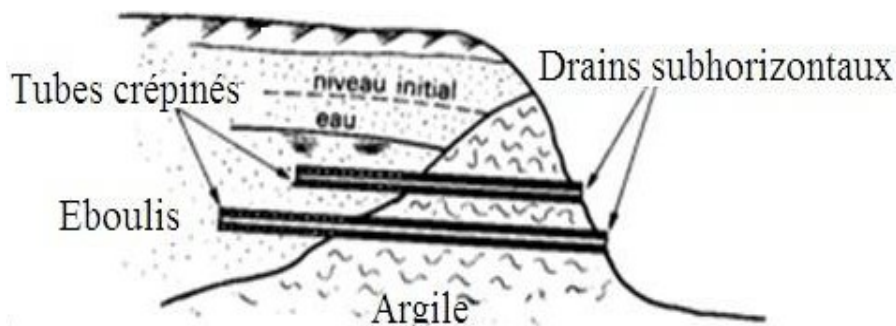


Figure 3.7: Méthode de confortement, Drainage subhorizontal

c. Drains verticaux, galeries drainantes :

Les drains verticaux et les galeries drainantes sont des techniques efficaces pour abaisser le niveau de la nappe phréatique et stabiliser les pentes instables. Elles peuvent être utilisées dans une variété de situations, mais il est important de bien choisir la technique la plus adaptée au contexte et de prendre en compte les coûts et les impacts environnementaux.

Drains verticaux: Des puits drainants équipés de pompes sont installés en ligne pour créer un écran drainant. L'eau pompée est ensuite évacuée vers un exutoire.

Galeries drainantes: Des tunnels sont creusés dans le sol pour collecter l'eau souterraine et la diriger vers un point bas.

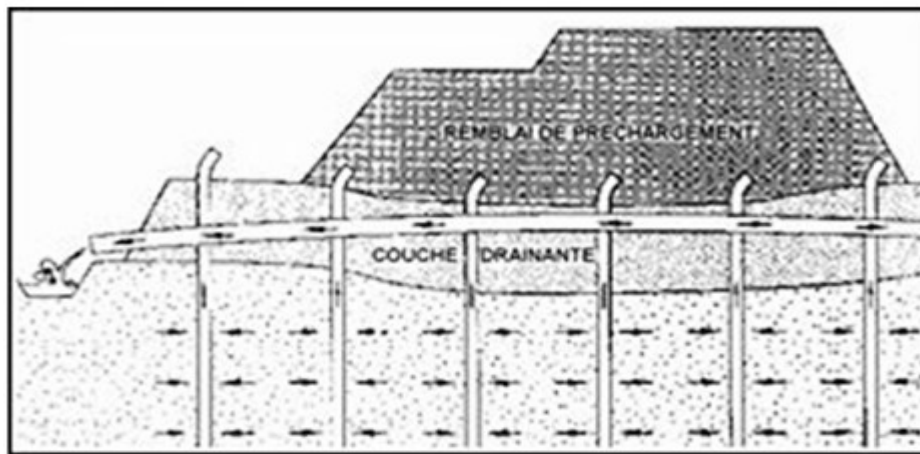


Figure 3.8 : Schéma représenter le principe de drains verticaux [16]

3.2.1.3. La végétation :

La végétation possède un rôle de stabilisation mécanique par enracinement dans le sol. Cette technique écologique et économique exploite le pouvoir des végétaux pour stabiliser le sol. En sélectionnant des espèces adaptées au terrain et à l'environnement, on crée un système durable qui renforce la structure du sol et prévient l'érosion. L'utilisation de la végétation arboricole et herbacée a de tout temps donné des résultats positifs dans la prévention de l'érosion et le renforcement de la stabilité des pentes (**Figure 3.11**).

D'ailleurs, ces dix dernières années, l'approche "douce" par l'utilisation de la végétation pour la stabilisation des pentes l'emporte sur l'approche "dure" qui utilise des dispositifs de stabilité mécanique. Ainsi à ce souci pour l'environnement s'ajoutent une meilleure connaissance et la disponibilité de plus d'informations relatives à la végétation dans les travaux d'ingénierie (Louis C., 1984).

Choix de la végétation: Le choix des arbres et des plantes dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de sol, la pente et l'environnement local.

- Techniques de plantation: Diverses techniques existent pour garantir un enracinement efficace et une croissance optimale de la végétation.
- Suivi et entretien: Un suivi régulier et un entretien adéquat sont nécessaires pour garantir la pérennité de la stabilisation des pentes par la végétation.



Figure 3.9: Une méthode de confortement “végétation” [16]

3.2.1.4. Avantage et inconvénient :

Tableau 3.1: montre quelque avantage et inconvénient de l'approche douce. (NORDINE, 2010):

Techniques	Avantage	Inconvénient
Terrassements	- Utilisation sur de longues distances dans le cas des voies de communication (Route, chemin de fer,...etc.)	- Impossibilité d'utilisation sur des versants de grandes hauteurs.
Drainages	- Mise en œuvre simple - Coût modéré pour certain type	- Coût élevé pour certain type - Conception difficile avec travaux délicats - Techniques complexes - Nécessité d'étude préalable importante
La végétation	- Interception de la pluie par le feuillage - Augmentation de la perméabilité grâce aux tiges et racines - Baisse des pressions interstitielles dans le sol grâce à l'absorption de l'eau par les racines des arbres	- Diminution de la teneur en eau du sol par les arbres en temps de sécheresse - Transmission des efforts dynamiques par la végétation exposée au vent

3.2.2.Approche dure :

Lorsque les délais d'exécution sont serrés, il est préférable d'opter pour une approche "dure". Cette approche implique l'utilisation de technologies de pointe et de techniques de sollicitation spécifiques pour modifier les propriétés du sol (mécaniques, physiques ou chimiques). Cela permet d'obtenir des résultats plus rapides et plus fiables, ce qui est crucial lorsque le temps est compté. [16]

Méthodes de confortements qui utilisent cette approche sont :

- Le renforcement
- Le soutènement

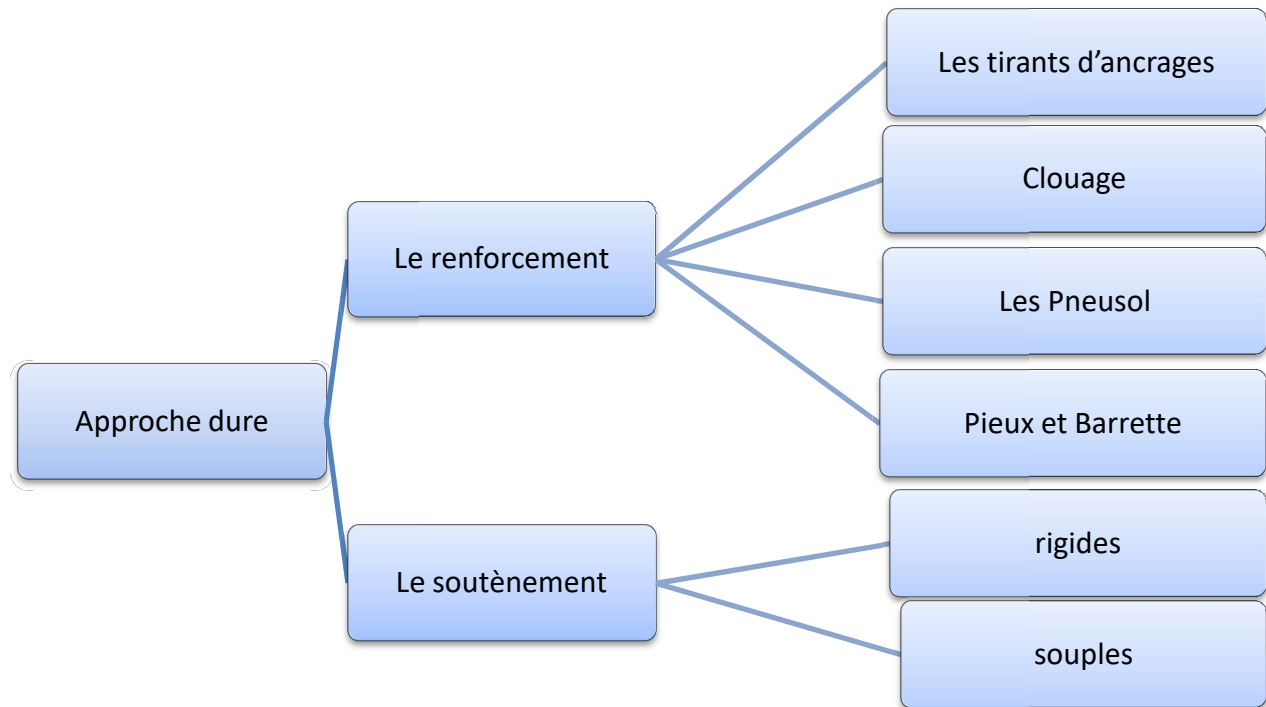


Figure 3.10: Organigramme d'Approche dure

3.2.2.1. Le renforcement :

a. Les tirants d'ancrages :

Un tirant d'ancrage est un élément structurel constitué d'une barre métallique (souvent en acier) insérée dans le sol et ancrée dans une zone stable. Il est utilisé pour stabiliser les sols et les structures contre les glissements, les affaissements et autres mouvements du terrain.

Le tirant d'ancrage est soumis à une force de précontrainte qui lui permet de transférer les charges du sol ou de la structure vers une zone plus stable du terrain.

Cette force de précontrainte est généralement créée par un vérin hydraulique ou par un système de post-tension.

Il existe différents types de tirants d'ancrages, dont les plus courants sont :

- Tirants actifs : Ils sont précontraints et ancrés dans le sol stable. Ils sont utilisés pour stabiliser les pentes, les murs de soutènement et les excavations.
- Tirants passifs : Ils ne sont pas précontraints et ne sont activés que si le sol commence à se déplacer. Ils sont utilisés pour surveiller les mouvements du sol et pour alerter en cas de risque de glissement.
- Tirants inclinés : Ils sont installés à un angle par rapport à la surface du sol. Ils sont utilisés pour stabiliser des structures profondes comme les tunnels et les fondations. [33]

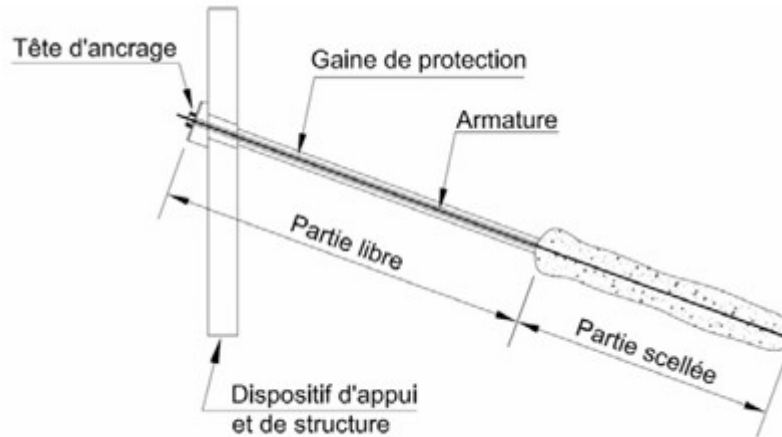


Figure 3.11: Exemple d'un tirant dont l'armature est scellée directement dans le terrain [33]

b. Clouage :

Le clouage, technique de construction employant des "clous" (éléments de renforcement), vise à renforcer la stabilité d'un sol meuble. En effet, l'installation de ces éléments permet de contrer les glissements et d'améliorer la résistance du terrain.

Ces "ancrages passifs", également connus sous le nom de clous, sont constitués d'armatures en acier fixées dans le sol par injection de coulis de ciment. Leur principe repose sur la mobilisation de forces de frottement tout le long de leur longueur, ce qui permet d'améliorer la stabilité du terrain.

Les structures en sol cloué s'accompagnent généralement d'un parement, qui peut prendre différentes formes :

- parement rigide en béton (projeté, coulé en place ou préfabriqué) : a pour fonction de soutenir les terrains entre les clous (doit être dimensionné pour reprendre les efforts déstabilisants maximum)
- parement flexible (paroi grillagée) : conçu pour soutenir les surfaces de pentes de terrain situées entre les clous et comme protection contre l'érosion
- parement souple (contrôle de l'érosion) : a pour fonction première d'empêcher l'érosion et de protéger la surface du terrain contre le ravinement.

Le clouage des sols fonctionne en augmentant la résistance au cisaillement du sol et en réduisant les forces de glissement. Les inclusions, généralement des clous en acier ou en fibre de verre, sont installées dans le sol en suivant un motif prédéterminé. Elles créent une force de confinement qui retient le sol en place.

Il existe plusieurs types de clous utilisés pour le clouage des sols, dont les plus courants sont :

- Clous en acier: Ils sont constitués de barres d'acier à haute résistance et sont généralement utilisés pour les sols meubles et les pentes raides.
- Clous en fibre de verre: Ils sont plus légers et moins résistants que les clous en acier, mais ils sont plus résistants à la corrosion et conviennent mieux aux sols argileux.
- Clous à tête expansive: Ils sont munis d'une tête qui s'expansé au contact du sol, ce qui permet une meilleure répartition de la force de confinement. [32]

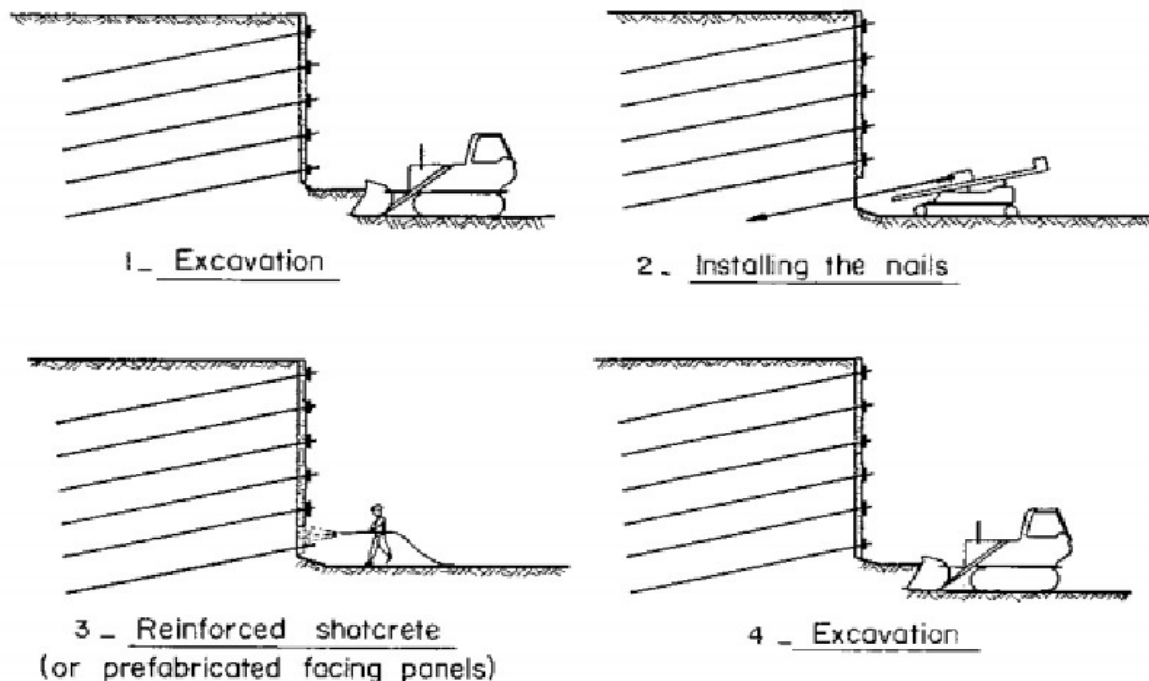


Figure 3.12: Méthode de clouage [32]

c. Les pneusol :

Le Pneusol est une technique innovante et écologique utilisée pour la construction de murs de soutènement, de remblais et d'autres structures géotechniques. Elle consiste à associer des pneus usagés entiers ou découpés avec du sol pour créer un matériau composite stable et résistant.

Les avantages de cette technique c'est :

- Les pneus en caoutchouc ont une durée de vie extrêmement longue, ce qui confère au pneusol une grande durabilité et une résistance à la dégradation dans le temps.

- L'utilisation de pneus recyclés dans le Pneusol permet de réduire les coûts de matériaux par rapport aux techniques traditionnelles qui utilisent des granulats et du béton.
- Le Pneusol peut être adapté à différentes applications en fonction du type de sol, de la charge à supporter et de la hauteur de la structure.
- Le Pneusol contribue à la valorisation des pneus usagés, ce qui réduit la pollution et préserve les ressources naturelles.
- Le Pneusol possède des propriétés d'isolation thermique et phonique intéressantes, ce qui peut être bénéfique pour certaines applications. [16]



Figure 3.13: Merlon de Moutiers, mur pare bloc – 8000 pneus découpés sur un flan [16]

d. Pieux et barrette :

Les pieux et les barrettes sont des éléments de fondation profonds utilisés pour transmettre les charges d'une structure au sol stable en profondeur. Ils constituent une alternative aux semelles filantes traditionnelles lorsque la capacité portante du sol superficiel est insuffisante.

Un pieu se présente comme une fondation fine et allongée. Son rôle est de transmettre les charges de la structure à des couches de terrain plus résistantes, garantissant ainsi la stabilité du sol et limitant les mouvements à un niveau minimal (Sadaoui. O, 2015).

Les pieux et les barrettes sont des solutions de fondation fiables et robustes pour les structures lourdes et les sols meubles. Bien qu'ils soient plus coûteux que les semelles filantes, ils offrent une capacité portante élevée et une durabilité accrue. [35]

On peut classer les pieux en deux grandes catégories :

- Pieux battus :

Les pieux battus font partie des techniques de fondations profondes. Ils sont mis en œuvre à l'aide de marteaux à percussion ou à vibration, et adaptés à la profondeur et la résistance requises.

Les pieux battus existent en divers matériaux : bois, béton préfabriqué, acier (pieux en H ou palplanches) et tubes métalliques. Le choix du matériau dépend des caractéristiques du sol et des exigences du projet. Un pré-forage peut être nécessaire dans les sols denses pour faciliter l'installation du pieu à la profondeur souhaitée. Les pieux battus peuvent être utilisés dans leur longueur standard ou assemblés pour atteindre des profondeurs plus importantes.

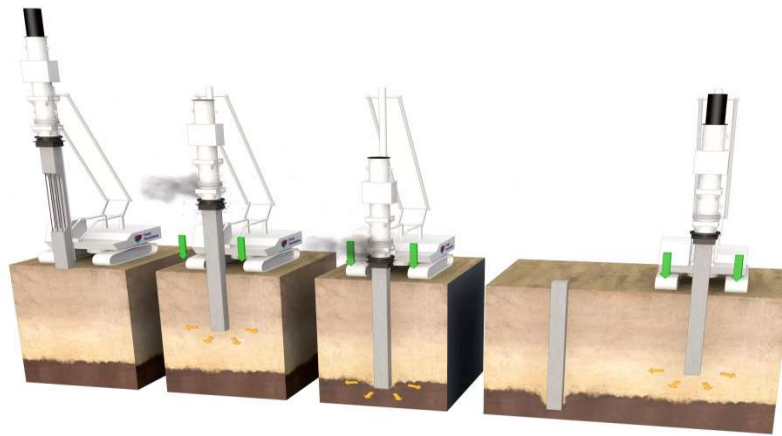


Figure 3.14: Différentes étapes de la réalisation d'un Pieu battu en béton préfabriqué [35]

- Pieux forés:

Les pieux forés tubés constituent une technologie de pointe pour les fondations dans le génie civil et le bâtiment, y compris la stabilisation des terrains. Le tubage en acier, temporaire ou permanent, offre une solution à de nombreux défis techniques.

Le tubage est mis en place par rotation, oscillation ou vibration. Le forage s'effectue ensuite à l'intérieur du tubage à l'aide d'outils spécifiques. Des sections supplémentaires sont ajoutées pour atteindre la profondeur souhaitée. Une armature en acier est ensuite installée dans le forage, suivi du bétonnage par tube plongeur. Les sections tubulaires temporaires sont retirées pendant le bétonnage.

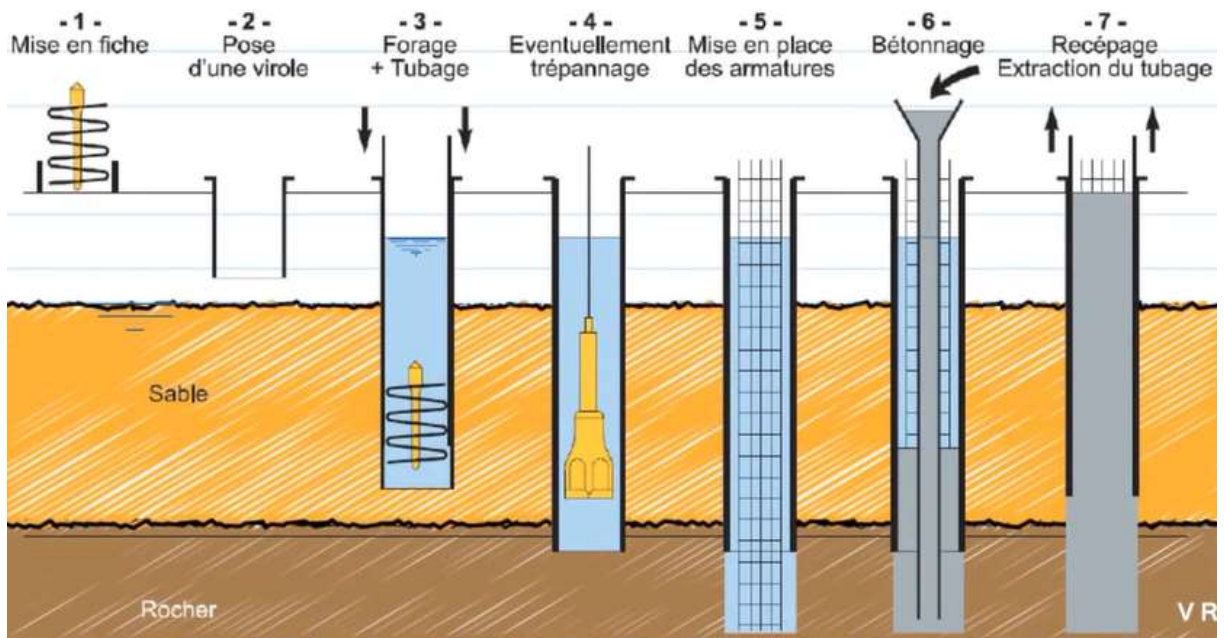


Figure 3.15: Différentes étapes de la réalisation d'un pieu foré [35]

3.2.2.2. Les soutènements :

Les soutènements sont des structures conçues pour retenir et stabiliser les terres, les roches et autres matériaux en vrac. Ils jouent un rôle essentiel dans la prévention des glissements de terrain, des effondrements et des éboulements, garantissant la sécurité des infrastructures et des personnes. [34]

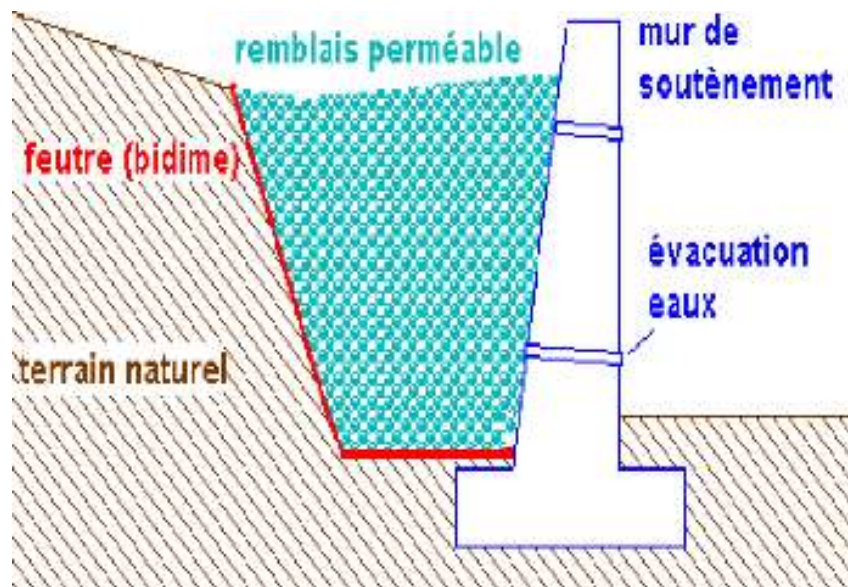


Figure 3.16: Mur de Soutènement [34]

a. Les ouvrages de soutènements 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.

Un ouvrage correctement ancré et capable de résister aux forces exercées est considéré comme fixe. 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).

Un ouvrage de soutènement rigide peut retenir soit des terres en remblai, c'est-à-dire rapportées, soit le terrain en place. Dans ce cas précis, l'ouvrage est qualifié de "soutènement en déblai".

La force de poussée du massif de terre retenu peut être contrecarrée de différentes manières. On distingue trois types de solutions principales :

- la poussée est reprise par le poids de l'ouvrage de soutènement (mur poids en béton ou en maçonnerie et les murs en terre armée).
- la poussée est reprise par encastrement de l'ouvrage de soutènement (le mur cantilever en béton armé et les murs en parois moulées).
- la poussée est reprise par des ancrages. [30]

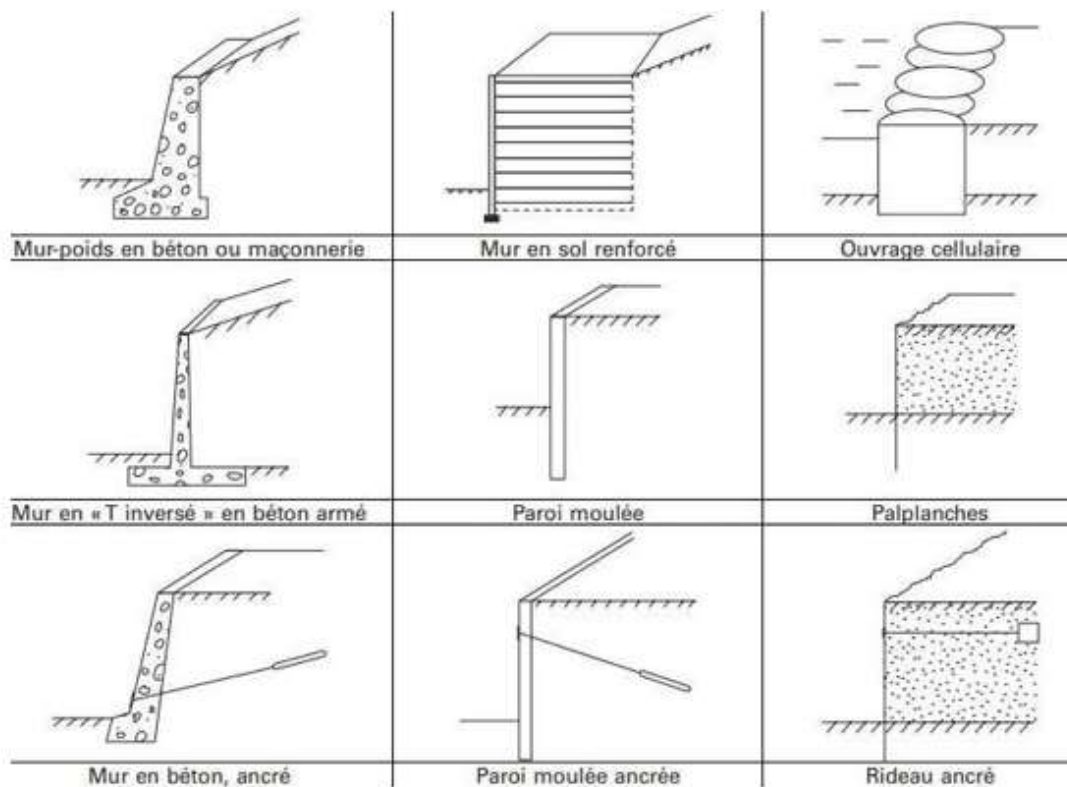


Figure 3.17: Exemple des ouvrages de soutènement [30]

b. Les ouvrages de soutènements souples :

Les ouvrages de soutènements souples sont des structures construites pour retenir et stabiliser les terres et autres matériaux en vrac, tout en s'adaptant aux mouvements du sol. Contrairement aux murs rigides traditionnels, ils acceptent les déformations du terrain sans se fissurer.

Le fonctionnement des ouvrages souples repose sur la friction entre les matériaux et le sol, ainsi que sur la résistance à la traction des armatures. Le dimensionnement se fait en deux phases:

- Stabilité interne: analyse des forces et des déformations au sein de l'ouvrage, en tenant compte des caractéristiques des matériaux et du sol.
- Stabilité externe: vérification de la résistance globale de l'ouvrage aux glissements et aux affouillements. [34]



Figure 3.18: Mur gabion [34]

3.2.2.3. Avantage et inconvénient :

Tableau 3.2: montre quelque avantage et inconvénient de l'approche douce.

Techniques	Avantage	Inconvénient
Géosynthétique	- Bonne résistance à la rupture - Mobilise le frottement du sol	- Possibilité de subsistance de branche et de blocs anguleux qui poinçonnent le géotextile dans le cas des sols grossiers
Tirant d'ancrage	- Bonne prise sur les massifs rocheux	- Sensibilité à la corrosion - Perte de tension dans le temps - Difficulté de mise en œuvre - Fissuration de la gaine de protection en coulis de ciment par mouvement du sol
Pneusol	- Bonne résistance, ne s'endommage pas rapidement - Coût très bas	- Mise en œuvre spécifique et expertise requise - Disponibilité des pneus et variabilité de qualité
Clouage	- Simplicité et rapidité - Les assemblages cloués peuvent être très résistants et durables, surtout si les bons clous et la bonne technique sont utilisés	- Limité aux petits glissements - Déconseillé en terrain meuble - Onéreux et peu efficace
Pieux et Barrette	- Capacité de charge élevée - Durabilité	- Coût élevé - Installation complexe
Soutènement	- Rapidité de mise en place - Coût compétitif - Peu de matériel nécessaire pour la construction	- Sensibilité à la corrosion - Structure non déformable - Déplacements latéraux importants - Sensibilité à l'abrasion
Durcissement	- Résistance au cisaillement augmenté	- Ecoulement de la nappe modifié

3.3. Choix de la méthode de confortement :

Le choix de la technique de confortement d'un glissement de terrain est un processus complexe qui nécessite une analyse approfondie et la prise en compte de divers facteurs. En suivant les étapes décrites et en s'appuyant sur l'expertise de professionnels, il est possible de choisir la solution la plus efficace et durable pour stabiliser le terrain et prévenir de nouveaux glissements.

Nous considérons les trois facteurs suivants comme les facteurs les plus importants qui nous aident à choisir la méthode de confortement et qui sont :

- La résistance : La technique choisie doit simultanément stabiliser la pente et limiter l'accroissement des efforts moteurs et des dangers de glissement.
- La technologie : La méthode de confortement doit être conçue pour une exécution aisée et minimiser les efforts requis pour sa réalisation.
- L'économie : Le coût et la disponibilité sur le marché constituent des facteurs importants dans le choix de la méthode de confortement, en privilégiant les options locales et accessibles.

3.4. Conclusion :

Plusieurs techniques de confortement existent, chacune adaptée à un type de glissement spécifique et prenant en compte sa faisabilité, le risque associé, sa cause et sa solution, comme abordé précédemment dans ce chapitre.

Le choix judicieux d'une méthode de confortement est crucial pour garantir la stabilité des pentes susceptibles de se déplacer et prévenir les risques de pertes humaines et économiques.

Notre étude vise à analyser la stabilité du talus dans notre cas d'étude et à déterminer son facteur de sécurité.

Dans les chapitres suivants nous verrons une présentation de la zone d'étude, la localisation du talus et ses caractéristiques et après une verra une calculation de stabilité par les outils numériques.

Chapitre 04 :
Présentation de la
zone d'étude et le
glissement

4.1. Introduction :

Les mouvements de terrain représentent une problématique récurrente dans les projets routiers impliquant des zones montagneuses, comme celle que nous étudions ici, où la route traverse une région montagneuse à l'ouest de la ville de Ghazaouet.

Pour analyser et évaluer la stabilité du talus traversé, il faut qu'on passe par la caractérisation topographique, géologique, hydrogéologique et géotechnique de terrain.

Ce chapitre de notre mémoire de fin d'études inclut :

- Une brève présentation du projet

- Les caractéristiques principales du site et du terrain

- Les essais réalisés sur le site et les résultats obtenus

- Les types de mouvements susceptibles en fonction de la formation géologique rencontrée.

4.2. Présentation de la liaison routière :

Le projet est une rocade côtière en 2 voies reliant la ville de Ghazaouet à Marsat Ben M'hidi. Il s'étend sur 58 km. Cette rocade, qui a le caractère d'une route nationale, verra la modernisation et la réhabilitation de la route déjà existante entre ces deux villes côtières, où un nouveau tronçon long de 16 km sera réalisé entre les communes de Dar Bentata et Tienet, la première tranche de ce tronçon relie la route nationale 98 à la route national 99 (qui tient notre cas d'étude de glissement de terrain) **Figure4.1**. La deuxième tranche qui relie la route national 99 à tienet.



Figure 4.1: 1^{ère} tranche entre RN98 et RN99 (Google earth)

4.3. Présentation du sujet d'étude:

4.3.1. Géographique :

Le site de glissement est situé au niveau de la rocade côtière PK 001+00 au PK 001+500 Ghazaouet.

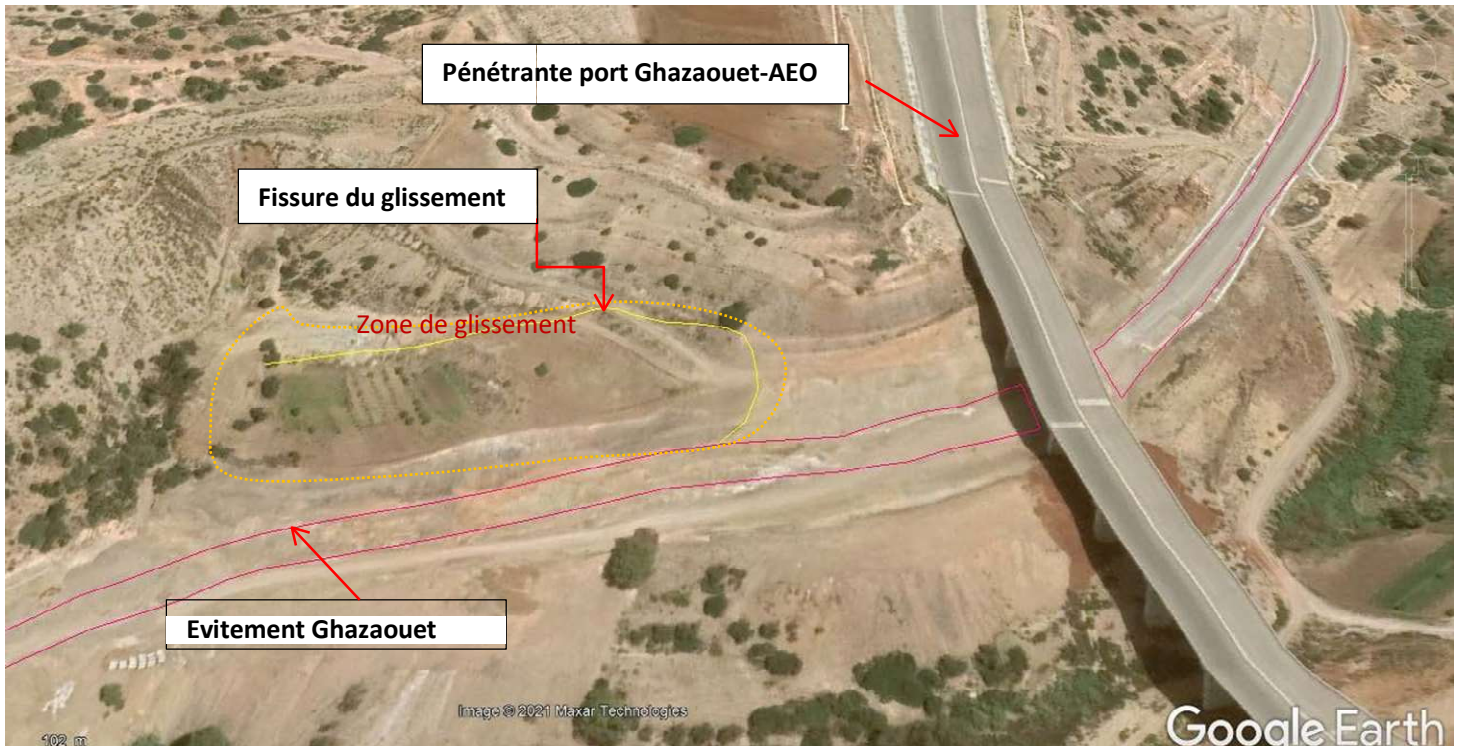


Figure 4.2: Photos de localisation de site [20]

4.3.2. Topographique :

La carte topographique (figure 4.3) et le profil de dénivelé montre que le glissement en question est localisé sur un versant qui présente une topographie accentuée avec une pente maximale de 35% avec une pente moyenne de 26.4 % et des altitudes extrêmes de :

- 236m au Côté amant du versant,
- 188 m au Côté oued en pied du versant,

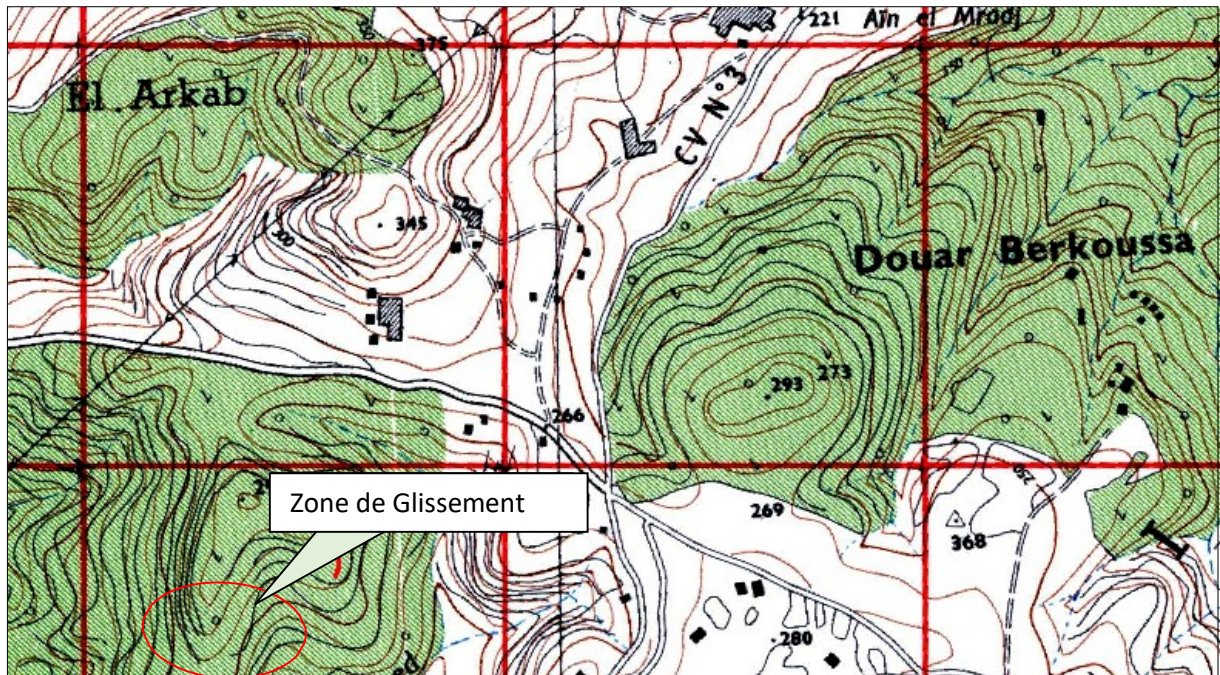


Figure4.3 : Localisation du site de glissement sur la carte topographique Tlemcen au 1 /25 000eme [20]



Figure 4.4: Localisation du point de glissement sur image satellitaire [20]

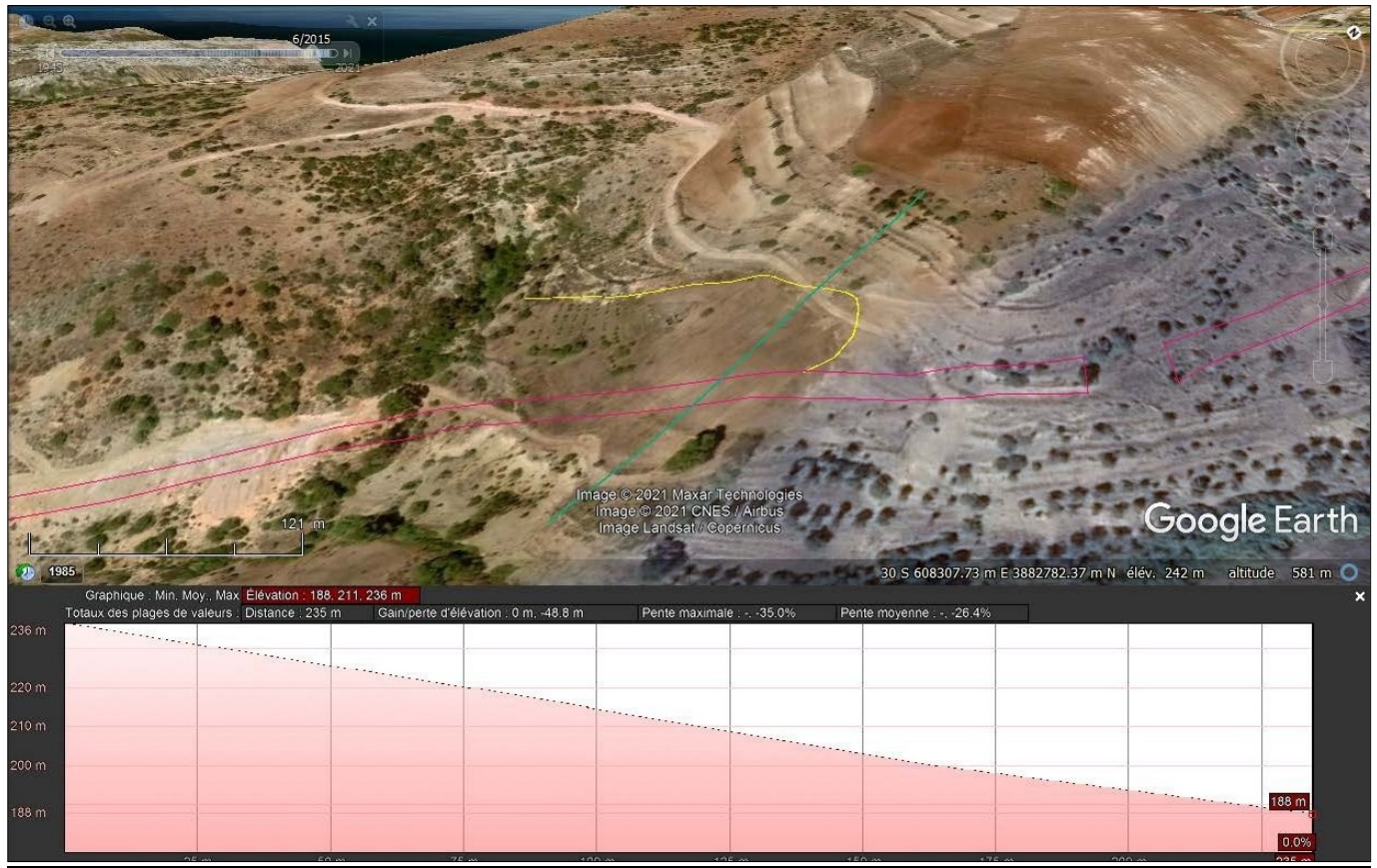
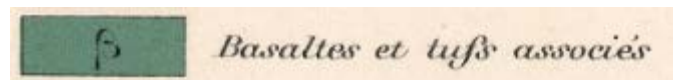


Figure 4.5: Profil en dénivelé présente la topographie du versant de la zone de glissement [20]

4.3.3. Contexte Géologique :

D'après la superposition des Cartes géologiques du nord d'Algérie échelle 1/500000, la région à laquelle appartient le terrain, objet de l'étude, englobe les formations suivantes :

- β : Basaltes et tufs associés



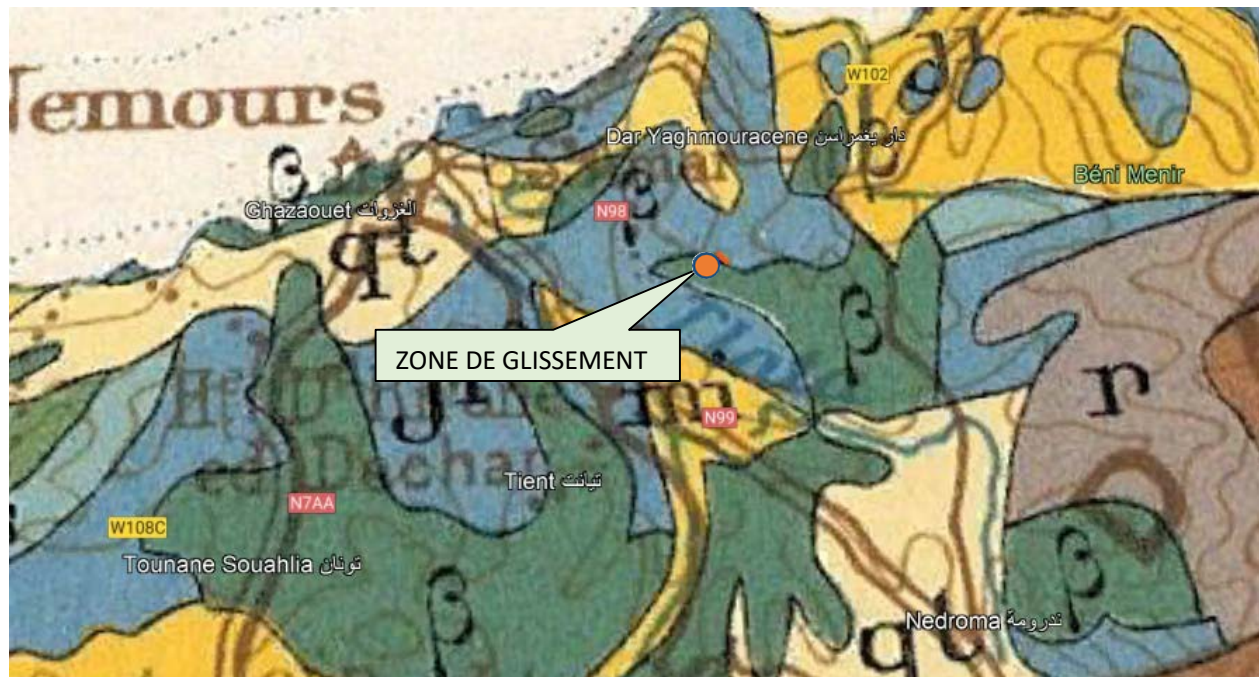
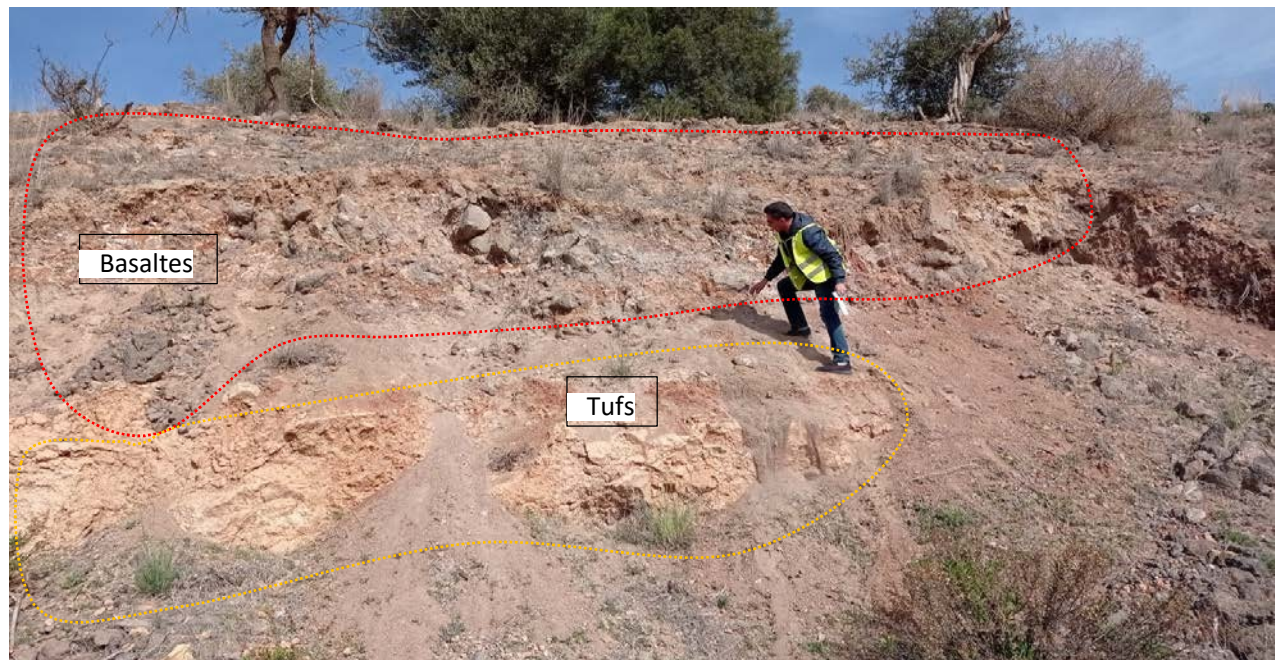


Figure 4.6 : Extrait de la Carte géologique de Nord Oran au 1/500000 [20]



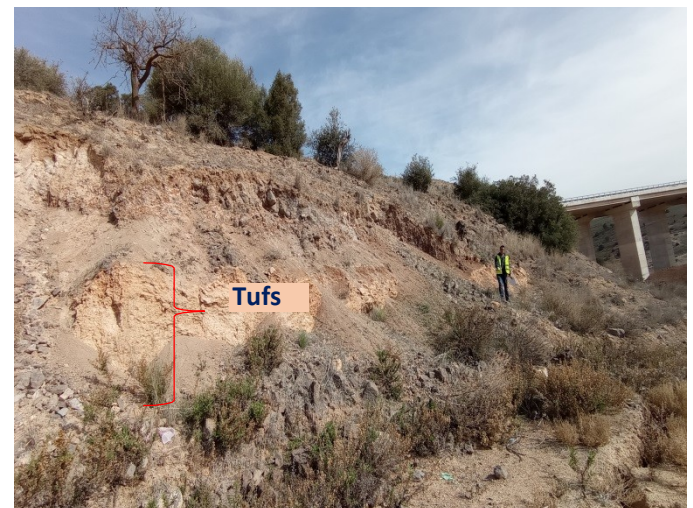
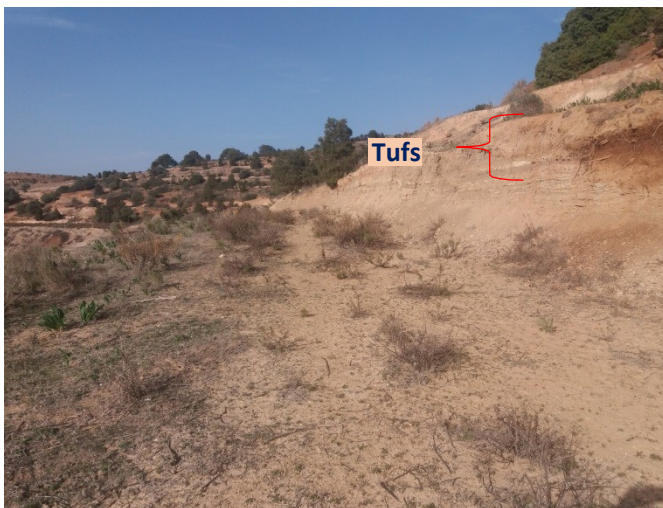
Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

L'examen visuel détaillé de la géologie locale, permet de signaler l'existence des unités lithologiques suivante :

a) Des basaltes.



b) Des tufs



c) Des argiles et marnes



4.3.4. Aperçu Climatologique et Hydrologique :

Le climat de Ghazaouet est dit tempéré. La température moyenne annuelle à Ghazaouet est de 17,6°C. Les précipitations moyennes annuelles atteignent 374 mm, avec des chiffres contrastés tout au long de l'année. Par exemple, le mois de juillet enregistre seulement 1 mm de précipitations, tandis que décembre connaît une moyenne de 56 mm, le plaçant comme le mois le plus pluvieux. En termes de température, août est le mois le plus chaud, avec une moyenne de 24,5°C, tandis que janvier est le plus froid, avec une température moyenne de 11,7°C. Ces variations saisonnières influencent divers aspects de la vie locale et des activités économiques.

Le caractère montagneux et escarpé de cette région, facilite les ruissellements pendant les périodes pluvieuses. [18]

4.3.5. Sismologie de la zone d'étude :

D'après le règlement parasismique algérien (RPA 99 / version 2003), la wilaya de Tlemcen est classée zone « I » c'est-à-dire zone à sismicité faible. Le document technique réglementaire subdivise le territoire algérien en cinq (05) zones de sismicité croissante :

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone I : Sismicité faible
- Zone II a et II b : Sismicité moyenne
- Zone III : Sismicité élevée

Le niveau de protection sismique minimal attribué à une structure dépend de sa localisation et de son importance par rapport aux objectifs définis par la société. Tout ouvrage relevant du champ d'application des normes parasismiques algériennes doit être classifié dans l'un des quatre groupes établis ci après

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

- 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.

Les coefficients d'accélération (A) à prendre en considération dans les calculs selon le type de l'ouvrage sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 4.1: Coefficients d'accélération de zone, [19]

Groupe	ZONE			
	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

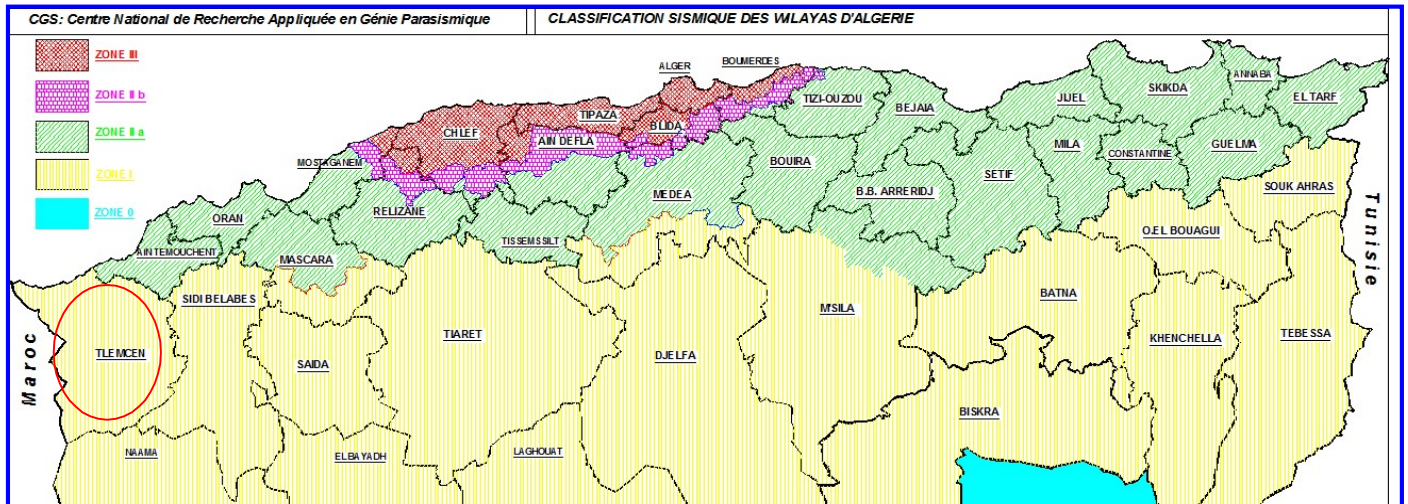


Figure 4.7: Carte de zonage sismique du territoire national –RPA99 [19]

4.4. Diagnostic de glissement :

4.4.1. Historique et description du glissement :

La zone jugée instable s'étale sur une longueur d'environ 200 m (dans le sens parallèle à l'axe de la route) et une largeur d'environ 65m (perpendiculaire à l'axe) s'occupant une superficie de 7500m²; le glissement affecte le talus en déblais; ce glissement est détecté lors des travaux de déblaiement le mois de mars 2021 par l'apparition d'une fissure au niveau de talus par une fissure d'ordre centimétriques débutant au pied du talus jusqu'au haut du talus et s'étalent jusqu'au talus amont sur un linéaire de 100m, d'où les travaux sont arrêter au niveau de la section du glissement (voir figures ci-après), [20]



Figure 4.8 : trajectoire de la fissuration en 03/2021 localisé sur Google Earth [20]



Figure 4.9: début de fissuration au niveau de tête et le long du pied de talus amont [20]

Plus tard l'entreprise SEROR a repris les travaux sur cette section; le glissement montre une évolution sur une superficie de 7500 m² (la continuité de l'ancienne fissure) définie par une fissure d'ouverture remarquable de l'ordre de 20 cm le mois de janvier 2022 ainsi d'autres fissures reparties le long du talus (voir figures ci-après).

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

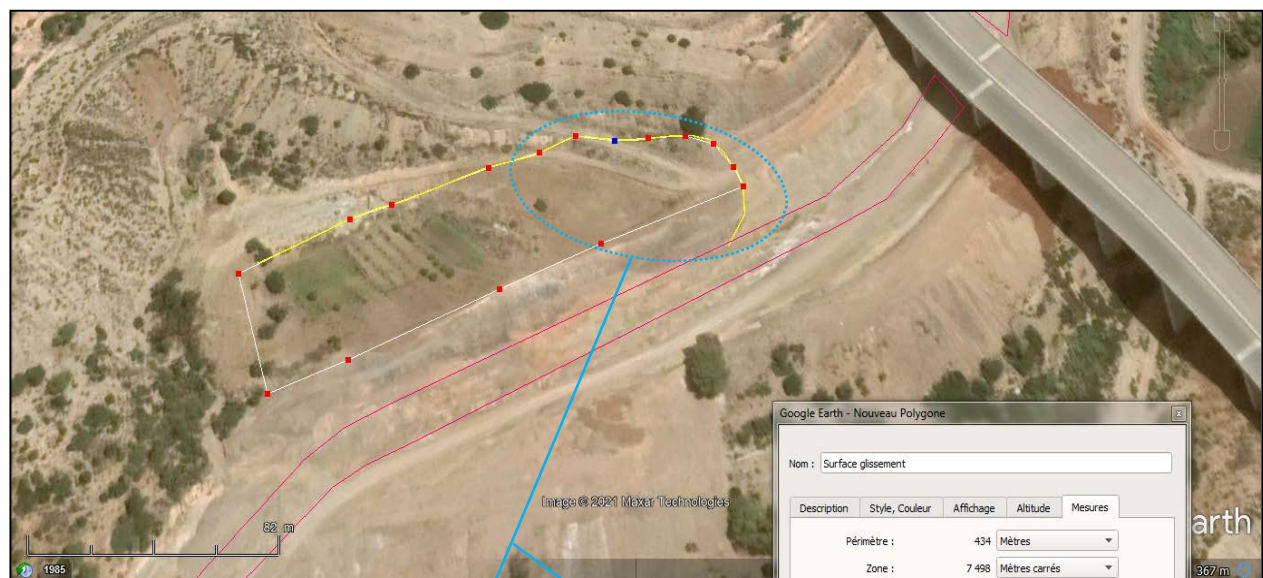


Figure 4.10: périmètre de la fissuration en 02/2022 localisé sur Google Earth [20]

4.4.2. Facteurs déclencheurs du mouvement:

La société d'études techniques de Setif qui est le responsable de faire l'étude de ce glissement. Elle a constaté après avoir procédé à la récolte des données et les visites de site que ce site est le sujet d'un ancien glissement plan qui s'est stabilisé auparavant, lors de réalisation des travaux de déblaiement avec une hauteur remarquable ($h \geq 12\text{m}$). le glissement présente des mouvements matérialisé par des lignes de rupture qui laisse apparaître des fissures centimétrique sur un linéaire de 100m, au fur et à mesure des travaux de déblaiement en masse ces fissures deviennent importante (d'ordre décimétriques), son évolution au niveau du talus amont et une fissure perpendiculaire à l'axe de la route ainsi d'autres fissures à la fin de la section en déblai débutant de la plateforme jusqu'à la première banquette et d'autres qui contourne la zone de glissement. Les causes probables de ce glissement sont liées essentiellement à la combinaison entre la morphologie du terrain et les actions anthropiques. [20]

Dans ce qui suit nous allons clarifier chacune des facteurs :

4.4.2.1. Facteurs morphologiques :

a. La topographie du terrain :

Le terrain est caractérisé par une forte pente vers Nord-Est/Sud-Ouest, la topographie du terrain présente un versant avec une pente favorisant le glissement vu la densité importante des terrains en amont (des basaltes) qui repose sur des terrains de nature argileux.



Figure 4.11: Profil en dénivelé présente la topographie du versant de la zone de glissement [20]

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

b. La presence d'eau:

La stagnation des eaux en pied de talus et les fissures localisées au niveau de cette zone, constituent un cheminement préférentiel des eaux. Ils laissent apparaître des plans de cisaillement vu la différence des densités des terrains en place (des marnes et argiles surmonté par des basaltes) ainsi l'érosion des formations de surface. [20]



c. La géologie du site:

D'après la carte géologique ainsi les visites de site ils ont constaté la présence de formation rocheuse de nature magmatique dense (des basaltes) qui repose sur des formations (des marnes et argiles) de densité faible avec la présence de l'eau ce qui facilite le déclenchement du glissement. [20]



4.4.2.2. Facteurs anthropiques :

Les facteurs d'origine anthropique sont généralement les suites de travaux d'aménagement : surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice. [20]

a. L'augmentation des charges en tête de talus comme la mise en place des dépôts :

L'examen des photos aériennes, même récentes de la région a permis d'observation intéressante, et que la tête de talus en question a été chargée par les dépôts des travaux de terrassements de la pénétrante port Ghazaouet –autoroute Est Ouest (voir figures).



Figure 4.12 : Talus non chargé (Google Earth) [20]



Figure 4.13 : Talus chargé en 2017 (Google Earth) [20]

b. Suppression de la butée stabilisatrice :

Les travaux de terrassements pour cette section ont permis de supprimer la butée stabilisatrice de talus et ont provoqué une instabilité.



Figure 4.14 : Butée stabilisatrice en place 2017 [20]

4.5. Programme d'investigation :

La programmation des essais de reconnaissance, établie par le BET SET-SETIF comporte la réalisation de :

- Trois sondage carottés, à savoir SC1, SC2, de 30m de profondeur chacun et SC3 de 20m de profondeur, ainsi un sondage préssiométrique PMT1 de 20m de profondeur et un sondage destructif SD1 de 20m ; soit en tout cinq sondages.
- Installation des tubes piézométrique au niveau des sondages SC1 et SC3 pour des lectures périodique du niveau d'eau.
- Installation des tubes pour inclinomètre au niveau des sondages SD1 et SC3 pour les lectures d'inclinomètre.
- Des essais préssiométriques ont été réalisés au niveau du sondage PMT1.

4.6. Résultats et interprétations:

4.6.1. Description géologique des sondages carottés et préssiométrique:

Sondage SC1 : 0.00-0.30m : terre végétale; **0.30-11.40m** : argile marron peu sableuse et graveleuse mi-raide, **11,40-11,90m** : roche noirâtre poreuse d'origine volcanique ; **11,40-28,90m** : argile marron mi-raide, pâteuse par endroit, peu sableuse et graveleuse devenant indurée par endroits avec un passage de sable fin grisâtre entre 27,00 et 28,00m; **28,90-30,00m** : marne grisâtre indurée a aspect schisteux.

Sondage SC2 : 0.00-1.50m : terre végétale; **1.50-14.50m** : argile marron pâteuse concrétionnaire à partir de 9,30m et des conglomérats de calcaire entre 11,00 à 11,50m ; **14,50-23,10m** : roche volcanique noirâtre poreuse fragmente un peu compact à partir de 17,80m ; **23,10m-30,00m** : marne beige mi-raide devenant grisâtre sableuse à partir de 26,80m.

Sondage SC3_ : 0.00-0.20m : remblai graveleux; **0.20-14.50m**: argile marron peu sableuse à pâteuse et indurée entre 7.00 à 7.70m, devenant marneuse graveleuse de couleur grisâtre à partir de 13,00m; **14,50-20,00m** : marne grisâtre mi-raide indurée a un aspect schisteux.

Sondage PMT1 : 0.00-0.50m : remblai sableux ; **0.50-10.65m** : argile marron mi-raide avec quelques conglomérats par endroit; **10,65-13,50m** : calcaire dolomitique grisâtre fragmente; **13,50-18,70m** : argile marron graveleuse devenant grisâtre à partir de 14,00m; **18,70-20,50**: calcaire dolomitique grisâtre fragmente avec une fine passée d'argile grisâtre entre 19,50-19,90m

Sondage SD1: est un sondage destructif, sans récupération d'échantillon pour une description géologique.

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

Tableau 4.2: récapitulatif des essais de laboratoire (Sondage SC1) [21]

Reference Sondage	Profondeur (m)	Paramètres physiques				Limite d'Atterberg		Analyse granulométrique			cisaillement à la boîte				Rc	Gonf .libre	Essai chimique		
		W(%)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$	Sr(%)	WL(%)	IP(%)	<2mm	<80 μ	<2 μ (%)	Cu (bars)	ϕ_u (°)	C' (bars)	ϕ' (°)	(bars)	Pg(bars)	CaCO3 (%)	VBS	S04 (Mg/Kg)
SCI	06,30- 06,60	17,26	1,79	2,10	95,20	47	24	99	86		0,89	11,31					21,63	1,16	822,80
SCI	09,60-09,90	25,33	1,55	1,94	94,58	90	59	97	86		0,27	17,61					5	1,63	411,40
SCI	16,70-17,00	14,66	1,88	2,16	94,85	53	28	76	47		0,18	19,01						1,04	
SC1	22,00-22,30	21,97	1,62	1,98	91,57	57	36	53	42		0,15	1,87						0,40	

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

Tableau 4.3: récapitulatif des essais de laboratoire (Sondage SC2) [21]

Reference Sondage	Profondeur (m)	Paramètres physiques				Limite d'Atterberg		Analyse granulométrique			cisaillement à la boîte				Rc	Gonf .libre	Essai chimique		
		W(%)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$	Sr(%)	WL(%)	IP(%)	<2mm	<80 μ	<2 μ (%)	Cu (bars)	ϕ_u (°)	Cd (bars)	ϕ_d (°)	(bars)	Pg(bars)	CaCO3 (%)	VBS	SO ₄ (Mg/Kg)
SC2	04,30- 04,70	22,43	1,61	1,97	92,02	57	27	89	75		0,31	13,96	0,24	25				1,56	
SC2	09,40-09,90	23,19	1,61	1,98	95,13	59	27	90	81		0,33	35,11	0,74	25,95				1,07	
SC2	14,00-14,40	28,63	1,50	1,93	98,96	71	40	79	65		0,18	22,81						1,31	
SC2	25,20-25,50	16,06	1,82	2,11	93,32	45	20	100	100		0,16	28,28	1,8	10,2			7,25	2,70	411,40
SC2	14,50-23,10		2,65	2,70															

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

Tableau 4.4: récapitulatif des essais de laboratoire (Sondage SC3) [21]

Reference Sondage	Profondeur (m)	Paramètres physiques				Limite d'Atterberg		Analyse granulométrique			cisaillement à la boîte				Rc	Gonf .libre	Essai chimique		
		W(%)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$	Sr(%)	WL(%)	IP(%)	<2mm	<80 μ	<2 μ (%)	Cu (bars)	ϕ_u (°)	C' (bars)	ϕ' (°)	(bars)	Pg(bars)	CaCO3 (%)	VBS	S04 (Mg/Kg)
SC3	02,60- 03,00	20,96	1,65	1,99	91,65	45	21	90	71		0,77	9,01	0,20	26,18			9,66	1,60	164,56
SC3	07,70-08,00	17,00	1,77	2,07	90,61	41	20	82	52		0,44	23,48					8,86	0,79	Nul
SC3	9,00-9,35	20,39	1,49	1,79	69,41	45	23	96	79		0,32	23,48	0,65	33,29			6,04	1,04	Nul
SC3	15,20-15,80	1,88	2,48	2,48															

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

4.6.2. Essais pressiométriques :

Les essais pressiométriques ont été exécutés au droit du sondage PMT1 à raison d'un essai chaque 1m environ; les essais réalisés dans le cadre de cette étude ont conduit aux résultats qui figurent dans le tableau suivant :

Tableau 4.5: récapitulation des résultats des essais pressiométriques. [21]

Informations sur l'essai				Parametres fondamentaux		
forage	N° essais	Profondeur(m)	Formation	Pl(MPa)	Pl*(MPa)	E(MPa)
PMT1	1	1,00	Argile	0.96	0.95	23.3
	2	2,00		1.94	1.93	138.9
	3	3,00		3.91	3.88	140.4
	4	4,00		1.15	1.12	33.1
	5	5,00		1.47	1.42	62.2
	6	6,00		3.25	3.20	129.3
	7	7,00		3.48	3.41	160.3
	8	8,00		3.98	3.91	2201.8
	9	9,00		2.77	2.69	91.8
	10	10,00		0.87	0.78	71.7
	11	11,00	Calcaire	4.10	4.00	739.4
	12	12,00		4.13	4.02	1546.5
	13	13,00		4.16	4.04	1150.6
	14	14,00	Argile	4.15	4.03	948.4
	15	15,00		1.95	1.81	54.1
	16	16,00		2.24	2.10	46.9
	17	17,00		2.75	2.60	128.5
	18	18,00		1.98	1.82	47.7
	19	19,00	Calcaire	4.22	4.05	676.2
	20	20,00		4.21	4.03	858.1

Avec:

- **Pl:** Pression limite.
- **Pl*:** Pression limite nette.
- **E:** Module pressiométriques.

4.7. Essais Géotechniques de laboratoire:

Les essais géotechniques d'identification et géomécaniques de laboratoire ont été réalisés sur les échantillons intacts et remaniés prélevés des différentes profondeurs des sondages carottés.

4.7.1. Essais physiques:

❖ Granulometrie:

La granulométrie montre que le sol a différentes texture, à savoir argilo-limono-sablo-graveleuse, à sablo-argilo-limono-graveleuse parfois sablo-gravelo-limono-argileuse.

❖ Limite d'Atterberg:

L'indice de plasticité IP de l'échantillon ciblé est de :

$20 \leq IP \leq 59\%$; $41 \leq WL \leq 90\%$ → sol a plasticité moyenne à très élevée.

❖ Densité:

Le poids volumique sec γ_d et poids volumique humide γ_h :

$1,49 \leq \gamma_d \leq 1,88 \text{ t/m}^3$; $1,79 \leq \gamma_h \leq 2,16 \text{ t/m}^3$ → Sol lâche a très dense.

❖ L'imbibition:

Teneur en eau naturelle W% et degrés de saturation SR%:

$15 \leq W\% \leq 29\%$; $69 \leq SR\% \leq 99\%$ → Sol saturé.

4.7.2. Essai mécanique:

❖ Essai de cisaillement rectiligne:

Afin d'estimer les caractéristiques mécaniques des argiles en place, des essais de cisaillement rectiligne à la boîte de CASAGRANDE, de type «non consolidé non-drainé, U.U», et « consolidé drainé, CD» ; les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-après:

Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude et le glissement

Tableau 4.6: récapitulation des résultats des essais de cisaillement. [21]

N° Sondage	Profondeur (m)	Cohesion "C" (kPa)	Angle de frottement interne Ø (degré)	Type d'essai
SC1	6.30-6.90	89	11	UU
	9.60-0.90	27	18	UU
	16.70-17.00	18	19	UU
	22.00-22.30	15	2	UU
SC2	4.30-4.70	31	14	UU
		24	26	CD
	9.40-9.90	33	35	UU
		74	26	CD
	14.00-14.40	18	23	UU
		-	-	CD
	25.20-25.50	16	28	UU
		180	10	CD
SC3	2.60-3.00	77	9	UU
		20	26	CD
	7.70-8.00	44	23	UU
		-	-	CD
	9.00-9.35	32	23	UU
		65	33	CD

Les couples des valeurs (C;Ø), obtenus confèrent aux échantillons testés des caractéristiques mécaniques à court terme et long terme, et peuvent s'apparenter avec la nature physique des échantillons analysés, aux droits des sondages carottés.

4.7.3. Essais chimiques:

❖ Teneur en Carbonate:

La teneur en carbonate CaCO_3 est de 5 à 22% → confirme que c'est une formation d'argile.

❖ Valeur de bleu de méthylène:

L'essai au bleu de méthylène est utilisé pour caractériser l'activité des sols argileux, en complément de la détermination des limites d'Atterberg, avec $V_b = 0,4$ à $2,7$; les valeurs de bleu montrent que cette formation est peu sensible à l'eau.

❖ Essai de teneur en Sulfate:

La teneur en sulfate et chlorure sur les échantillons prélevés sont: $\text{SO}_4^{2-} = 822,8 \text{ mg/Kg}$. Selon la norme NA 16002 (2016) la classe d'agressivité du sol analysé est de classe (sol faiblement agressif).

Chapitre 05 :
Calcul de la stabilité
par PLAXIS D2 V8.2 et
TALREN V5

5.1. Introduction :

La modélisation numérique est un outil efficace qui a connu un développement constant depuis des années. Aujourd'hui, la modélisation intervient dans les domaines sans exception.

L'analyse de stabilité a pour but de déterminer les coefficients de sécurité des cercles de glissements les plus probables.

Dans ce chapitre on doit étudier la stabilité du site déjà présenté en chapitre précédent, le calcul se fait d'une manière automatique en utilisant les deux logiciels PLAXIS D2 V8.2 et TALREN V5, l'un basé sur les méthodes d'équilibre limite (TALREN) et l'autre basé sur la méthode des éléments finis MEF (PLAXIS).

5.2. Présentation des deux logiciels utilisés :

5.2.1. Le logiciel PLAXIS version 8.2 :

PLAXIS 2D se présente comme un outil de simulation numérique 2D performant et intuitif dédié à l'analyse de la déformation et de la stabilité dans les domaines de l'ingénierie géotechnique et de la mécanique des roches. Son adoption par des sociétés d'ingénierie et des institutions de premier plan à travers le monde témoigne de sa fiabilité et de son efficacité dans le secteur du génie civil et géotechnique.

PLAXIS 2D s'adapte à une large variété de projets, allant des excavations et remblais aux fondations, en passant par la géomécanique des tunnels ... Sa force réside dans sa large gamme de fonctionnalités avancées qui permettent de modéliser un grand nombre de problèmes géotechniques à partir d'une seule plateforme logicielle intégrée. L'interface utilisateur de PLAXIS 2D est structurée en quatre modules distincts : Input, Calculation, Output et Curve, facilitant ainsi la création, l'exécution et l'analyse des simulations. [24]

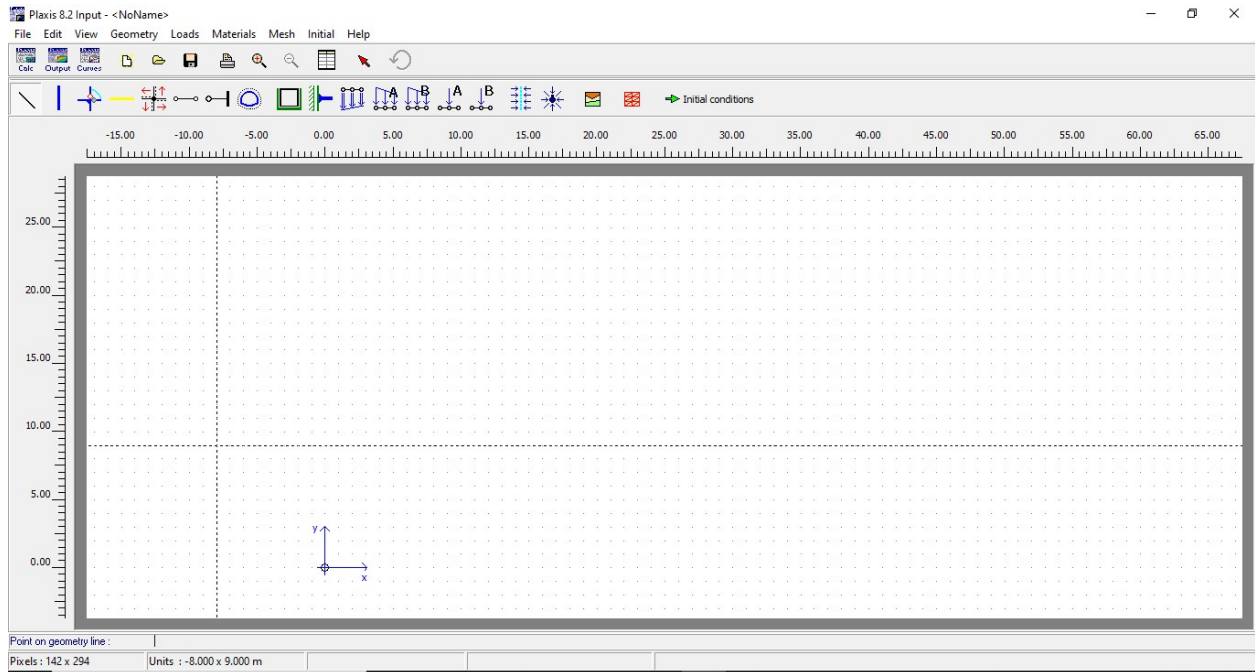


Figure 5.1 : Fenêtre d'entrée des données de PLAXIS

1. Module d'entrée (Input):

Ce module centralise toutes les fonctionnalités nécessaires à la création et à la modification du modèle géométrique, à la génération du maillage d'éléments finis et à la définition des conditions initiales du problème.

2. Module de calcul (Calculations):

Ce module offre un environnement complet pour la configuration et l'exécution des calculs par la méthode des éléments finis. L'utilisateur sélectionne le projet à analyser et définit les paramètres de calcul.

3. Module de résultats (Output):

Ce module permet de visualiser et d'analyser les résultats des simulations, y compris les données générées et les résultats des calculs d'éléments finis. L'utilisateur choisit le modèle, la phase de calcul et le pas de temps pour afficher les résultats souhaités.

4. Module de courbes (Curves):

Ce module offre des outils pour générer différents types de courbes, tels que les courbes charges-déplacements, les chemins de contrainte et les courbes contraintes-déformations, facilitant ainsi l'interprétation et la comparaison des résultats.

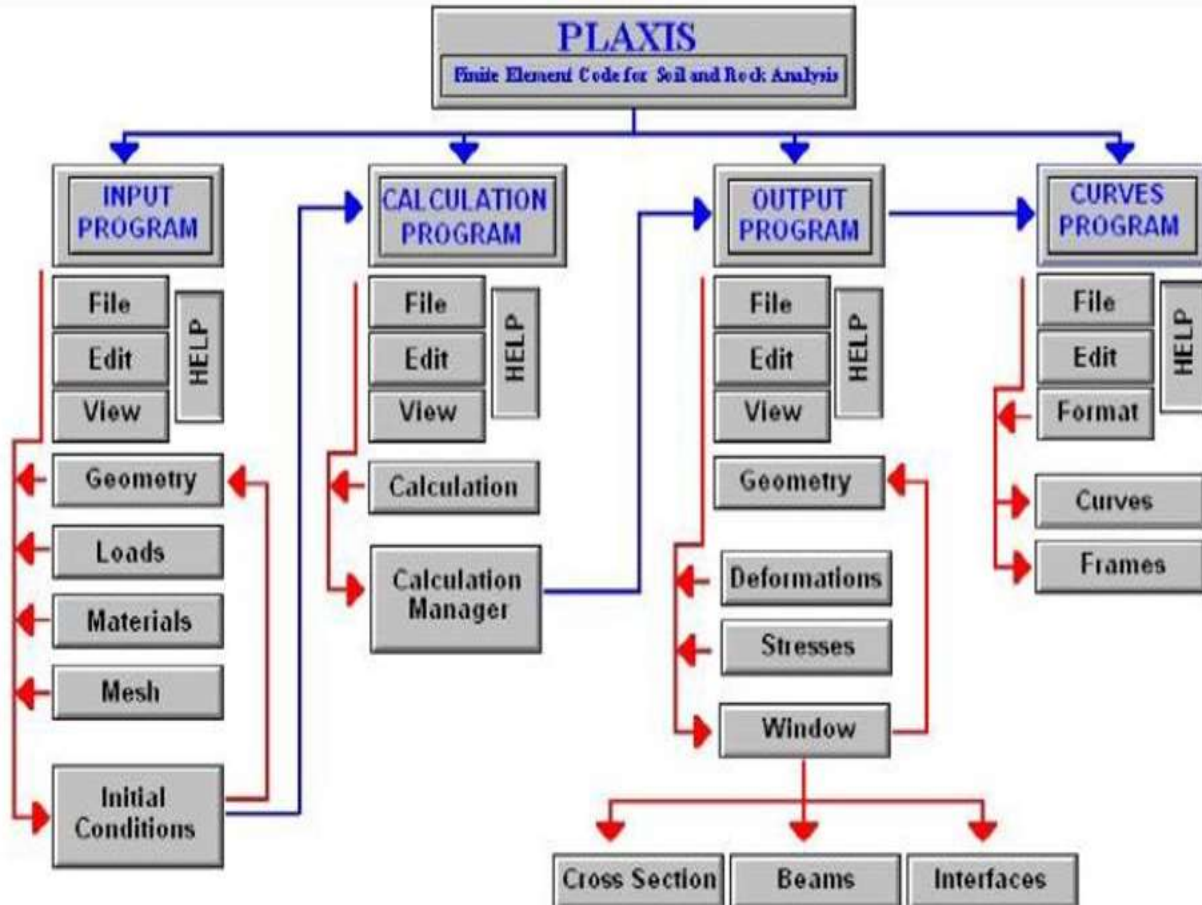


Figure 5.2: Organigramme du code PLAXIS [24]

➤ Le model de comportements utilisés par PLAXIS :

PLAXIS nous permet de traiter rapidement de vrais problèmes géotechniques; Les paramètres du sol utilisés dans le modèle sont déterminés grâce à une étude géotechnique. [24]

Les différents modèles utilisés dans notre calcul par PLAXIS sont :

- Le modèle de Mohr-Coulomb (MC) :

Le modèle de Mohr-Coulomb représente un comportement parfaitement élastique sans durcissement, elle est généralement utilisée comme première approximation du comportement du sol. Les données nécessaires à ce modèle sont :

Le module de Young (E);

Le coefficient de Poisson (ν),

La cohésion (C');

L'angle de frottement (Φ'),

L'angle de dilataance (Ψ).

Mohr-Coulomb - <NoName>

General Parameters Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 0.000 kN/m²

ν (nu) : 0.000

Strength

c_{ref} : 0.000 kN/m²

ϕ (phi) : 0.000 °

ψ (psi) : 0.000 °

Alternatives

G_{ref} : 0.000 kN/m²

E_{oed} : 0.000 kN/m²

Velocities

V_s : N/A m/s

V_p : N/A m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Figure 5.3: fenêtre des paramètres de Mohr-Coulomb

- Le modèle élastique linéaire :

Le modèle élastique linéaire utilisé dans PLAXIS est un modèle classique, représentant la loi de Hooke ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) liée à l'élasticité isotrope linéaire. Les données à saisir sont :

Les paramètres de rigidité élastique.

Le module de Young (E) et le coefficient de Poisson ν . [24]

5.2.2. Le logiciel TALREN version 5 :

TALREN est un logiciel développé en France par la société TERRASOL. Il est dédié à l'analyse de la stabilité des pentes avec ou sans renforcement. Il permet d'étudier : les pentes naturelles ; les talus artificiels (déblais et remblais) ; les digues en terre., avec prise en compte de différents types de renforcement, tirants précontraintes, clous, pieux et micro pieux, géotextiles, palplanches ou parois moulées. [23]

Les données principales que TALREN peut prendre en compte :

- La géométrie.
- Les caractéristiques de sol : données obligatoires : γ , ϕ , C.

- Les surcharges.
- Les renforcements.
- Les conditions hydrauliques.
- Les accélérations sismiques (horizontale et verticale).
- Les coefficients partiels (calculs aux ELU par la prise en compte de coefficients partiels de sécurité / pondération).
- Les options de calcul (méthode des tranches : Fellenius, Bishop. méthode globale : perturbations méthode de calcul à la rupture).

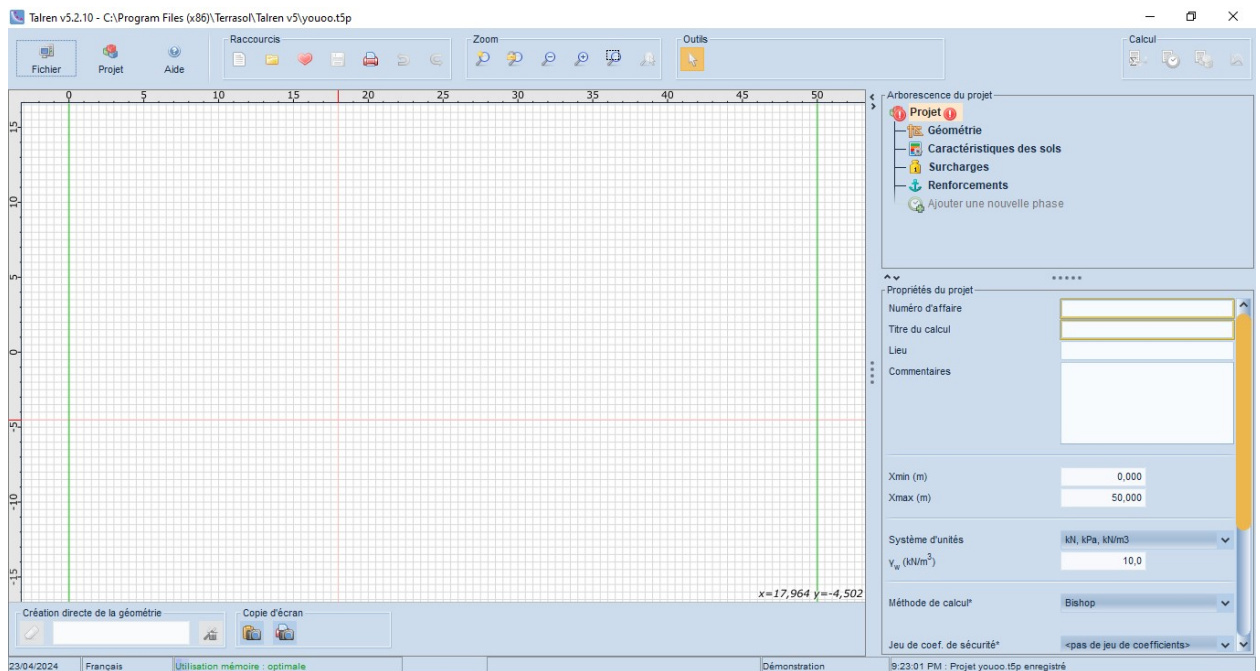


Figure 5.4: Fenêtre d'entrée des données de TALREN

❖ Démarche générale d'utilisation de logiciel:

Le logiciel est divisé en deux principaux modes : le mode "Données" et le mode "Phasage/calculs". La procédure habituelle d'utilisation du logiciel est la suivante :

- A l'ouverture du logiciel: le mode actif est le mode "Données";
- La création d'un nouveau fichier projet ou ouverture d'un fichier projet existant;
- La définition ou modification des données générales (ou éventuellement aucune modification dans le cas d'un fichier existant) ;
- Basculement en mode "Phasage/Calculs" a l'aide du bouton de la barre de boutons contextuelle prévu a cet effet ;
- La première phase est générée par défaut: l'utilisateur définit ou modifiées paramètres si nécessaire ;

- La première situation est générée par défaut : l'utilisateur définit ses paramètres ou modifie ses paramètres si nécessaire ;
- La création si nécessaire d'autres situations pour la première phase, grâce aux boutons de la barre de boutons contextuelle ou aux options du menu "Phases et situations" ;
- Création si nécessaire d'autres phases, grâce aux boutons de la barre de boutons contextuelle ou aux options du menu "Phases et situations" ;
- Les calculs peuvent être lancés soit au fur et à mesure des situations, soit pour toutes les situations d'une phase, soit pour toutes les situations de toutes les phases: Le calcul peut être initié soit à partir des trois options de calcul du menu "Calculs et résultats", soit à partir des trois boutons de calcul de la barre de boutons contextuelle.
- La visualisation des différents types de résultats soit sur le dessin, soit sous forme de tableaux de résultats. [23]

❖ La procédure de calcul de TALREN 5 :

Talren 5 offre la possibilité d'analyser des projets dans leur globalité, incluant la planification de l'exécution, plutôt que de se limiter aux simples coupes. Cela signifie que la gestion du déroulement des différentes phases est intégrée au logiciel, à partir d'une coupe initiale contenant tous les éléments nécessaires au phasage, tels que les lignes géométriques, les caractéristiques des sols, les surcharges et les renforcements. Il est possible de définir dans le même fichier plusieurs phases ou situations d'exécution successive (chaque phase ou situation correspondant à une coupe du projet). Où on peut voir des modifications de donnée, tout dépend de notre cas de calcul. [22]

- Modification de certaines caractéristiques de sols.
- Activation/désactivation d'élément de sols, surcharges, ou renforcements.
- Modification des conditions hydrauliques.

Il n'est donc plus nécessaire de créer plusieurs fichiers pour étudier les phases successives d'un même projet.

Voici les méthodes de calcul utilisées par le logiciel TALREN :

- La méthode de Bishop.
- La méthode de Fellenius.
- La méthode des perturbations.
- La méthode du calcul à la rupture.

5.3. Caractéristiques du modèle d'étude:

La modélisation est faite par les deux logiciels PLAXIS et TALREN l'un basé sur les méthodes d'équilibre limite (TALREN) et l'autre basé sur la méthode des éléments finis MEF (PLAXIS). L'objectif est de confirmer ou pas la stabilité du talus par la détermination du coefficient de sécurité. La modélisation passe par deux étapes :

- Calcul du talus initial.
- Calcul du talus après renforcement.

La géométrie du modèle a été adoptée conformément au levé topographique réalisé sur terrain.

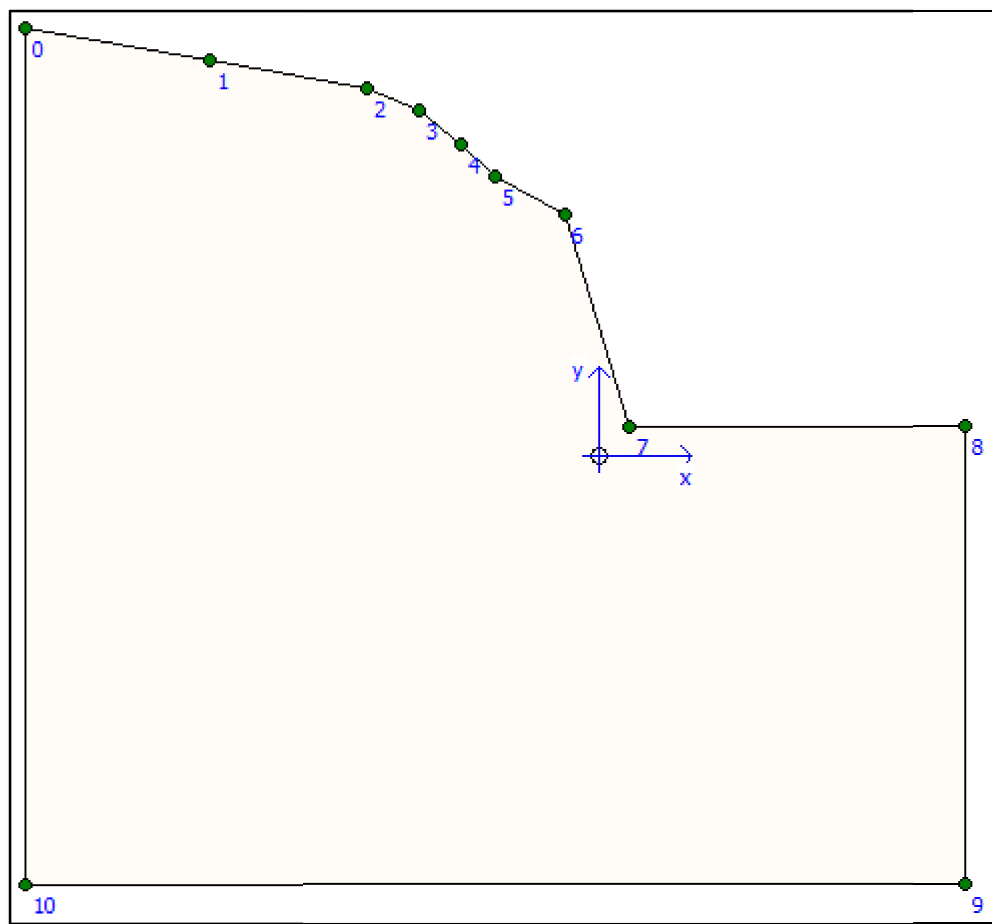


Figure 5.5: Géométrie du modèle

Les caractéristiques géotechniques des sols du site nécessaire pour la modélisation qui ont été estimées à partir des résultats des essais au laboratoire et des essais In-Situ réalisés par le LTPO Tlemcen sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 5.1: Caractéristiques géotechniques du modèle.

couche	Nature de sol	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	Φ' [°]	C' [kPa]	ν	E [kN/m ²]	Ψ (°)
01	Argile	19.8	16.1	35	33	0.35	3125	0
02	Roche volcanique	26.3	22	60	50	0.35	10000	0
03	Marne	24.5	21.1	15	20	0.33	12000	0

Un type de confortement ont été proposées par l'entreprise de réalisation (SEROR) pour le traitement de ce glissement, consiste à mettre on œuvre un mur de soutènement associé à des pieux de stabilisation

- Prédimensionnement de mur de soutènement et les pieux :

Hauteur du mur : $H = 8.2 \text{ m}$

Epaisseur du mur : $e = 1 \text{ m}$

Epaisseur de la semelle : $h = 1 \text{ m}$

Largeur de la semelle : $L = 6 \text{ m}$

Diamètre de pieu $B = 1.2$

Entraxe des pieux : 3.6 m

Profondeur des pieux : 15 m

Concernant le remblai sélectionné derrière le mur, il a les caractéristiques suivant:

Tableau 5.2: Caractéristiques géotechniques du Remblai.

Nature de sol	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	Φ' [°]	C' [kPa]	ν	E [kN/m ²]	Ψ (°)
Remblai	22.5	20	30	50	0.3	30000	0

Les données relatives à l'ouvrage de soutènement comprennent le mur, la semelle et les pieux Module élastique E et coefficient de poisson avec leur rigidité axiale EA et flexionnelle EI .

$E = 24000 \text{ MPa}$; $\nu = 0.35$

Mur de soutènement : $EA = 78.46 \times 10^7 \text{ kN/m}$ $EI = 59.79 \times 10^5 \text{ kNm}^2/\text{m}$

Semelle : $EA = 62.33 \times 10^7 \text{ kN/m}$ $EI = 44.19 \times 10^5 \text{ kNm}^2/\text{m}$

Pieux : $EA = 2.7 \times 10^7 \text{ kN/m}$ $EI = 2.44 \times 10^6 \text{ kNm}^2/\text{m}$

- La charge de roulement due a la route qui existe au bas de talus $Q = 40 \text{ kPa}$

5.4. Analyse à l'aide de PLAXIS :

5.4.1. Cas du talus initial :

- Le modèle géométrique :

La figure suivante (5.6), représente le modèle géométriques avec les conditions aux limites et différentes couches de sol.

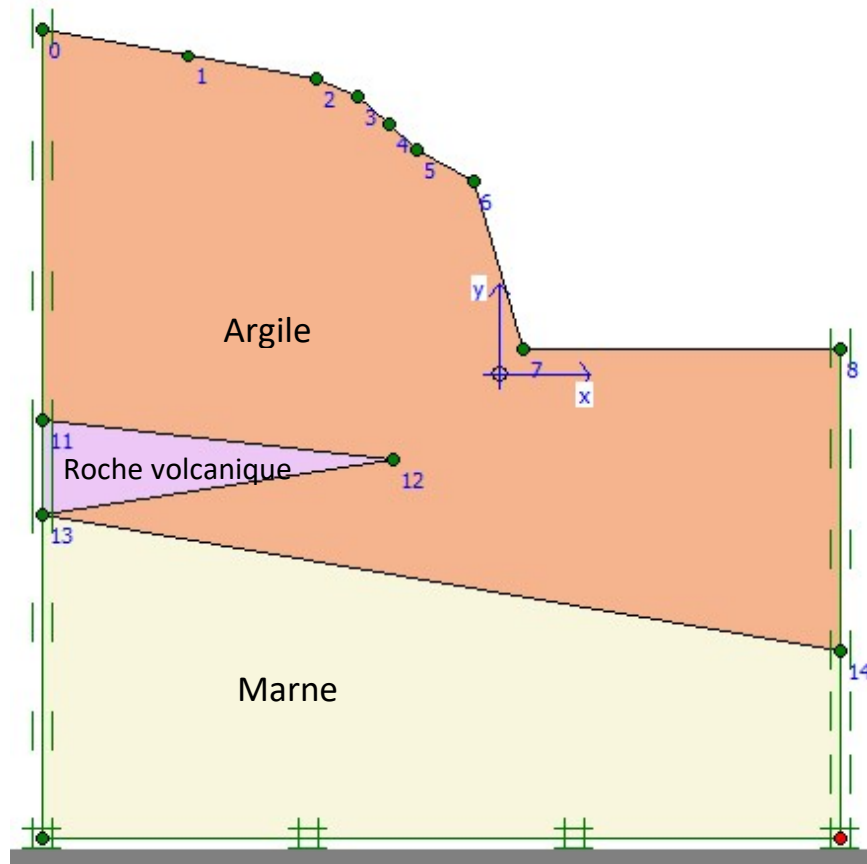


Figure 5.6: Géométrie du talus avec les conditions aux limites

- Génération de maillage :

Lorsque le modèle géométrique est défini et que les caractéristiques des matériaux sont assignées à toutes les couches, la géométrie doit être divisée en éléments finis afin de réaliser le calcul par éléments finis. Pour plus de précision des résultats.

On règle la finesse du maillage (Global Coarseness) sur « Medium ». Le maillage est présenté sur la figure (5.7). Le modèle de référence se fait par des éléments à 15 nœuds. Le nombre d'éléments est de 174 éléments et le nombre de nœuds est de 1489 nœuds.

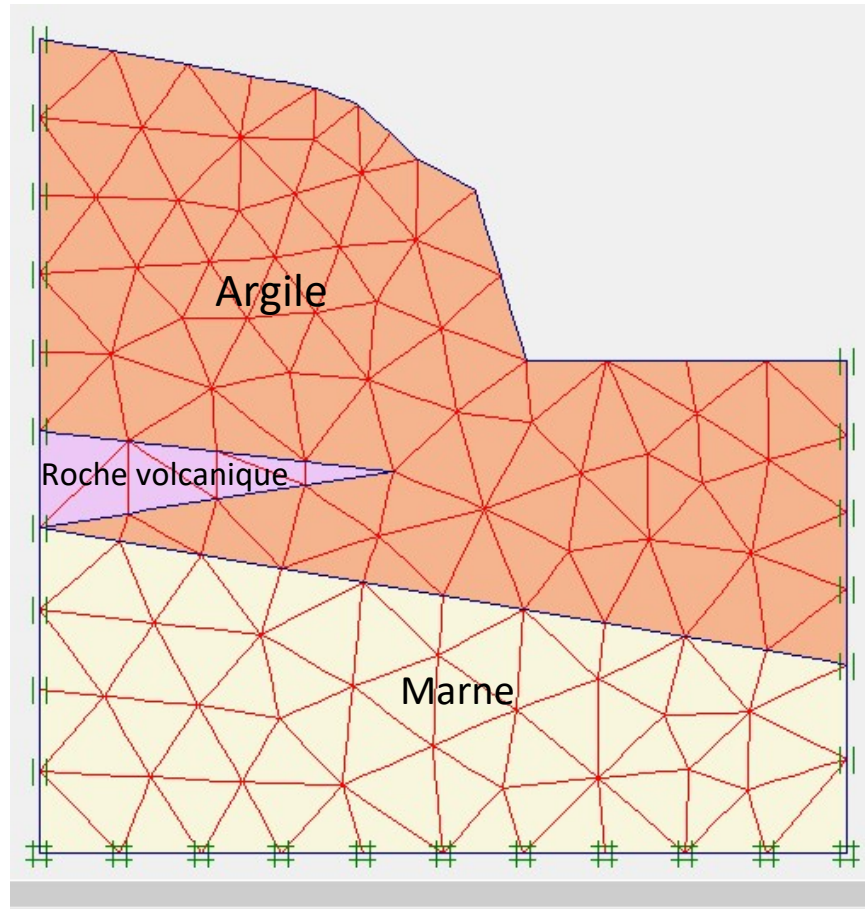


Figure 5.7: Maillage du modèle

➤ Conditions initiales:

Les conditions initiales ont été générées selon le champ des contraintes totales initiales (figure 5.8 et 5.9). La détermination de ces contraintes est effectuée en introduisant le coefficient de pression des terres au repos k_0 .

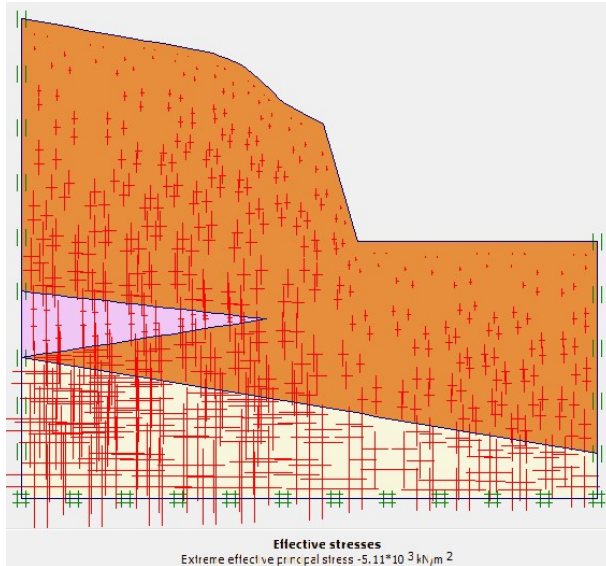


Figure 5.8 : Génération des contraintes totales
(Direction principale)

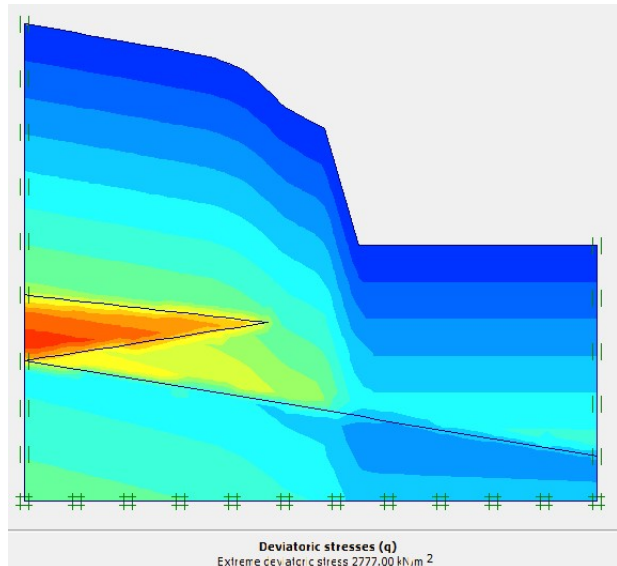


Figure 5.9 : Génération des contraintes totales
(Contraintes déviatoriques)

➤ Etapes de calcul :

Le calcul est faite en deux phases, dans la première on choisit le type de calcul Phi-c réduction, et dans la deuxième phase on choisit le type de calcul plastique.

Le coefficient de sécurité a été calculé par la méthode Phi-c réduction où la réduction des paramètres de résistance est effectuée en utilisant un multiplicateur incrémental M_{sf} . Le coefficient de sécurité est calculé par l'expression suivante :

$$SF = \frac{\text{résistance disponible}}{\text{résistance à la rupture}} = \text{valeur de } \Sigma M_{sf} \text{ à la rupture}$$

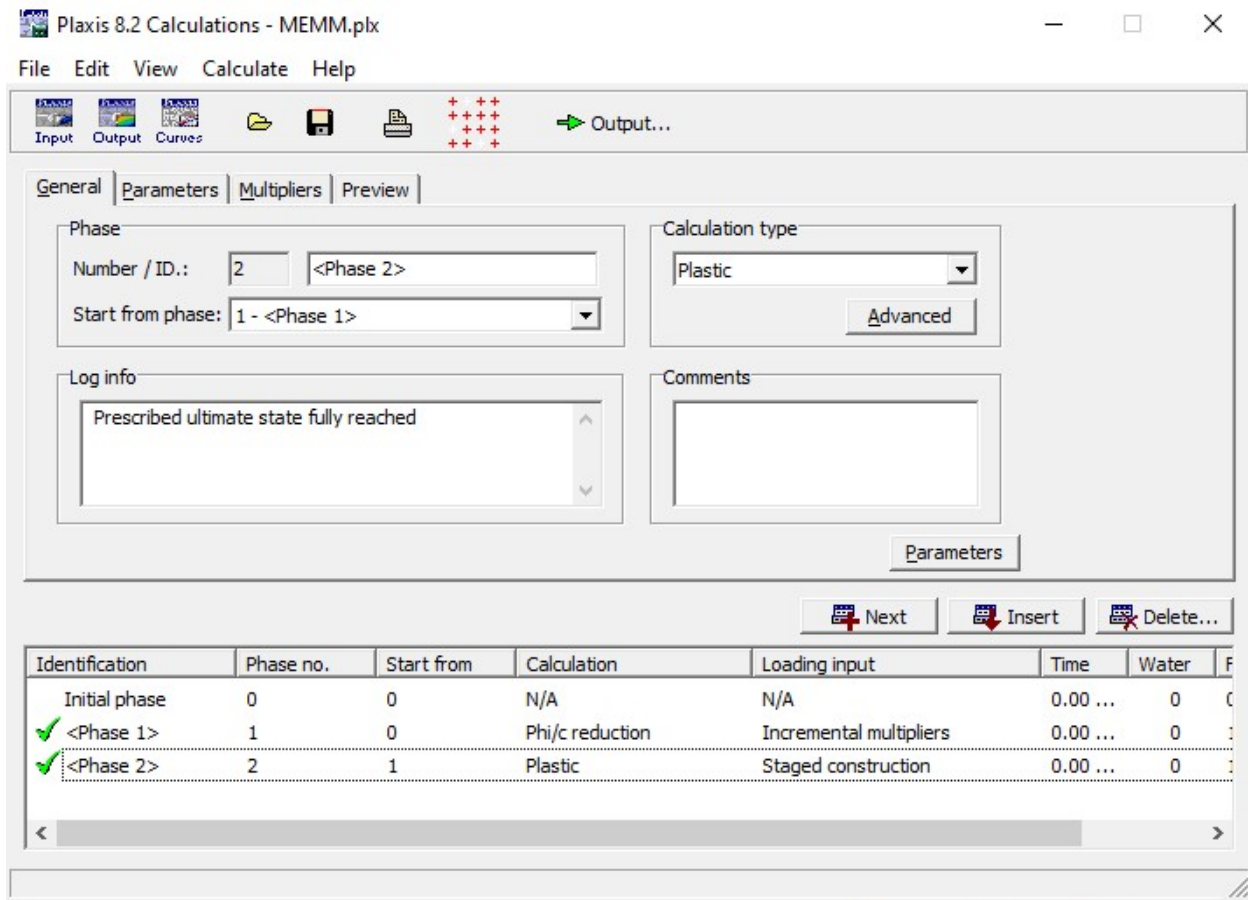


Figure 5.10: les étapes de calcul

➤ Facteur de sécurité :

La valeur du coefficient de sécurité obtenue à la fin du calcul est de l'ordre de $0,59 < 1,5$ (figure 5.11), ce qui montre qu'il y a un glissement possible.

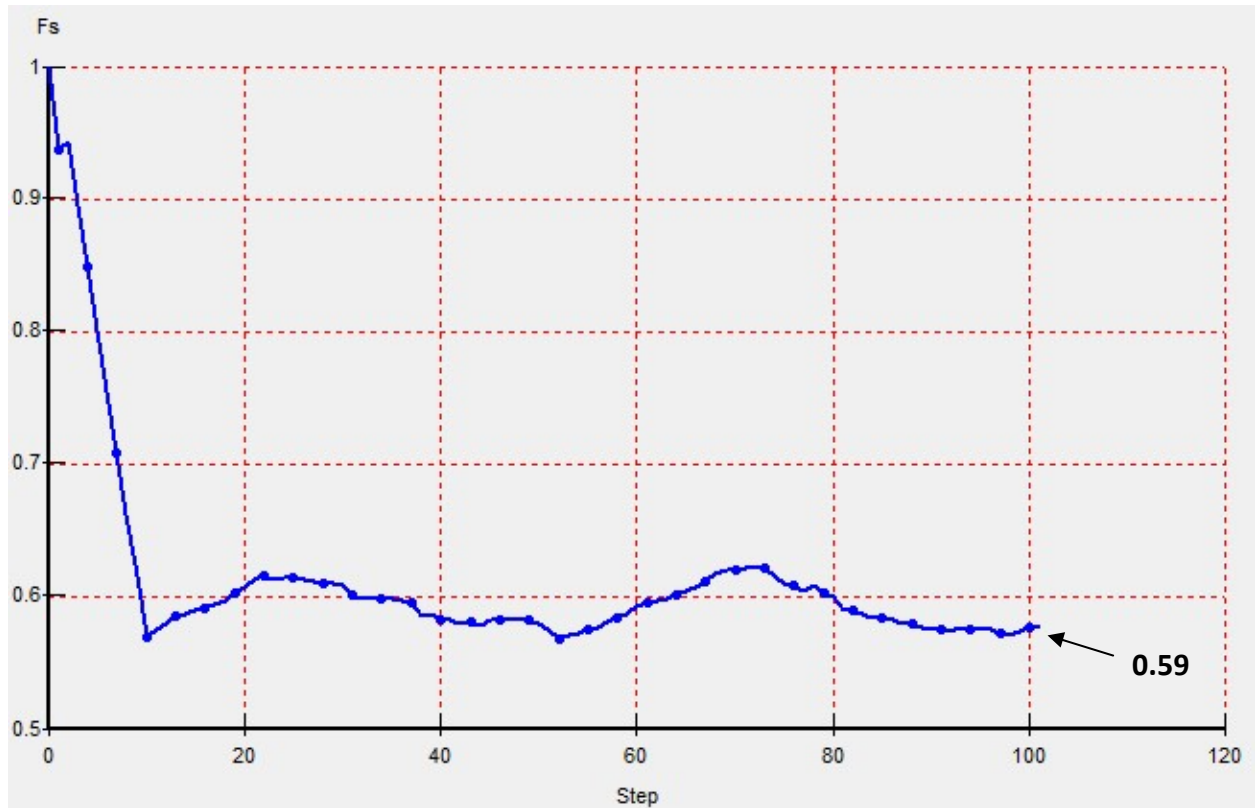


Figure 5.11: courbe de facteur de sécurité ($F_s = 0,59$)

➤ Déformation de maillage :

La figure (5.12) montre le maillage déformé à la fin de la dernière phase de calcul.

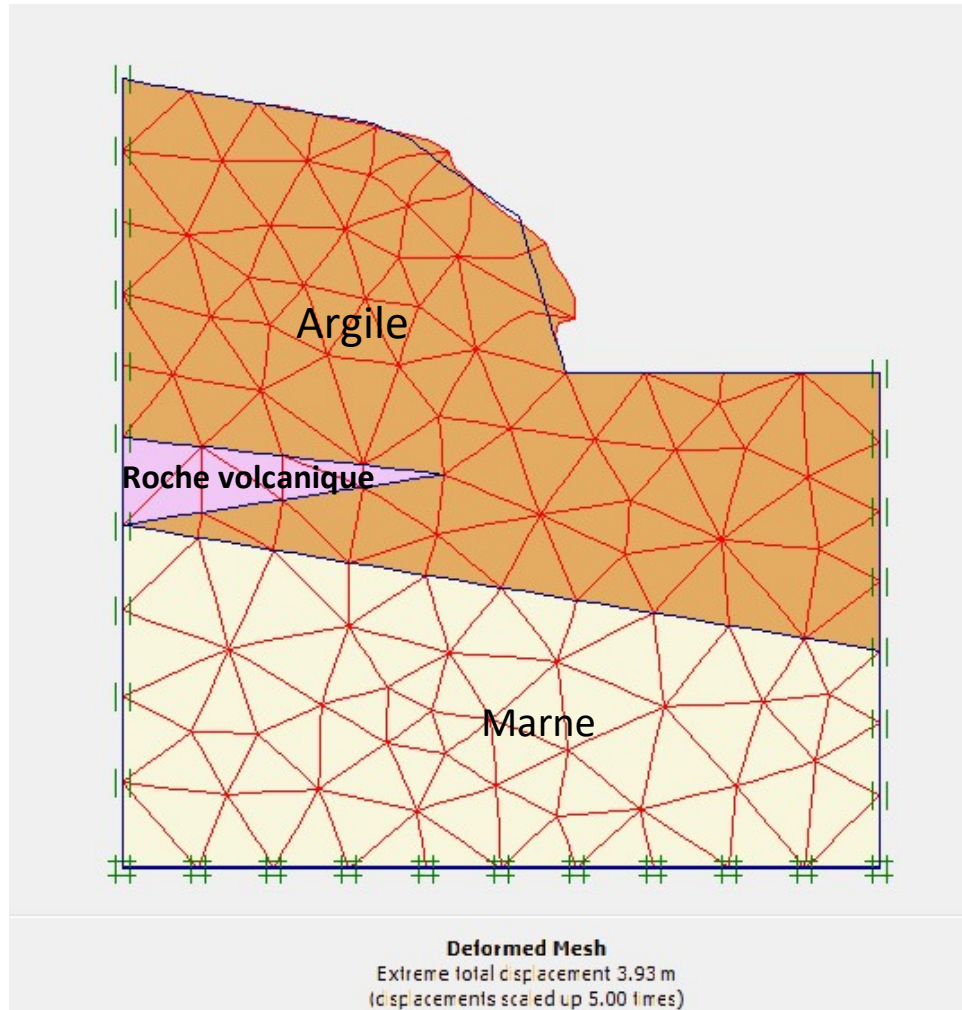


Figure 5.12: Déformation du maillage

➤ Les déplacements totaux:

Après l'exécution des calculs, les déplacements total obtenue par notre model sont représentés sur la figure (5.13) avec un déplacement total maximum d'environ 3.93m. On constate que le déplacement total obtenue est assez important.

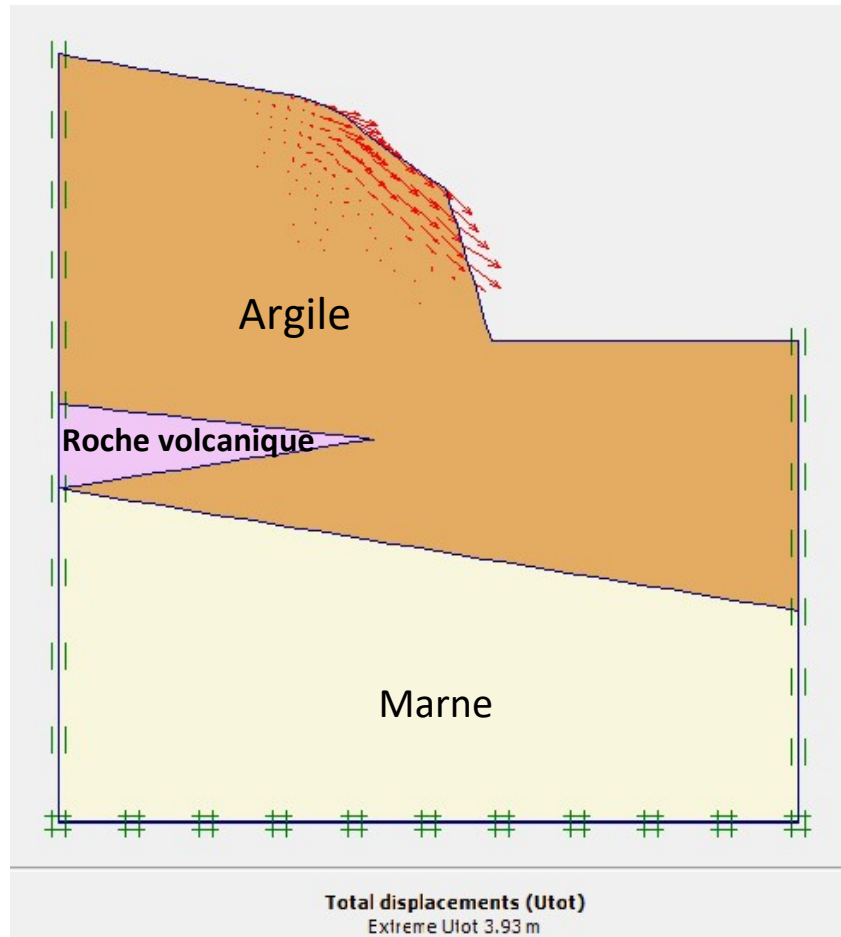


Figure 5.13: Déplacement totaux à travers le talus

➤ Les contraintes totales :

Les contraintes totales sont représentées dans la figure (5.14). On observe que le maximum de contrainte est obtenue au niveau de la deuxième couche du sol (Roche volcanique) cela est dû au fait qu'elle est profonde et la contrainte dépendent surtout du poids propre.

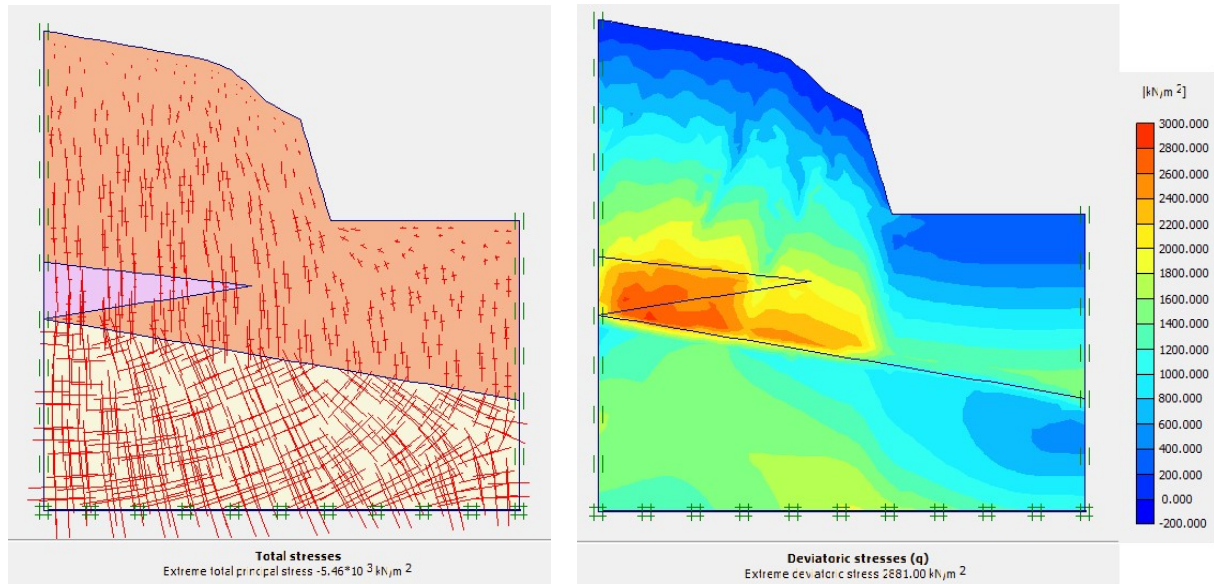


Figure 5.14: Contraintes totales (2881,00 kN/m²)

5.4.2. Cas du talus après le renforcement :

1) Renforcement avec un mur de soutènement :

➤ Le modèle géométrique :

La figure suivante (5.15), représente le modèle géométriques avec les conditions aux limites et différents couches de sol.

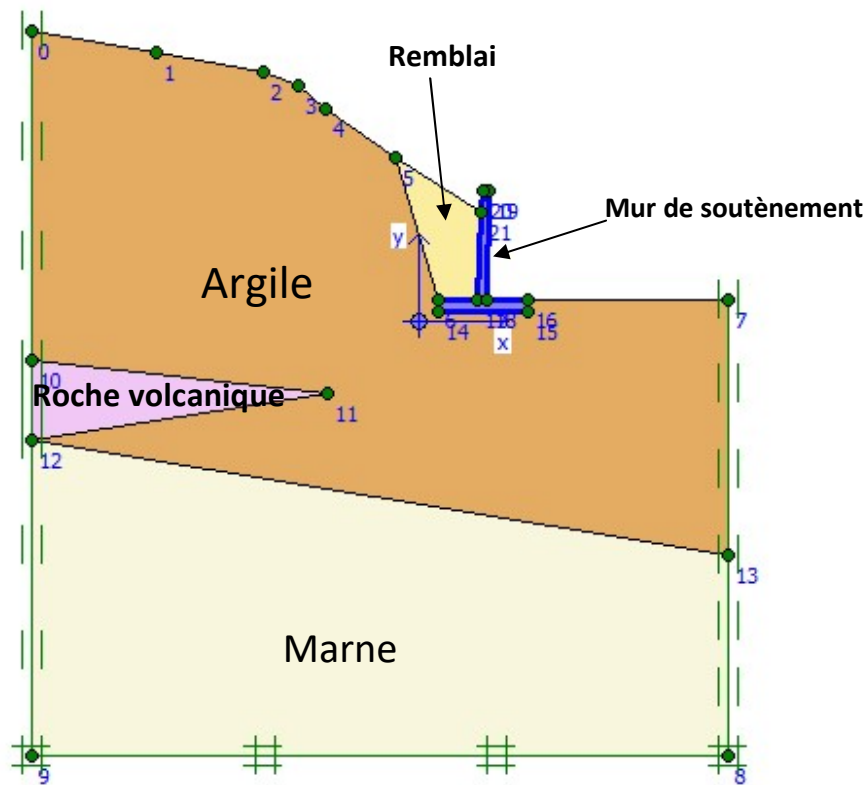


Figure 5.15: Modèle géométrique avec l'ouvrage de confortement (mur de soutènement)

➤ Génération de maillage :

Lorsque le modèle géométrique est défini et que les caractéristiques des matériaux sont assignées à toutes les couches, la géométrie doit être divisée en éléments finis afin de réaliser le calcul par éléments finis. Pour plus de précision des résultats.

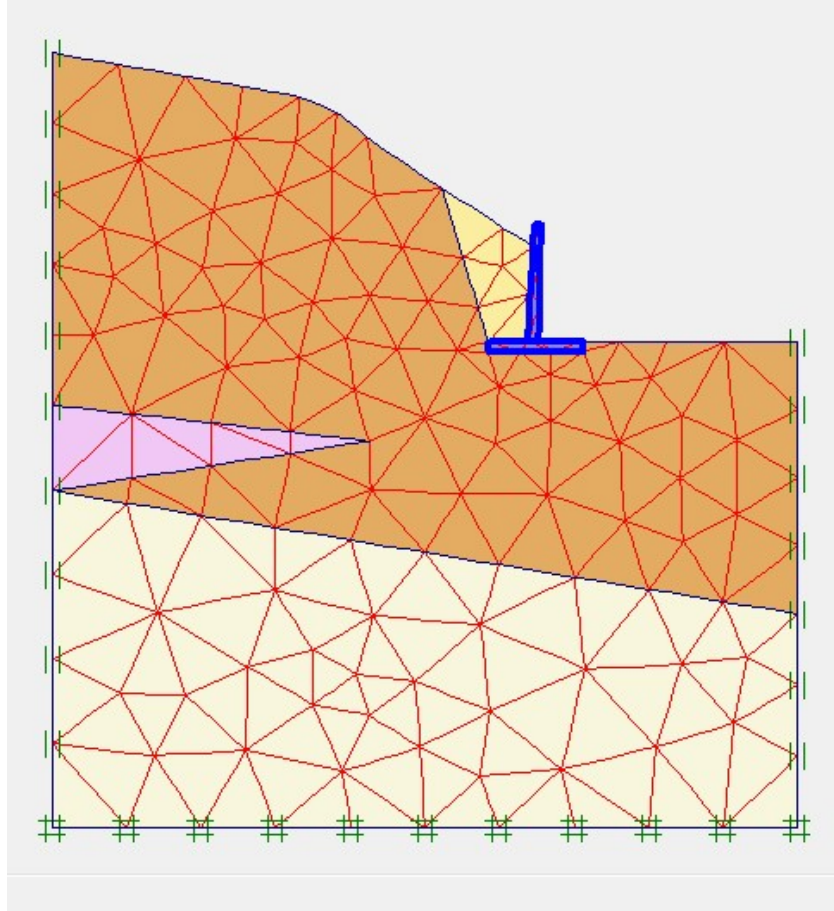


Figure 5.16: Maillage du modèle

➤ Les déplacements totaux:

Après l'exécution des calculs, les déplacements total obtenue par notre model sont représentés sur la figure (5.17) avec un déplacement total maximum d'environ $460.65 \cdot 10^{-3}$ m. On note que le déplacement total obtenue est largement réduit avec l'emplacement de système de confortement (Mur de soutènement, comparé au cas étudié précédemment talus initial).

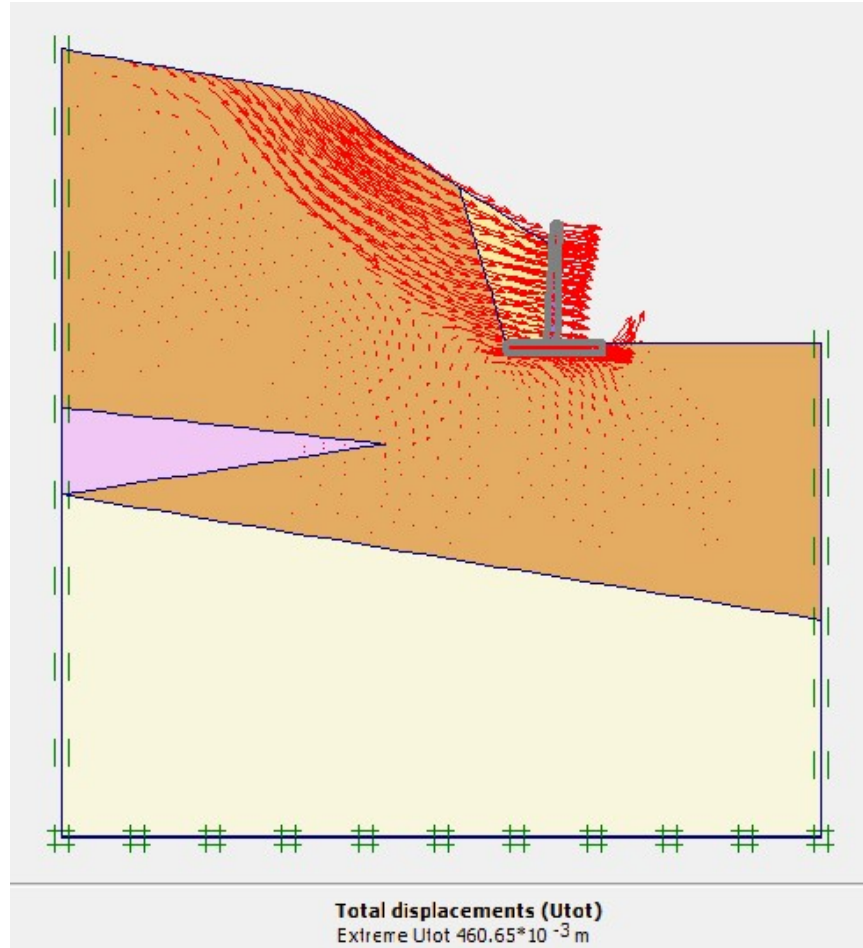


Figure 5.17: Déplacement total

➤ Les contraintes totales :

Les contraintes totales sont représentées dans la figure (5.18). Les valeurs de ces contraintes sont légèrement inférieures en comparaison avec Les contraintes obtenues dans le cas du talus initial, dont la valeur maximale est observée au niveau de la couche de roche volcanique.

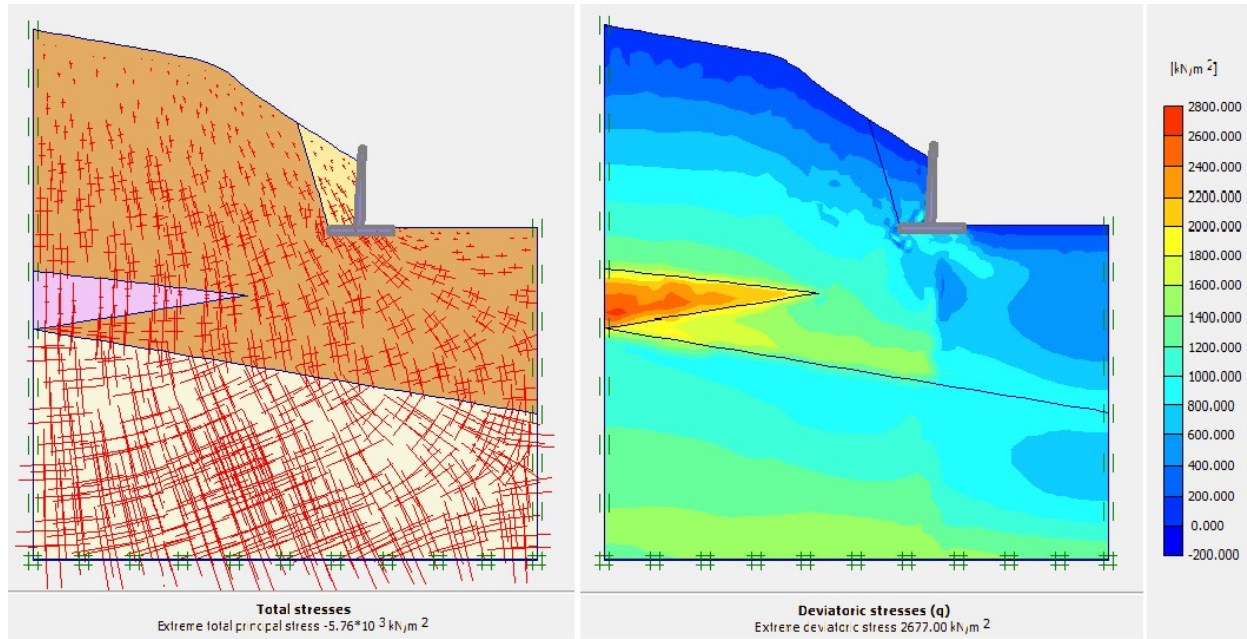


Figure 5.18: Contraintes totales (2677,00 kN/m²)

➤ Facteur de sécurité:

La valeur du coefficient de sécurité obtenue à la fin du calcul est de l'ordre de $1,41 < 1,5$ (figure 5.19), ce qui montre que l'ensemble de talus et système de confortement est instable. Donc l'installation des confortements (mur de soutènement) n'assure pas la stabilité de ce talus.

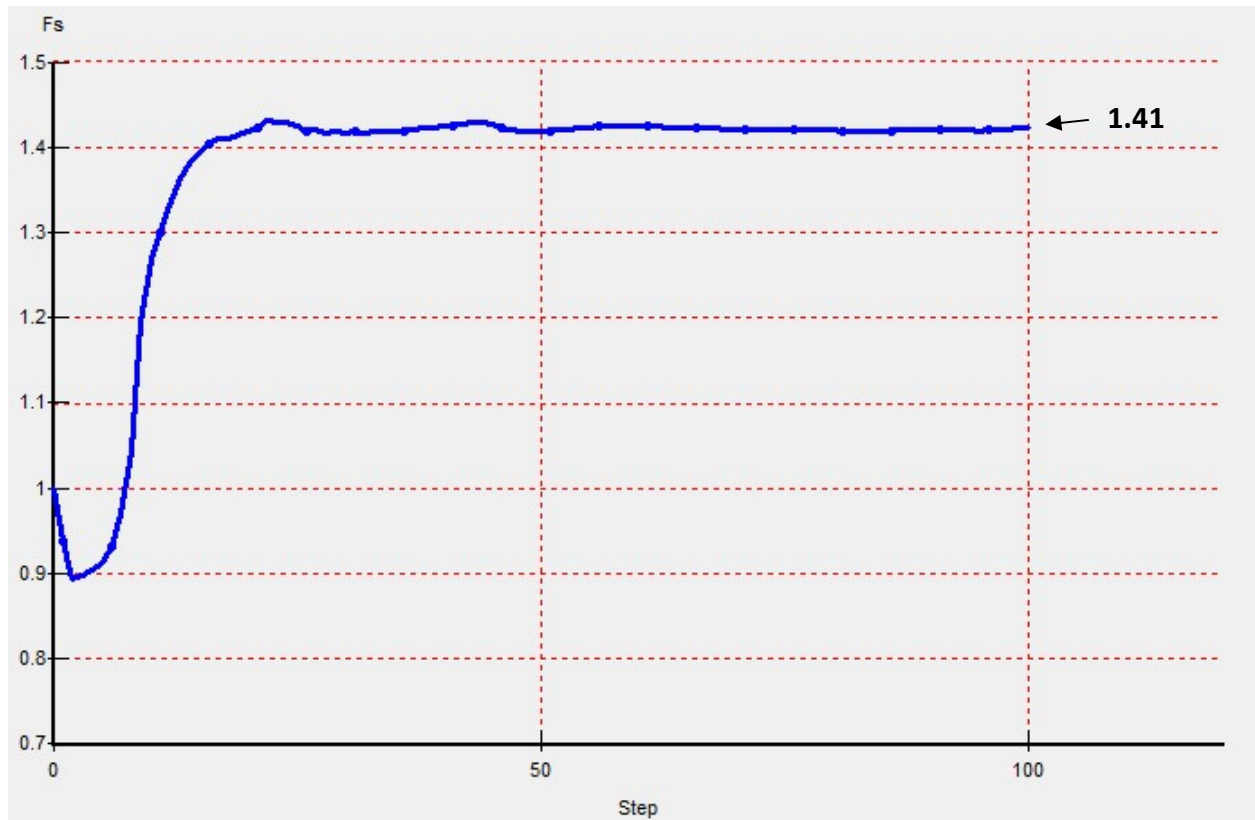


Figure 5.19: courbe de facteur de sécurité $F_s=1,41$

2) Renforcement avec un mur de soutènement sur pieux:

➤ Le modèle géométrique :

La figure suivante (5.20), représente le modèle géométriques avec les conditions aux limites et différents couches de sol.

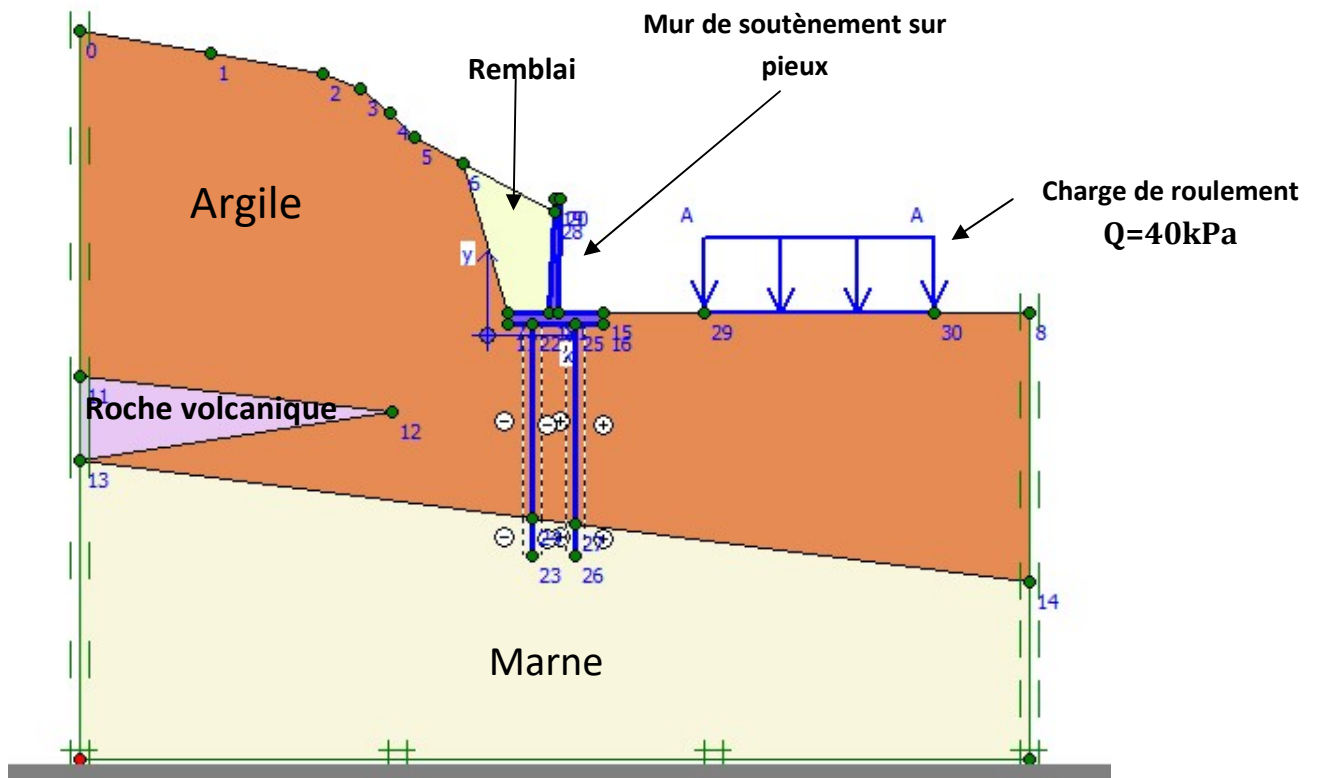


Figure 5.20: Modèle géométrique avec l'ouvrage de confortement (mur de soutènement sur pieux)

➤ Génération de maillage :

Lorsque le modèle géométrique est défini et que les caractéristiques des matériaux sont assignées à toutes les couches, la géométrie doit être divisée en éléments finis afin de réaliser le calcul par éléments finis. Pour plus de précision des résultats.

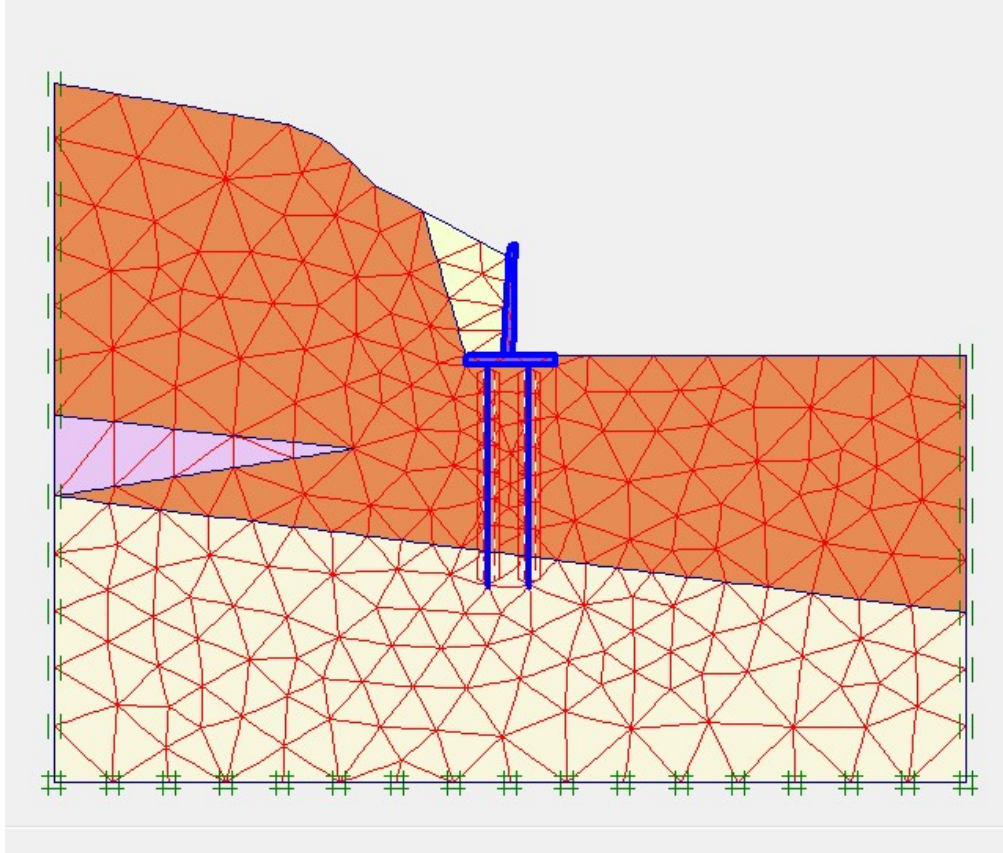


Figure 5.21: Maillage du modèle

➤ Les déplacements totaux:

Après l'exécution des calculs, les déplacements total obtenue par notre model sont représentés sur la figure (5.22) avec un déplacement total maximum d'environ $15.98 \cdot 10^{-3}$ m. On note que le déplacement total obtenue est largement réduit avec l'emplacement de système de confortement (Mur de soutènement sur pieux, comparé aves les cas étudiés précédemment talus initial et après le renforcement par un mur de soutènement).

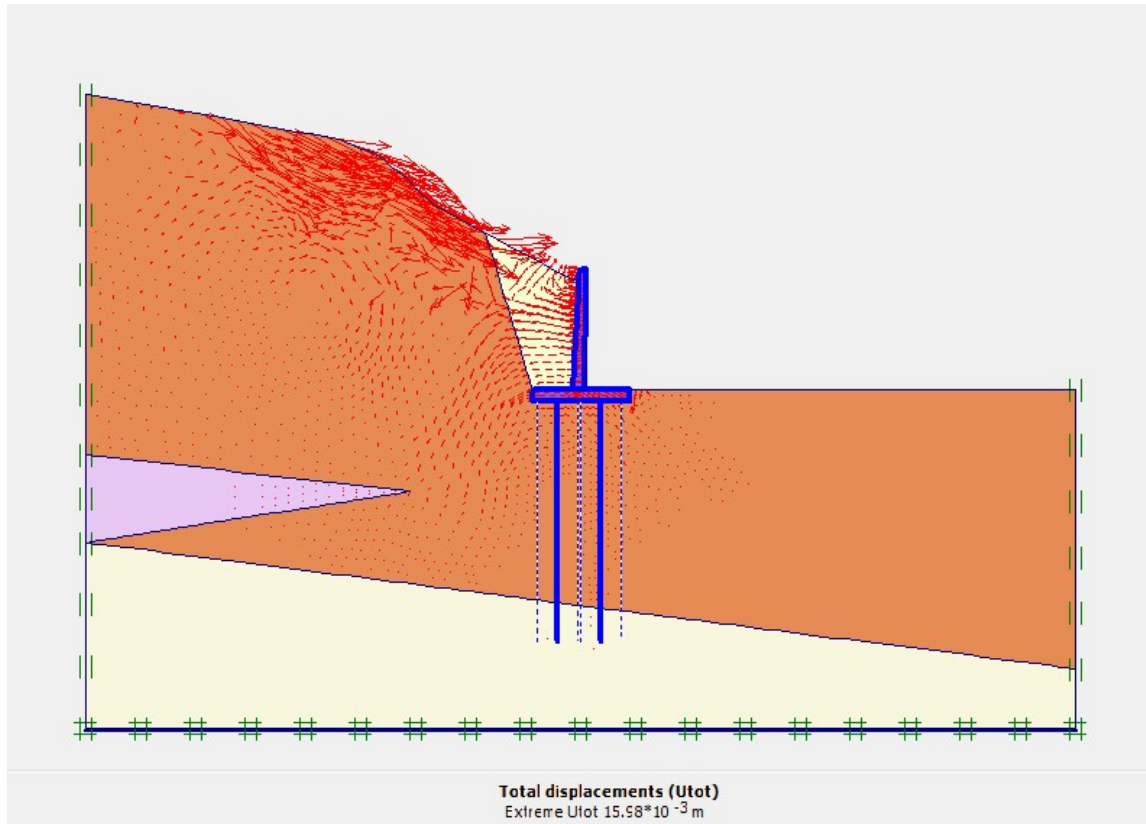


Figure 5.22: Déplacement totale

➤ Les contraintes totales :

Les contraintes totales sont représentées dans la figure (5.23). Les valeurs de ces contraintes sont légèrement inférieures en comparaison avec Les contraintes obtenues dans le cas du talus initial et le cas de talus renforcé par un mur de soutènement, dont la valeur maximale est observée au niveau de la couche de roche volcanique.

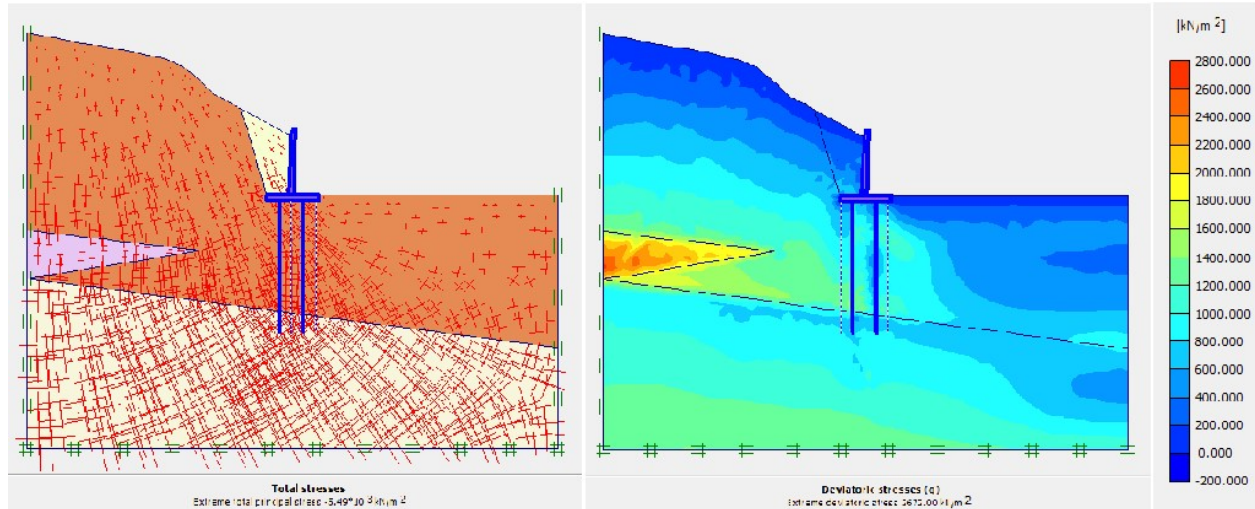


Figure 5.23: Contraintes totales (2672,00 kN/m²)

➤ Facteur de sécurité:

La valeur du coefficient de sécurité obtenue à la fin du calcul est de l'ordre de 1,70 > 1.5 (figure 5.24), ce qui montre que l'ensemble de talus et système de confortement est stable. Donc l'installation des confortements (mur de soutènement sur pieux) joue un rôle important pour assurer la stabilité de ce talus.

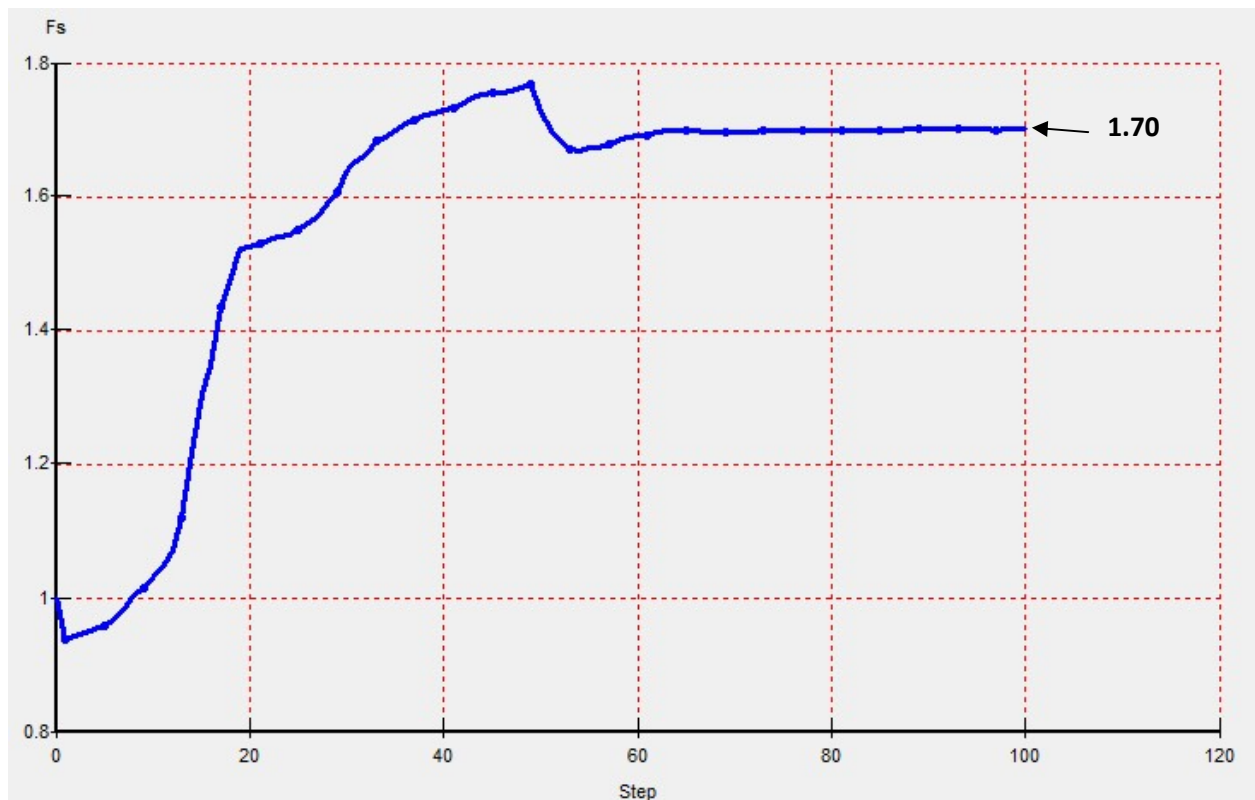


Figure 5.24: courbe de facteur de sécurité $F_s=1,70$

- Récapitulation des résultats des coefficients de sécurité obtenue par PLAXIS:

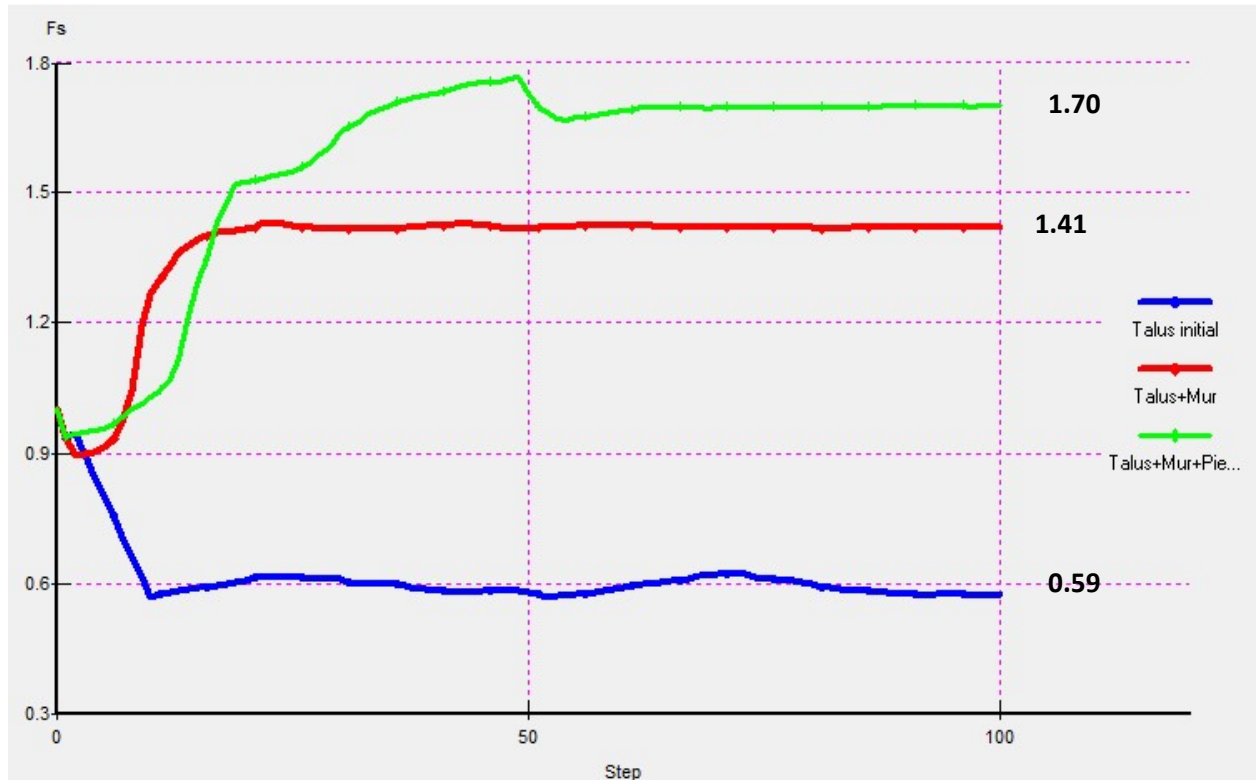


Figure 5.25: courbe comparative de l'évolution des coefficients de sécurité des 3 cas

5.5. Analyse à l'aide de TALREN :

La modélisation par logiciel TALREN V5 permet de visualiser les surfaces de rupture, chaque surface est représentée par une valeur du coefficient de sécurité F_s . Le but de l'étude de stabilité c'est la recherche de la surface de rupture correspondant au facteur de sécurité minimal. Le programme contient un grand nombre de méthodes basées sur l'équilibre limite. Pour ce cas nous avons utilisé la méthode de Bishop.

Pour appliquer ce programme au cas étudié, il est nécessaire de préciser toutes les données utiles pour décrire le projet suivant :

- Description générale du projet :

Une fois que l'on lance le programme TALREN, on crée un nouveau fichier, puis une boîte de dialogue (description générale du projet) apparaît. Les données à renseigner dans cette case sont les suivantes :

- Numéro d'affaire, Titre du calcul, Lieu et commentaires.

- X_{min} et X_{max} : limites en X pour la définition du modèle, et côte maximale du modèle (ces valeurs sont obligatoires elles correspondent aux abscisses minimale et maximale du modèle).
- Système d'unités et poids volumique de l'eau.
- Méthode de calcul par défaut, dans notre cas on a choisis méthode de Bishop.
- jeu de coefficient de sécurité par défaut.

Propriétés du projet	
Numéro d'affaire	
Titre du calcul	
Lieu	
Commentaires	
Xmin (m)	0,000
Xmax (m)	50,000
Système d'unités	kN, kPa, kN/m3
V_w (kN/m ³)	10,0
Méthode de calcul*	Bishop
Jeu de coef. de sécurité*	<pas de jeu de coefficients>
* par défaut	
Définir →	

Figure 5.26: Description générale du projet

- La procédure de la modélisation :

Dans notre cas nous avons suivis une procédure de modélisation comme suite :

- ✓ 1^{er} Partie : Etude de talus initial.
- ✓ 2^{eme} Partie : Etude de talus avec confortement par un mur de soutènement.
- ✓ 3^{eme} Partie : Etude de talus avec confortement par mur de soutènement sur pieux.

- ❖ Partie 01 : Etude de talus à l'état initial

Après modélisation de talus et le calcul avec la méthode Bishop, on a obtenue les résultats suivants :

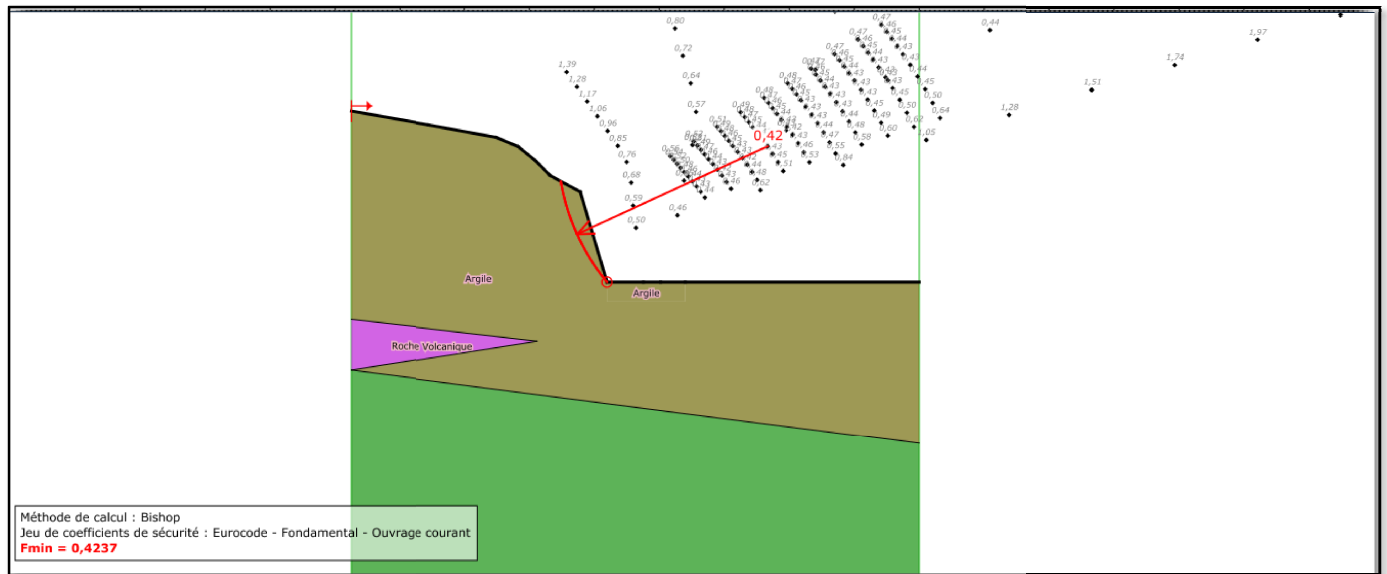


Figure 5.27: résultat de coefficient de sécurité $F_s=0.42$

Le coefficient de sécurité $F_s=0.42$ est inférieur à 1.5, donc le terrain représente un danger à l'état initial.

❖ Partie 02 : Etude de talus avec confortement par un mur de soutènement.

On a obtenu les résultats suivants :

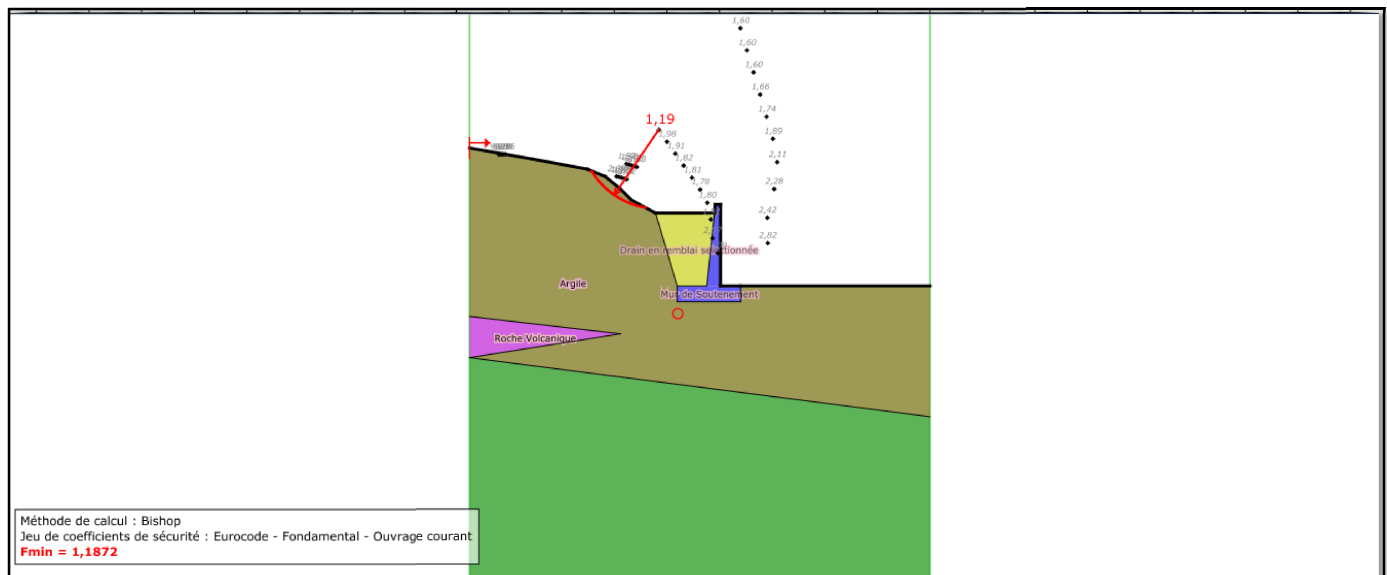


Figure 5.28: résultat de coefficient de sécurité $F_s=1.19$

La valeur du coefficient de sécurité obtenue à la fin du calcul est de l'ordre de 1,19 < 1.5 (figure 25), ce qui montre que l'ensemble de talus et système de confortement est instable.

Donc l'installation des confortements (mur de soutènement) il n'assure pas la conforte et la stabilité de ce talus.

❖ Partie 03 : Etude de talus avec confortement par un mur de soutènement sur pieux.

Pour ce model on va appliquer la charge de roulement due a la route qui existe au bas de talus. On a obtenue les résultats suivants :

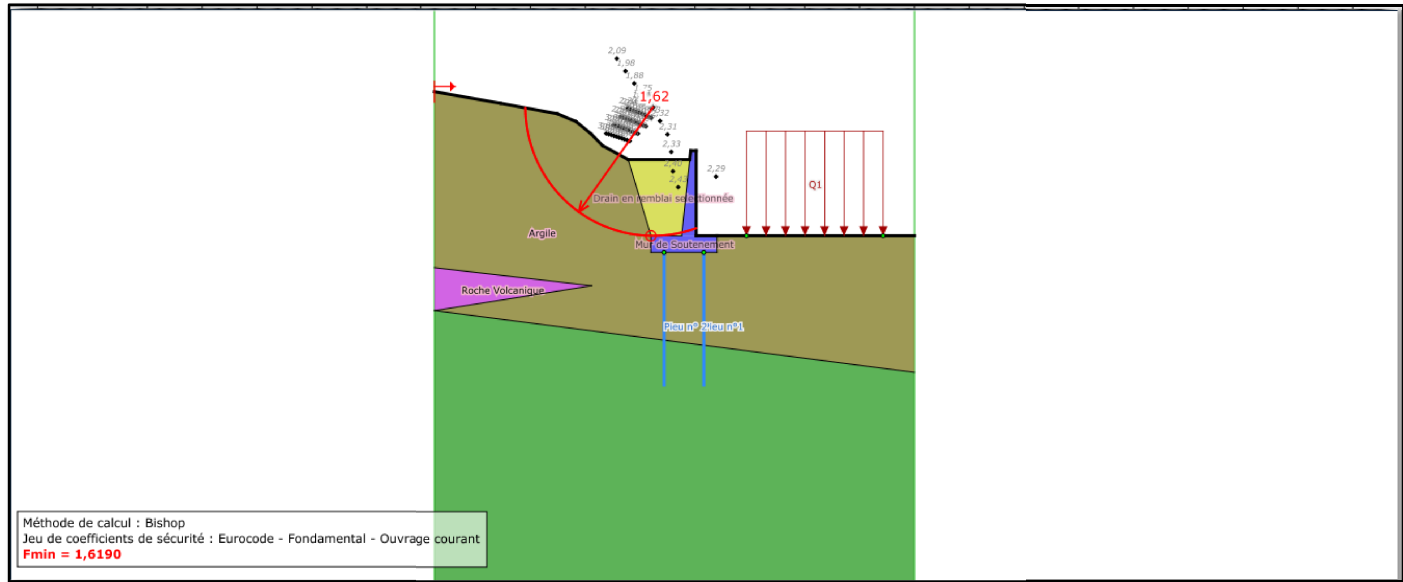


Figure 5.29: résultat de coefficient de sécurité $F_s=1.62$

La valeur du coefficient de sécurité obtenu à la fin du calcul est de l'ordre de $1.62 > 1.5$, ce qui montre que l'ensemble de talus et système de confortement est stable. Donc l'installation des confortements (mur de soutènement sur pieux) joue un rôle important pour assurer la stabilité de ce talus.

5.6. Interprétations des résultats :

L'analyse effectuée pour le talus est résumé sur le tableau suivant :

Tableau 5.3: Synthèse des résultats d'analyse de la stabilité du talus.

logiciel	Cas de talus	Coefficient de sécurité F_s
PLAXIS 8.2	Talus naturel	0,59
	Talus après renforcement par le mur de soutènement.	1,41
	Talus après renforcement par le mur de soutènement sur pieux.	1.70
TALREN 5	Talus naturel	0.42
	Talus après renforcement par le mur de soutènement.	1.19
	Talus après renforcement par le mur de soutènement sur pieux.	1.62

La figure ci-dessus (5.30) montre la courbe de variation des valeurs de coefficient de sécurité selon les étapes de calcul obtenir par les deux logiciel.

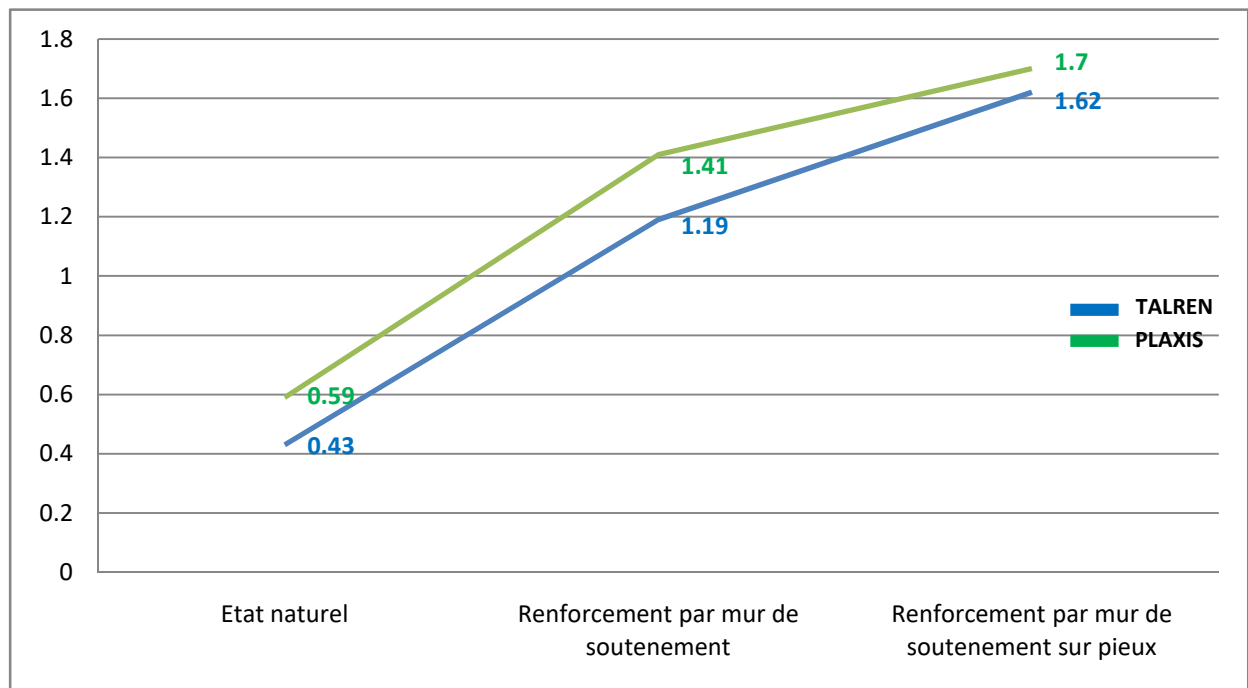


Figure 5.30: courbe de variation de coefficient de sécurité par les deux logiciels

A travers ces résultats nous constatons que :

- 1- Le talus à son état initial était instable avec un $F_s < 1.5$
- 2- Le talus après le confortement (mur de soutènement) était instable avec un $F_s < 1.5$
- 3- Le confortement de mur de soutènement sur pieux assure la stabilité de ce talus avec un $F_s > 1.5$
- 4- Les différents coefficients de sécurité, calculés par les deux logiciels, ne sont pas très loin avec un écart très faible.

5.7. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, on a fait une étude de stabilité d'un talus qui est affecté par un glissement de terrain. Ce talus est situé dans la rocade côtière entre MARSAT BEN MHIDI-GHAZAOUET (1 ère tranche) PK 001+00 au PK 001+500. L'analyse elle est faite à l'aide des deux logiciels PLAXIS 8.2 qui est basé sur la méthode des éléments finis et TALREN V4 qui est basé sur les méthodes d'équilibre limite (Bishop, Fellenius, perturbations, calcul a la rupture), dans notre cas on a utilisé la méthode de Bishop pour logiciel de TALREN et la méthode de réduction de la résistance au cisaillement ("Shear Strength Reduction –SSR–" qui repose sur l'utilisation de la méthode des éléments finis) pour logiciel de PLAXIS.

On a commencé l'analyse de stabilité de ce talus a son état initial nous avons trouvé que la valeur de coefficient de sécurité obtenue par les deux logiciels sont proches et inferieurs a 1.5 ce qui montre que ce talus est instable.

Ensuite, l'analyse est faite avec un type de confortement qui prévoit un mur de soutènement associé à des pieux de stabilisation. Les résultats issus des deux logiciels sont proche, et on a constaté que le renforcement par un mur de soutènement seul n'assure pas la stabilité avec un $F_s < 1.5$ par contre le renforcement par un mur de soutènement sur pieux assure la stabilité avec un $F_s > 1.5$ ce qui explique l'efficacité de ce type de confortement de glissement de terrain.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'analyse de grands glissements est une opération complexe, tout comme les mécanismes à l'origine de tels désordres. Elle nécessite une méthodologie précise d'étude, le plus souvent longue et délicate combinant reconnaissances in situ, instrumentation du site avec suivi de l'évolution des mouvements. Le principal intérêt de cette étude est de vérifier la stabilité du talus.

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour objectif d'étudier la stabilité d'un glissement de terrain de la rocade coutière au (PK 001+00 au PK 001+500) Ghazaouet wilaya de Tlemcen.

Afin de mieux positionner le contexte de ce travail, nous avons commencé par une étude bibliographique sur les glissements de terrain ainsi que les différentes méthodes utilisées pour analyser ces instabilités et les multiples méthodes de confortement des talus. Un soupçon d'instabilité est toujours suivie d'une étude géologique-géotechnique qui a été faite dans notre cas par LTPO Tlemcen, qui a permis d'avoir un aperçu global sur les couches constituant le terrain et leurs caractéristiques qui, à leur tour, nous permettent d'exécuter des analyses numériques.

L'étude consiste à analyser numériquement par les deux logiciel PLAXIS 8.2 qui est basé sur la méthode des éléments finis et TALREN V4 qui est basé sur les méthodes d'équilibre limite (Bishop, Fellenius, perturbations, calcul à la rupture), dans notre cas on a utilisé la méthode de Bishop pour logiciel de TALREN et la méthode de réduction de la résistance au cisaillement ("Shear Strength Reduction –SSR–" qui repose sur l'utilisation de la méthode des éléments finis) pour logiciel de PLAXIS.

Grâce aux résultats de la modélisation, on a constaté que :

Les valeurs des coefficients de sécurité obtenue par les deux logiciels (TALREN V4 et PLAXIS 2D) ils ne sont pas très loin.

Nous avons remarques par les résultats obtenues que le talus a son état initial était instable ce qui montre qu'il y a un glissement possible.

Cependant, le talus est instable et une solution a été proposée pour stabiliser le talus, qui est la construction d'un mur de soutènement associé à des pieux de stabilisation. D'après les résultats obtenus, cette méthode a également fait augmenter le coefficient de sécurité. Nous avons donc conclu que cette approche pourrait stabiliser efficacement le talus.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [01]. Taleb h, a., (2019). Généralité sur les glissements des terrains. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila. Laboratoire FIMAS Université Tahri Mohamed Bechar.
- [02]. Hubert, B., Philipponnat, B., Zerhouni, M., Payant, O. (2019). Stabilité des pentes et des talus. Fondation et ouvrages en terre: manuel professionnel de géotechnique du PTB, Edition Eyrolles.
- [03]. Bouafia, A. (2018). Calcul des soutènements et des talus. Livre master géotechnique, Université de Saad Dahleb Blida, Algérie.
- [04]. Djamel Eddine Benouis., étude d'un glissement de terrain par différentes méthodes, Mémoire d'ingéniorat, ingénieur d'état en génie civil option construction civil et Industriel 2010, Université de Saida, (Alger).
- [05]. Bendadouche, H., Lazizi, S., 2013. Glissement de terrain et confortement.
- [06]. Durville, J-L et Gilles, S. (1996). glissement en terrains meubles. Technique de l'ingénieur.
- [07]. Mendjel, D. (2012). Analyse inverse dans le calcul géotechnique –Application au calcul de la stabilité des talus-(Thèse de doctorat). Université Badji-Mokhtar-Annaba.
- [08]. M'zoughem, k., Chenafa, w., (2006). Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain El Kebira Sétif-(mémoire de magister). Université Ferhat Abbas, Sétif.
- [09]. Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1), 79-93.
- [10]. D.G. Fredlund, and J. Krahn. "Comparison of Slope Stability Methods of Analysis," canadian Geotechnical Journal, Vol. 14, N° 3, pp 429-439, 1977.
- [11]. US Army Corps of Engineers. (2003). Slope stability, Engineering Manual, Department of The Army U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC 20314-1000.
- [12]. Dupont, P. (2018). Analyse comparative des méthodes de stabilisation des pentes (Mémoire de magister). Université de Géotechnique, Paris, France.
- [13]. Closset, L. Wojtkowiak, F. (1993). Géotechnique appliquée à la sécurité des exploitations à ciel ouvert en terrains alluvionnaires. Page 10- 12. direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement d'Alsace.
- [14]. Bedr, S. (2008). modélisation et interaction renforcement sol pour les talus instables, Université A. Belkaid, Tlemcen, Algérie.
- [15]. Nordine, M.Z., (2010), Contribution à l'étude numérique de la stabilité des pentes sous chargement dynamique et de leur renforcement par plaxis 2D, Université A. Belkaid, Tlemcen, Algérie.
- [16]. www.mcours.net/Methodes de Confortement des Pentes Instable
- [17]. Hadji, R., (2015). Cour de mécanique des sols. Université Ferhat Abbas, Sétif.
- [18]. Climatologie globale à Ghazaouet : [Online]//infoclimat.-2020.-0110,2020. <https://www.infoclimat.fr/climatologie/globale/ghazaouet/60517.html>.

- [19]. RPOA régleme nt parasismique algérie [Book]. - 2008.
- [20]. societe d'études techniques de setif ; 2022 Raport diagnostic du glissement, suivi technique des travaux d'achèvement du Lot n°01 réalisation de l'évitement de GHAZAOUET sur 16 km - Glissement de terrain apparu au pk 01+000-
- [21]. LTPO Tlemcen, 2021 Rapport géotechnique STABILITE AU NIVEAU D'UN TALUS FAISANT PARTIE DE LA ROCADE COTIERE LOTN°1, DU PK1+000 AUPK1+150 A GHAZAOUET.
- [22]. <https://www.terrasol.fr/en/catalogue/talren-v5>
- [23]. Terrasol, juillet 2005, Logiciel TALREN 4 Manuel d'utilisation.
- [24]. Plaxis Version 8, Tutorial Manuel.
- [25]. Amirou, S., Khadraoui, M., 2020. Etude de stabilité d'un renforcement d'un talus urbanise situe a El-Achour-Alger.
- [26]. Hadjadji, A., Hadj Abdel-kader, A.M.,(2020). Aspects pratiques de protection des talus instables: Cas de port de Ghazaouet (PK0+000 au PK1+900). Université A. Belkaid, Tlemcen.
- [27]. Youcef-Tani, S., Ramdani, C.A., (2021). Analyse de la stabilité du talus: cas d'un glissement de terrain sise dans la pénétrante autoroutière Ghazaouet-Tlemcen. Université A. Belkaid, Tlemcen.
- [28]. CONCEPTION ET CONSTRUCTION des ouvrages en sols fins ,16 mai 2019.
- [29]. Mouffok, M., (2013). (Etude de la stabilité du glissement de terrain de tala alem par pieux). Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
- [30]. <https://fr.scribd.com/document/496828110/CHAP01-mur-de-soutenement-FINE>
- [31]. Étude du comportement des murs de soutènement par clouage des sols en place : application au dimensionnement du parement "Jean Gauthier de Sauvage "
- [32]. Guide technique - Tirants d'ancrage, Ministère de l'Equipement, du Transport et du Logement, France, 2005.
- [33]. Guide technique - Ouvrages de soutènement souples, Ministère de l'Equipement, du Transport et du Logement, France, 2005.
- [34]. SCHLOSSER, F., JACOBSEN, M.H., JURAN, I., le renforcement des sols. REVUE FRANCAISE GEOTECHNTQUE. N°29.
- [35]. KHALDOUNA, H., LEYI EKANI, C.J.,. (2018). ANALYSE DE STABILITE ET MODELISATION NUMERIQUE DU TALUS DE LA RESIDENCE PRESIDENTIELLE DE LA WILAYA D'ANNABA. Université Badji Mokhtar ANNABA.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Coupes lithologiques du terrain.

 LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST Unité de Tlemcen Adresse : Route Abou Tachfine BP 164 ~ 13000 ~ Tlemcen ~ Algérie Téléphone : + 213 (0) 43 38 05 42. Fax : + 213 (0) 213 43 38 03 19. Email : ltpo@yahoo.fr / ltpotlemcen13@gmail.com										RAPPORT DE FORAGE Sondage : SC1					
Projet : Les déformations sue le talus apparu du PK 01+000 au PK 01+150 - Rocade côtière Client : DTP Tlemcen										Dossier N° : EST-21-061 Endroit :					
Date début : 25/07/2021 Date fin : 28/07/2021 Profondeur forée (m) : 30 Niveau d'eau (m) :			Coordonnées GPS : X : Y : Z :			Boue de forage : Type forage : Carottage Foreuse : TEREDO II			Etat des échantillons : Intact ☒ Remanié ☒ Paraffiné ☒ Roche ☒						
Echelle (m)	Elevation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (N1 + N2)	RQD	Tubage	Carottier	Etat	Profondeur Echantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION				
0.30	-11.40	-11.40	100 %				CR				Terre végétale				
2.0							CR								
4.0							CR								
6.0			100 %				CR				Argile marron peu sableuse et graveleuse mi-raide				
8.0							CR								
10.0							CR								
12.0	-11.90	-11.90					CR				Roche noirâtre poreuse d'origine volcanique				
14.0							CR								
16.0							CR								
18.0							CR								
20.0			100 %				CR				Argile marron mi-raide, pâteuse par endroit, peu sableuse et graveleuse devenant indurée entre (18.00-19.00 et 23.00-24.30m) avec un passage de sable fin grisâtre entre 27.00 et 28.00)				
22.0							CR								
24.0							CR								
26.0							CR								
28.0			50 %				CR								
30.0	-28.90	-28.90	100 %				CR				Marnes grisâtre indurées à aspect schisteux				
32.0											Fin du forage à une profondeur de 30 m.				
34.0															
REMARQUES :										TYPE CAROTTIER : CF : Carottier fendu TM : Tube à paroi mince PS : Tube à position fixe CR : Tube carottier TF : Tube fendu			ABREVIATIONS : AG : Analyse granulométrique S : Sédimentométrie L : Limites d'Atterberg(WL, IP) W : Teneur en eau PV : Poids volumique(Gd, Gt) AC : Analyse chimique CIS : Cisaillement rectiligne TR : Cisaillement Triaxial Rc : Résistance à la compression OED : Essai oedométrique GL : Gonflement libre R : Refus à l'enfoncement		
Préparé par : Mr. O. FIFRA					Vérifié par : Mr. O. FIFRA					05/09/2021		Page : 1 de 1			



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST

Unité de Tlemcen

Adresse : Route Abou Tachfine BP 164 – 13000 – Tlemcen – Algérie

Téléphone : + 213 (0) 43 38 05 42. Fax : + 213 (0) 213 43 38 03 19.

Email : ltpotlemcen@yahoo.fr / ltpotlemcen13@gmail.com

RAPPORT DE FORAGE

Sondage : SC2

Projet : Les déformations sur le talus apparu du PK 01+000 au PK 01+150 - Rocade côtière

Dossier N° : EST-21-061

Cient : DTP Tlemcen

Endroit :

Date début : 28/08/2021

Date fin : 30/08/2021

Profondeur forée (m) : 30

Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:

X :

Y :

Z :

Boue de forage :

Type forage : Carottage

Foreuse : TEREDO 1

Etat des échantillons :



Echelle (m)	Élévation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (N1+N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION
			25 50 75 100								
-1,50	1,50		80 %				CR				Terre végétale
2,0									4,30 4,70		
4,0											
6,0											
8,0			90 %				CR		9,40 9,90		Argile marron pâteuse concrétionnaire à partir de 9,30m conglomérats de calcaire entre: 11,00-11,15m
10,0											
12,0									12,80 13,40 14,00 14,40		
14,0	-14,50	14,50									
16,0											
18,0			70 %				CR				Roche volcanique noirâtres poreuses fragmenté à peu compact à partir de 17,80m
20,0											
22,0											
24,0	-23,10	23,10									
26,0			60 %				CR				Marne beige mi-raide devenant grisâtre sableuse à partir de 26,80m
28,0									28,20 29,00		
30,0	-30,00	30,00									Fin du forage à une profondeur de 30 m.
32,0											
34,0											

REMARQUES :

TYPE CAROTTIER :

CF : Carottier fendu
TM : Tube à paroi mince
PS : Tube à position fixe
CR : Tube carottier
TF : Tube fendu

ABREVIATIONS :

AG : Analyse granulométrique
S : Sédimétrie
L : Limites d'Atterberg (WL, IP)
W : Teneur en eau
PV : Poids volumique (Gd, Gk)
AC : Analyse chimique
CIS : Cisaillement rectiligne
TR : Cisaillement Triaxial
Rc : Résistance à la compression
OED : Essai oedométrique
GL : Gonflement libre
R : Refus à l'enfoncement

Préparé par : Mme WACHACHERA

Vérifié par : Mme WACHACHERA

05/09/2021

Page : 1 de 1

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST Unité de Tlemcen Adresse : Route Abou Tachfine BP 164 – 13000 – Tlemcen – Algérie Téléphone : + 213 (0) 43 38 05 42. Fax : + 213 (0) 213 43 38 03 19. Email : ltpo@yahoo.fr / ltpotlemcen13@gmail.com										RAPPORT DE FORAGE Sondage : SC03			
Projet : Les déformations sue le talus apparu du PK 01+000 au PK 01+150 - Rociade cōtière Client : DTP Tlemcen										Dossier N° : EST-21-061 Endroit :			
Date début : 16/07/2021 Date fin : 18/07/2021 Profondeur forée (m) : 20 Niveau d'eau (m) :			Coordonnées GPS: X : Y : Z :			Boue de forage : Type forage : Carottage Foreuse : TEREDO II			Etat des échantillons : Intact Remanié Paraffiné Roche				
Échelle (m)	Elevation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (N1 + N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Echantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION		
0,20							CR				Remblai graveleux		
1,5							CR		1,75		Argile marron peu sableuse, mi-raide à pâteuse et indurée entre 7.00 et 7.70m, devenant marneuse graveleuse de couleur grisâtre à partir de 12.0m		
							CR		2,00				
3,0							CR		2,60				
							CR		3,00				
4,5							CR						
6,0							CR		5,75				
							CR		6,00				
7,5							CR		7,70				
							CR		8,00				
9,0							CR		9,00				
10,5							CR		9,35				
12,0							CR						
13,5							CR						
14,50							CR		14,00				
15,0							CR					Marne grisâtre mi-raide indurée à un aspect schisteux	
16,5							CR						
18,0							CR						
19,5							CR					Fin du forage à une profondeur de 20 m.	
20,0							CR						
21,0													
22,5													
24,0													
25,5													
REMARQUES :										TYPE CAROTTIER : CF : Carottier fendu TM : Tube à paroi mince PS : Tube à position fixe CR : Tube carottier TF : Tube fendu		ABREVIATIONS : AG : Analyse granulométrique S : Sédimentométrie L : Limites d'Atterberg(WL, IP) W : Teneur en eau PV : Poids volumique(Gd, Gh) AC : Analyse chimique CIS : Cisaillement rectiligne TR : Cisaillement Triaxial Rc : Résistance à la compression OED : Essai oedométrique GL : Gonflement libre R : Refus à l'enfoncement	
Préparé par : Mr. O. FIFRA					Vérifié par : Mr. O. FIFRA					05/09/2021		Page : 1 de 1	



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'OUEST

Unité de Tlemcen

Adresse : Route Abou Tachfine BP 164 – 13000 – Tlemcen – Algérie

Téléphone : + 213 (0) 43 38 05 42. Fax : + 213 (0) 213 43 38 03 19.

Email : ltpotl@yahoo.fr / ltpotlemcen13@gmail.com

RAPPORT DE FORAGE

Sondage : PMT 1

Projet : Les déformations sur le talus apparu du PK 01+000 au PK 01+150 - Rocade côtière

Dossier N° : EST-21-061

Client : DTP Tlemcen

Endroit :

Date début : 12/07/2021
Date fin : 15/07/2021
Profondeur forée (m) : 20,5
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:

X :

Y :

Z :

Boue de forage :

Type forage : Carottage

Foreuse : TEREDO 2

Etat des échantillons :

Intact

Remanié

Paraffiné

Roche



Echelle (m)	Élévation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (N1 + N2)	RQD	Tubage	Carottier	Etat	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION
			25 50 75 100								
-0.50	0.50		80 %				CR				Remblai sableux
1.5											
3.0											
4.5											
6.0			80 %				CR		8.50		Argile marron mi-raide avec quelques conglomérats par endroit
7.5											
9.0											
10.5	-10.65	10.65				76					
12.0			90 %				CR				Calcaire dolomitique grisâtre fragmenté
13.5	-13.50	13.50									
15.0											
16.5			95 %				CR				Argile marron graveleuse devenant grisâtre à partir de 14.00m
18.0									17.35 17.55 17.65		
19.5	-18.70	18.70							18.35		Calcaire dolomitique grisâtre fragmenté avec une fine passée d'argile grisâtre entre: 19.50-19.90m
21.0	-20.50	20.50	95 %				CR				Fin du forage à une profondeur de 20,5 m.
22.5											
24.0											
25.5											

REMARQUES :

TYPE CAROTTIER :

CF : Carottier fendu
TM : Tube à paroi mince
PS : Tube à position fixe
CR : Tube carottier
TF : Tube fendu

ABREVIATIONS :

AG : Analyse granulométrique
S : Sédimentométrie
L : Limites d'Atterberg (WL, IP)
W : Teneur en eau
PV : Poids volumique (Gd, Gh)
AC : Analyse chimique
CIS : Cisaillement rectiligne
TR : Cisaillement Triaxial
Rc : Résistance à la compression
OED : Essai oedométrique
GL : Gonflement libre
R : Refus à l'enfoncement

Préparé par : Mme WAHACHERA

Vérifié par : Mme WAHACHERA

05/09/2021

Page : 1 de 1

ANNEXE 2 : Glissement du terrain de la rocade côtière.



ANNEXE 3 : Mise en place des murs de soutènement associée à des pieux de stabilisation.



