

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université
Aboubekr Belkaïd
Tlemcen



جامعة
أبو بكر بلقايد

Faculté de technologie
Département de Génie civil

Mémoire de Master

Master en travaux publics

Option : Voies et ouvrages d'art

Présenté par :

Mr. MAMCHAOUI Sidi Mohammed

Mr. GAMAZ Mohammed

Analyse et stabilisation d'un talus instable par les géosynthétiques

Soutenue publiquement le 24/11/2020

Composition du Jury

| | | |
|------------------------|--------------------|-------------|
| Pr Y. HOUMADI | CU. Aïn Témouchent | Président |
| Pr A. BEKKOUCHE | U.A.B. Tlemcen | Superviseur |
| Pr A. ZADJAOUI | U.A.B. Tlemcen | Examineur |

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

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

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur, Monsieur BEKKOUCHE Abdelmalek. Pour sa confiance, sa disponibilité et le grand intérêt qu'il m'a toujours manifesté, durant la préparation de ce mémoire.

Je tiens à remercier tout particulièrement le président et membre de jury : Monsieur Youcef Houmadi d'avoir accepté la présidence du jury de ce mémoire et nous remercions Monsieur Zadjou Abdeldjalil examinateur pour l'évaluation portée à ce sujet.

Je tiens à remercier aussi tout particulièrement le chef et les cadres Administratifs de département de génie civil mes plus vifs remerciements s'adressent à tous les Enseignants de département de Génie civil mes remerciements s'attarderont aussi à mes amis de plus longue date.

Je remercie du fond du cœur mes parents, mes frères, et toute ma grande famille, de m'avoir encouragé et soutenu.

Un grand remerciement à monsieur Zerdjeb Abdelhafid et monsieur Naïmi Zoheir qui nous ont aidés à finaliser notre mémoire.

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

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à nos chères parents, qui ont beaucoup sacrifié pour nous réussissons.

A nos frères, A nos sœurs, sans oublier tous les membres de la famille.

A mes chers amis de la part de Mohammed GAMAZ, Sami

Abdeldjalil, Salah, Miloud, Khaled, Kamel, Nadir, Riad ; Rezki, Fateh, Nadjib, Mounir, Abdellah, Walid, Redouane, Raid, Krimo, Othman, Toufik et mon oncle Abderrezak et el Mokhtar.

A mon binôme Mamchaoui sidi Mohammed et toute sa famille.

Nous dédions ce travail aussi à tous nos collègues de la promotion et tous les étudiants de pôle universitaire.

Mohammed GAMAZ

Sidi Mohammed Mamchaoui

Résumé

Les talus, ce sont des terrains en pente inclinée aménagée par des travaux de terrassement pour les renforcer il existe plusieurs méthodes classiques (mur de soutènement, palplanche, clouage du sol ...) dans notre cas nous sommes intéressés à étudier la méthode de renforcement avec des géosynthétiques.

Cette méthode est couramment utilisée dans la géotechnique et les ouvrages de génie civil depuis plus de trentaines d'années comme solution pour plusieurs applications géotechniques (renforcement, drainage, étanchéité...), notre but est de prouver l'importance et l'efficacité de cette méthode.

Notre travail consiste à faire une étude théorique et numérique d'un cas réel pour bien comprendre le comportement du sol par rapport à ces produits synthétiques sans oublier une synthèse bibliographique.

Mots clés :

Géosynthétiques, talus instable, remblai, sol renforcé, rupture de talus, géogrille, géoslope.

Abstract

Embankments are sloping lands created by earthworks to reinforce them. There are several classical methods (retaining walls, sheet piling, soil nailing ...) in our case we are interested in studying the method of reinforcement with geosynthetics.

This method has been commonly used in geotechnics and civil engineering works for more than thirty years as a solution for several geotechnical applications (reinforcement, drainage, waterproofing...), our goal is to prove the importance and effectiveness of this method.

Our work aims to make a theoretical and numerical study of a real case to understand the behaviour of the soil in relation to these synthetic products without forgetting a bibliographical synthesis.

Keywords

Geosynthetics, unstable slope, backfill, reinforced soil, slope failure, geogrid, geoslope.

المخلص

المنحدرات هي أراضي مائلة أنشأتها أعمال الحفر لتقويتها. هناك العديد من الطرق الكلاسيكية لتقوية التربة (الجدران الإستنادي، الصفائح الحديدية ، تسمير التربة...) في حالتنا نحن مهتمون بدراسة طريقة التقوية باستخدام مواد الجيوسانتيستيك.

تستخدم هذه الطريقة بشكل شائع في الأعمال الجيوتقنية وأعمال الهندسة المدنية لأكثر من ثلاثين عامًا كحل للعديد من التطبيقات الجيوتقنية (التعزيز ، الصرف ، تسرب المياه...)، هدفنا هو إثبات الأهمية والكفاءة هذه الطريقة.

يتكون عملنا من إجراء دراسة نظرية وعددية لحالة حقيقية لفهم سلوك التربة فيما يتعلق بهذه المنتجات الإصطناعية دون نسيان التوليف البليوغرافي.

الكلمات المفتاحية

الجيوسانتيستيك ، منحدر غير مستقر ، ردم ، تقوية التربة ، إنهيار المنحدر ، الجيوغريد ، جيو سلوب.

Table des matières

| | |
|---|-----|
| Remerciements..... | ii |
| Dédicace..... | iii |
| Résumé..... | iv |
| Mots clés : | iv |
| Abstract..... | v |
| Keywords | v |
| الملخص | vi |
| الكلمات المفتاحية | vi |
| Table des matières..... | 1 |
| Liste des symboles | 6 |
| Liste des tableaux..... | 9 |
| Liste des figures | 10 |
| Introduction et présentation du sujet du projet de fin d'étude..... | 16 |
| Définition de talus..... | 16 |
| Les phénomènes qui peuvent causer la rupture des talus | 17 |
| Les glissements | 17 |
| Quelques cas de glissement de terrain en Algérie | 18 |
| Aperçu général sur les géosynthétiques :..... | 19 |

| | |
|---|-----------|
| Fabrication des géosynthétiques : | 19 |
| Fonction des géosynthétiques : | 19 |
| Type de géosynthétiques : | 20 |
| Avantages et inconvénients des géosynthétiques (ANGADI): | 20 |
| Marché mondiale | 21 |
| Quelques cas de glissement de terrain (K.Collins, 2007) | 22 |
| Contexte général et Aperçu du sujet | 23 |
| Revue de la littérature | 25 |
| Enoncé du problème | 28 |
| Méthodologie | 29 |
| Structure du mémoire..... | 29 |
| Chapitre 1 Glissement de talus dans le domaine routier | 30 |
| 1.1 . Introduction : | 30 |
| 1.2 . La relation entre le phénomène de glissement et l'environnement routier : | 30 |
| 1.3 . Les glissements de terrain : | 32 |
| 1.3.1 . Glissement rotationnel | 33 |
| 1.3.2 . Glissement plan..... | 34 |
| 1.4 . Des phénomènes courants dans les talus de route : | 35 |
| 1.4.1 . Coulées de boue | 35 |
| 1.4.2 . Chutes de pierres ou blocs | 36 |
| 1.4.3 . Le basculement des talus rocheux..... | 37 |
| 1.4.4 . Glissement de la chaussée..... | 38 |
| 1.5 . Les causes de glissement de terrain : | 39 |
| 1.5.1 . L'effet de l'eau..... | 39 |
| 1.5.2 . Les effets de mouvement de terre | 41 |
| 1.5.3 . Les effets humains | 41 |
| 1.6 . Quelques cas pathologiques observés : | 42 |
| 1.7 . Conclusion : | 46 |
| Chapitre 2 Les géosynthétiques & leurs applications..... | 47 |

| | | |
|---|--|----|
| 2.1 | . Introduction : | 47 |
| 2.2 | . Définition et origine des géosynthétiques : | 47 |
| 2.2.1 | . Définition | 47 |
| 2.2.2. | Origine des géosynthétiques | 48 |
| 2.3 | . Classification des géosynthétiques : | 49 |
| 2.3.1 | . Géotextiles | 51 |
| 2.3.2 | . Produits apparentés aux géotextiles | 52 |
| 2.3.3 | . Géomembrane | 56 |
| 2.3.4 | . Géosynthétiques bentonitiques | 56 |
| 2.4 | . Principales propriétés des géosynthétiques : | 58 |
| 2.5 | . Les fonctions principales des géosynthétiques : | 59 |
| 2.6. | L'effet de géogrille sur la capacité portante de sol : | 62 |
| 2.7. | Principaux domaines d'application : | 63 |
| 2.8. | Conclusion : | 68 |
| | | |
| Chapitre 3 La stabilisation des talus par les géosynthétiques - Techniques de conception et de réalisation avec des exemples..... | | 69 |
| 3.1 | . Introduction : | 69 |
| 3.2 | . Les principes généraux : | 70 |
| 3.2.1 | . Critères de rupture de Mohr-Coulomb pour les talus | 70 |
| 3.2.2 | . Principe de fonctionnement de la terre armée..... | 71 |
| 3.3 | . Techniques de conception : | 74 |
| 3.3.1 | . Les concepts de la conception..... | 74 |
| 3.3.2 | . Méthodes d'analyse détaillées | 76 |
| 3.3.3 | . Méthode de coin de rupture simple (Approche de conception directe) | 79 |
| 3.4 | . Techniques de construction : | 84 |
| 3.5 | . Des exemples de projets de construction avec les géosynthétiques : | 90 |
| 3.5.1 | . Traitement d'un glissement de terrain sur le CW13 à Tifra willaya de Bejaïa | 90 |
| 3.5.2 | . Des ouvrages de sol renforcé par utilisation des géosynthétiques internationales | 93 |

| | | |
|-------------------------|--|-----|
| 3.6 | . Conclusion : | 94 |
| Chapitre 4 Etude de cas | | 95 |
| 4.1 | . Introduction : | 95 |
| 4.2 | . Présentation du logiciel GEO-SLOPE : | 95 |
| 4.3 | . Notion de coefficient de sécurité : | 97 |
| 4.4 | . Étude de premier modèle (cas quartier El Rkiza) : | 98 |
| 4.4.1 | . Présentation | 98 |
| 4.4.2 | . Les détails de la solution actuelle réalisée sur place : | 101 |
| 4.4.3 | . Caractéristiques géométriques du premier modèle : | 103 |
| 4.4.4 | . Propriétés des couches de sols : | 104 |
| 4.4.5 | . Calcul analytique de premier modèle : | 104 |
| 4.5 | . La modélisation pour le premier modèle : | 111 |
| 4.5.1 | . Avant renforcement | 111 |
| 4.5.2 | . Après renforcement avec les géosynthétiques | 113 |
| 4.6 | . Comparaison des devis quantitatifs et estimatifs entre les deux solutions : | 116 |
| 4.6.1 | . Interprétation des résultats | 117 |
| 4.7 | . Étude de deuxième modèle : (cas village Aïn El Hout) | 118 |
| 4.7.1 | . Présentation | 118 |
| 4.7.2 | . La solution proposée du deuxième modèle | 120 |
| 4.7.3 | . Caractéristiques géométriques du deuxième modèle : | 121 |
| 4.7.4 | . Calcul analytique de deuxième modèle : | 122 |
| 4.8 | . Modélisation : | 125 |
| 4.8.1 | . Avant renforcement : | 125 |
| 4.8.2 | . Après renforcement | 126 |
| 4.8.3 | . Influence de changement de méthodes d'analyse sur le coefficient de sécurité : | 127 |
| 4.8.4 | . Interprétation des résultats obtenus | 128 |
| 4.9 | . Mise en œuvre de la solution : | 129 |
| 4.10 | . Conclusion : | 137 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Conclusion générale..... | 138 |
| Bibliographie | 140 |
| Webographie | 142 |

Liste des symboles

τ_f : La résistance du sol (Kpa)

FS_U : Le facteur de sécurité pour la section non renforcée

FS_R : Le facteur de sécurité pour la section renforcée

W : Le poids de la masse glissante

c : La cohésion (Kpa)

M_R : Moment résistant

M_D : Moment de glissement

M_G : Moment de résistance du au renforcement

T_{hor} : La force de traction du renforcement (KN/m)

Le : la longueur d'encastrement requise d'un élément de renforcement (m)

R_{po} : Résistance à l'arrachement (KN/m)

σ_n : Contrainte normale agissant sur la longueur d'ancrage de la géogridde (KN/m²)

C_i : Coefficient d'interaction pour l'arrachement

ϕ_i : Angle de frottement maximal pour le sol renforcé (deg)

FS : Facteur de sécurité pour la rupture d'arrachement

H : Hauteur de la pente (m)

H' : Hauteur de la pente modifiée (m)

q : Surcharge uniforme en haut de la pente (KN/m²)

β: Angle de la pente (deg)

Φ' : Angle de frottement effectif du sol no renforcé (deg)

γ: Poids unitaire humide du sol (KN/m³)

Φ'_R : Angle de frottement effectif du sol renforcé (deg)

T_{max} : La force de traction maximale (KN/m)

LT : la longueur de renforcement requise au sommet de la section renforcée(m)

LB : la longueur de renforcement requise au bas de la section renforcée (m)

LTDS : calculer la résistance de conception à long terme du matériau (KN/m)

T_{ult} : Résistance à la traction ultime de l'armature (KN/m)

RF_{CR} : Facteur de réduction dû au fluage

RF_{ID} : Facteur de réduction dû à l'endommagement de l'installation

RF_D : Facteur de réduction dû à la durabilité

N : Nombre de couches de la géogridde

S_V : L'espace vertical entre les lits de renforcement (m)

F_g : La résistance totale à la traction nécessaire du renforcement (KN/m)

γ_w : Poids unitaire de l'eau (KN/m³)

P_r : La résistance à l'arrachement du renforcement

w_{gsy} : La largeur du matériau de renforcement

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 0-1 : Angle de talus naturel de quelques terrains (modifié le 13 juillet 2016) BTP 16 | |
| Tableau 4-1 : Équilibre des talus en fonction des valeurs théoriques du coefficient de sécurité | 98 |
| Tableau 4-2 : Coordonnées des points (modèle 1) | 103 |
| Tableau 4-3 : Les caractéristiques géotechniques (modèle 1)..... | 104 |
| Tableau 4-4 : Un tableau récapitulatif de calcul manuel qui représente les résultats (FS c'est le facteur de sécurité et MR le moment résistant)..... | 109 |
| Tableau 4-5 : Coordonnées des points (modèle 2) | 121 |
| Tableau 4-6 : Les caractéristiques géotechniques (modèle 2)..... | 122 |
| Tableau 4-7 : les résultats obtenus de calcul de la stabilité de talus..... | 124 |
| Tableau 4-8 : résumé des résultats de l'analyse | 127 |
| Tableau 4-9 : résumé des résultats obtenus | 128 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 0-1 : profil en long d'un talus naturel après calcul de pente | 16 |
| Figure 0-2 : glissement de terrain comment cela fonctionne..... | 17 |
| Figure 0-3 : Glissement de terrain SIDI YAHIA (16 aout 2017) article (Wahida oumssaoud) | 18 |
| Figure 0-4 : Glissement de terrain sur RN9 (Bejaïa) par (Riyad Hamadi) | 18 |
| Figure 0-5 : Taille du marché américain de l'automatisation des processus intelligents, par service, 2015-2025 (en millions USD) | 22 |
| Figure 0-6 : promenade de la crête bleue (Milepost 348), rupture de la pente de remblai qui a déclenché l'écoulement de débris de Bear Drive Branch sur la forêt nationale de Pisgah, en Caroline du Nord (ouragan Frances, septembre 2004) | 22 |
| Figure 0-7 : avertit des signes de remplissage instable (affaissement, fissures de tension, escarpements) Le coin inférieur gauche de la photo montre un escarpement majeur d'échec de remplissage de la route qui s'est mobilisé dans un flux de débris provenant des restes de fortes pluies de l'ouragan Francis en 2004 dans la subdivision Bear Rock Estates | 23 |
| Figure 0-8 : illustration graphique sur les cas possibles de projet routier en sol renforcé..... | 25 |
| Figure 0-9 : Photo qui montre les endroits mentionnés dans le texte | 27 |
| Figure 0-10 : les anciens matériaux utilisés pour le renforcement du sol..... | 27 |
| | |
| Figure 1-1 : Exemple de route construite en creusant une pente et en utilisant le matériau déblayé comme remblai | 32 |
| Figure 1-2 : L'image illustre les étiquettes couramment utilisées pour les parties d'un glissement de terrain rotationnel (Peter , et al., 2008)..... | 33 |

| | |
|---|----|
| Figure 1-3 : Schéma d'un glissement plan (Peter , et al., 2008)..... | 35 |
| Figure 1-4 : Schéma d'une coulée de boue (Peter , et al., 2008)..... | 36 |
| Figure 1-5 : Schéma d'une chute de pierres (Peter, et al. 2008)..... | 37 |
| Figure 1-6 : Schéma d'un basculement (Peter , et al., 2008)..... | 38 |
| Figure 1-7 : Schéma d'un glissement de chaussée (NIPPON KOEI CO., June 2007)..... | 38 |
| Figure 1-8 : L'effet de l'eau sur les talus..... | 40 |
| Figure 1-9 : Rupture due au séisme | 41 |
| Figure 1-10 : Le glissement de terrain à la route menant d'El Mouradia vers Bir Mourad Raïs (Alger)..... | 43 |
| Figure 1-11 : Le glissement de terrain et érosion du sol à la CW 7 à chelailia Mostaganem sur la RN 11 à Djebel Diss..... | 43 |
| Figure 1-12 : Le glissement de terrain de Bouzaréah (Alger) | 44 |
| Figure 1-13 : Le glissement de terrain de Boumerdès | 44 |
| Figure 1-14 : Le glissement d'Azazga (Tizi-Ouzou)..... | 45 |
| Figure 1-15 : Le glissement de Sidi Youcef, béni messous, Alger..... | 45 |
| Figure 1-16 : Le glissement de La route de Triolet entre Bab El Oued –Chevalley | 46 |
| | |
| Figure 2-1 : Les principaux types de géosynthétiques (adapté de la norme NF EN ISO 10318-1 ((AFNOR, 2015)) | 51 |
| Figure 2-2 : Différents types de géotextiles (Khaled, 2018)..... | 52 |
| Figure 2-3 : les trois types de géogrilles (Shukla, 12 July 2017)..... | 53 |
| Figure 2-4 : Géoespaceur (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)..... | 54 |
| Figure 2-5 : les géofilets (Shukla, 12 July 2017)..... | 54 |
| Figure 2-6 : les géosynthétiques alvéolaires (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017) | 55 |
| Figure 2-7 : géotextile tube | 56 |
| Figure 2-8 : une géomembrane | 56 |
| Figure 2-9 : les géosynthétiques bentonitiques..... | 57 |
| Figure 2-10 : géocomposite (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017) | 57 |
| Figure 2-11 : fonction de drainage..... | 59 |

| | |
|---|----|
| Figure 2-12 : fonction de filtration | 59 |
| Figure 2-13 : fonction de séparation | 60 |
| Figure 2-14 : fonction de protection | 60 |
| Figure 2-15 : fonction de renforcement | 61 |
| Figure 2-16 : Fonction anti-érosion | 61 |
| Figure 2-17 : Sélection de géosynthétiques en fonction de leurs fonctions (Yin, 2006)..... | 62 |
| Figure 2-18 : Essai d'un homme sur une case contenant des couches granulaires sans géogrille | 62 |
| Figure 2-19 : Essai d'un homme sur une case contenant des couches granulaires+géogrille | 63 |
| Figure 2-20 : Essai avec un véhicule sur une case contenant des couches granulaires+géogrille | 63 |
| Figure 2-21 : Utilisation des géosynthétiques pour la protection des barrages | 64 |
| Figure 2-22 : Renforcement d'une chaussée avec une géogrille à haut module pour assurer son rôle d'anti-remontée de fissures | 65 |
| Figure 2-23 : Les différentes étapes d'un projet de bâtiments en utilisant les géosynthétiques (Nathalie, et al., 10 avril 2015) | 66 |
| Figure 2-24 : Ouvrage montre l'étanchéité de casier pour l'installation de stockage de déchets non dangereux | 67 |
| Figure 2-25 : principales applications des géosynthétiques selon la norme NF EN ISO 10318-2 (AFNOR, 2015) (TANO, 23 novembre 2016.)..... | 68 |
| Figure 3-1 : Enveloppe de rupture Mohr-Coulomb pour la résistance au cisaillement des sols (Yoo-Jae Kim 1, 16 May 2019) | 70 |
| Figure 3-2 : Critères de rupture de Mohr-Coulomb pour les talus | 71 |
| Figure 3-3 : Une photo qui explique les différentes parties d'un massif de sol renforcé par un géosynthétique | 71 |
| Figure 3-4 : Les différents cas de parements qui peuvent être utilisés dans un massif de sols renforcés par géosynthétique | 72 |
| Figure 3-5 : l'intime interaction entre le remblai et le renforcement géosynthétique | 73 |
| Figure 3-6 : Illustration graphique des modes de rupture des pentes en sol renforcé..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| Figure 3-7 : Modèle de la méthode d'analyse détaillée..... | 76 |
| Figure 3-8 : Modèle de pente de renforcement multicouche | 78 |
| Figure 3-9 : Géométrie des pentes et définitions | 80 |
| Figure 3-10 : Le coefficient de renforcement K | 81 |
| Figure 3-11 : Ratios de longueur de renforcement | 82 |
| Figure 3-12 : Représentation graphique sur les trois zones principales dans la conception... | 84 |
| Figure 3-13 : Coupe transversale de talus renforcé avec angle de pente < 45° | 85 |
| Figure 3-14 : Coupe transversale de talus renforcé avec angle de pente < 45° | 86 |
| Figure 3-15 : Vue isométrique d'un revêtement en tissu métallique soudé | 87 |
| Figure 3-16 : Composants d'une pente renforcée par le WWF | 88 |
| Figure 3-17 : Séquence de construction pour l'habillage du WWF pente renforcée | 88 |
| Figure 3-18 : Stabilité des sols superficiels avec renforcement géosynthétique | 89 |
| Figure 3-19 : vue du glissement..... | 91 |
| Figure 3-20 : Profil de l'ouvrage et densité de renforcement | 91 |
| Figure 3-21 : vue de l'ouvrage en cours de construction et achevé..... | 92 |
| Figure 3-22 : Des images qui présentent le Traitement de glissement de terrain au niveau du PK110 lot ouest section w 8-1 de l'autoroute est-ouest..... | 92 |
| Figure 3-23 : Des images qui présentent la construction d'un talus renforcé à Taiwan | 93 |
| Figure 4-1 : Présentation du logiciel GEOSLOPE GEOSTUDIO 2012 | 96 |
| Figure 4-2 : La zone d'étude [Google Earth]..... | 98 |
| Figure 4-3 : Localisation du site de glissement (photo prise en 2016 DTP-Tlemcen et STP- Maghnia)..... | 99 |
| Figure 4-4 : photo montre le talus de Rkiza après la solution préconisée | 101 |
| Figure 4-5 : Une photo qui présente l'analyse du talus de Rkiza par le CODE PLAXIS .. | 102 |
| Figure 4-6 : Un dessin technique qui présente les détails de la solution reprise | 102 |
| Figure 4-7 : Géométrie du premier modèle analysé | 103 |
| Figure 4-8 : La modélisation du modèle 1 de Rkiza avec geoslope sans renforcement | 104 |
| Figure 4-9 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza qui montre tous les paramètres nécessaires pour le calcul manuel | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figure 4-10 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza qui montre les longueurs d'arc pour le calcul manuel | 106 |
| Figure 4-11 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza..... | 107 |
| Figure 4-12 : La fiche technique géogridle UX 1800 HS (Tensar) | 108 |
| Figure 4-13 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza qui montre la distribution des couches de géogridles sur le talus | 111 |
| Figure 4-14 : photo montre les matériaux entrés dans l'analyse et leurs propriétés..... | 112 |
| Figure 4-15 : photo montre les matériaux entrés dans l'analyse et leurs propriétés..... | 112 |
| Figure 4-16 : Capture des résultats de l'analyse du talus sans renforcement | 113 |
| Figure 4-17 : photo qui permet d'affecter les nappes géogridles et leurs propriétés..... | 114 |
| Figure 4-18 : Une capture d'écran agrandie pour bien voir la distribution des nappes géogridles dans le talus | 115 |
| Figure 4-19 : Capture du résultat de l'analyse du talus | 115 |
| Figure 4-20 : la zone d'étude (Image satellitaire par Google earth)..... | 118 |
| Figure 4-21 : photo montrant mesure de l'angle de la pente sur le site d'étude | 119 |
| Figure 4-22 : Photo décrit le site de glissement étudié | 119 |
| Figure 4-23 : Géométrie du deuxième modèle analysé | 121 |
| Figure 4-24 : valeur de coefficient de sécurité sans renforcement | 125 |
| Figure 4-25 : la fiche technique géogridle UX 1100 HS (Tensar) | 126 |
| Figure 4-26 : valeur de coefficient de sécurité après renforcement..... | 127 |
| Figure 4-27 : Longueur mesurée et ligne de coupe pour les géogridles UX (Tensar®)..... | 129 |
| Figure 4-28 : Champ coupant la géogridle UX | 130 |
| Figure 4-29 : une section typique à travers une réparation de glissement TENSARTECH® | 131 |
| Figure 4-30 : Installation de la première couche d'une géogridle UX perpendiculairement à la face de la pente..... | 132 |
| Figure 4-31 : photo montre le processus de renforcement de talus par les géogridles | 133 |
| Figure 4-32 : photo montre L'équipement de compactage lourd | 134 |
| Figure 4-33 : Les géogridles Tensar BX utilisées pour le renforcement secondaire..... | 134 |

Figure 4-34 : Une coupe typique du système TensarTech GreenSlope illustré avec une face pour aider à l'irrigation de la végétation..... 135

Figure 4-35 : Élément de connexion..... 136

Figure 4-36 : Les systèmes de pentes abruptes Tensar® (inclinaison de la pente entre 45° à 70°)..... 136

Introduction et présentation du sujet du projet de fin d'étude

Définition de talus

C'est la pente, ou inclinaison de terrain résultant de travaux de terrassement lors de la construction (les routes, les chemins de fer...) ces pentes sont réalisées pour éviter le glissement de terrain suivant la nature du terrain.

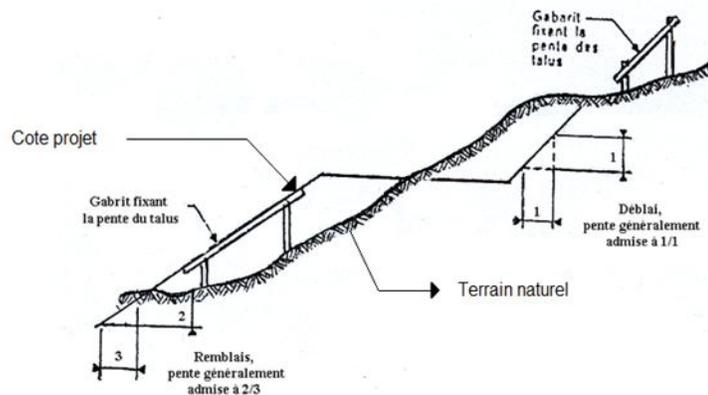


Figure 0-1 : profil en long d'un talus naturel après calcul de pente

Tableau 0-1 : Angle de talus naturel de quelques terrains (modifié le 13 juillet 2016) BTP

| NATURE DE TERRES | ANGLE DU TALUS NATUREL | |
|---------------------|------------------------|-----------------|
| | TERRAIN SEC | TERRAIN MOUILLE |
| Sable fin | $\pm 25^\circ$ | $\pm 15^\circ$ |
| Terre végétale | $\pm 40^\circ$ | $\pm 30^\circ$ |
| Terre très compacte | $\pm 50^\circ$ | $\pm 40^\circ$ |
| Argile | $\pm 40^\circ$ | $\pm 15^\circ$ |
| Cailloux éboulis | $\pm 50^\circ$ | $\pm 40^\circ$ |

Les phénomènes qui peuvent causer la rupture des talus

Si on parle du terme rupture de talus ça veut dire qu'il y a un mouvement de terrain ils existent plusieurs types qui peuvent se manifester.

On peut citer les types qui nous intéressent pour l'étude d'un talus :

- Le glissement de terrain
- Glissement de la chaussée
- Le basculement des talus rocheux
- Chutes de pierres ou blocs
- Coulées de boue

Ces phénomènes différents sont classés selon les critères suivants :

- Types de terrains affectés.
- Types de mouvements.
- Vitesse des processus.
- Taux de remaniement des matériaux après le mouvement.

Les glissements

Un glissement de terrain est un phénomène où une masse de terre descendante sur une pente, autrement dit un plan de glissement plus ou moins continu.

Après la mise en mouvement la masse conserve globalement sa consistance elle reste toujours reconnaissable.

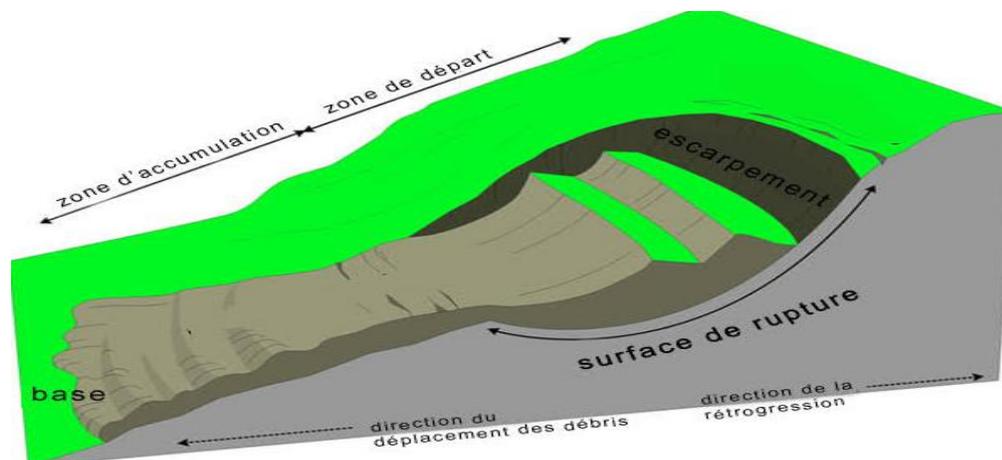


Figure 0-2 : glissement de terrain comment cela fonctionne

Quelques cas de glissement de terrain en Algérie

- Le glissement de terrain à **Sidi Yahia (Alger)** :

Un glissement de terrain sur un chantier (quatre blessés) le 14/08/2017 à 21:40.



Figure 0-3 : Glissement de terrain SIDI YAHIA (16 aout 2017) article (Wahida oumssaoud)

- Cas de glissement de terrain sur RN9 (Bejaïa) le 23/03/2019 à 15:04 pas de dégâts humains ou matériels, mais l'endroit de glissement est dangereux dans un virage.



Figure 0-4 : Glissement de terrain sur RN9 (Bejaïa) par (Riyad Hamadi)

Aperçu général sur les géosynthétiques :

Le géosynthétique est le terme indicatif désignant un produit, dont au moins l'un des constituants est à base de polymère (synthétique ou naturel), se présentant sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou bien la roche et/ou d'autres matériaux dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.

Fabrication des géosynthétiques :

Les géosynthétiques sont généralement fabriqués à partir de polymères à base pétrochimique « plastiques » qui sont biologiquement inertes et ne se décomposent pas sous l'action bactérienne ou fongique. Bien que la plupart soient essentiellement inertes aux produits chimiques, certains peuvent être endommagés par la pétrochimie et la plupart ont un certain degré de sensibilité à la lumière ultraviolette (lumière du soleil). D'un point de vue chimique, ce dernier est un ensemble constitué de plusieurs macromoléculaires, dont ces polymères sont très utiles dans différentes applications du génie civil, il est très cher, car il est importé de l'étranger étant donné que l'Algérie est un pays riche en pétrole (matière organique), nous pouvons le fabriquer et l'incorporer dans notre pays pour développer l'économie nationale.

Fonction des géosynthétiques :

L'intégration de géosynthétiques dans le sol permet d'en améliorer le comportement mécanique et hydraulique. Les rôles principaux sont les suivants :

- Séparation
- Renforcement
- Protection
- Étanchéité
- Filtration
- Drainage

Type de géosynthétiques :

Parmi les types des géosynthétiques, on les cite selon leurs fonctions :

1. Géotextile
2. Géogrille
3. Géofilet
4. Géocomposite
5. Géosynthétique bentonitique
6. Géosynthétique alvéolaire
7. Géomembrane

Avantages et inconvénients des géosynthétiques (ANGADI):

Avantages

- moins cher en termes de coût du produit, de transport et d'installation
- peut être conçu (prévisibilité)
- peuvent être installés rapidement et peuvent être construits avec souplesse pendant une courte période
- cohérente sur une large gamme de sols
- économie d'espace
- contrôle de la qualité des matériaux - plus homogène que le sol et les agrégats
- un meilleur contrôle de la qualité de la construction sur le site
- moins sensible à l'environnement
- l'amélioration des performances et l'allongement de la durée de vie
- un facteur de sécurité accru
- compatible avec les conditions de terrain
- l'augmentation de la durée de vie des chaussées souples
- augmentation de la capacité de charge admissible

Inconvénients

- Les performances à long terme de la résine formulée particulière utilisée pour fabriquer le géosynthétique doivent être assurées en

utilisant des additifs appropriés, y compris des antioxydants, des filtres ultraviolets et des charges.

- Le colmatage des géotextiles, des géofilets, des géotuyaux et/ou des géocomposites est une conception difficile pour certains types de sols ou des situations inhabituelles, par exemple les sols loess, la cohésion fine moins les limons, les liquides très turbides et les liquides chargés de micro-organismes (ruissellement de la ferme) sont gênants et nécessitent généralement des évaluations de tests spécialisés.
- la manipulation, le stockage et l'installation doivent être assurés par un contrôle et une assurance de qualité minutieux.

Marché mondiale

La taille du marché mondial des géosynthétiques était estimée à 13,20 milliards de dollars en 2018 et devrait enregistrer un TCAC de 6,2 % sur la période de prévision. Le développement rapide de l'industrie de la construction dans les économies émergentes d'Asie Pacifique et d'Amérique centrale et du Sud devrait être le moteur de la croissance du marché.

L'utilisation croissante des géosynthétiques dans les activités de construction devrait stimuler le développement durable et contribuer de manière significative à la réduction de l'empreinte carbone. En outre, la pénétration des géotextiles, des géonets et des géogrilles dans la construction de routes et de chemins de fer contribue à réduire le coût global d'installation des infrastructures de transport.

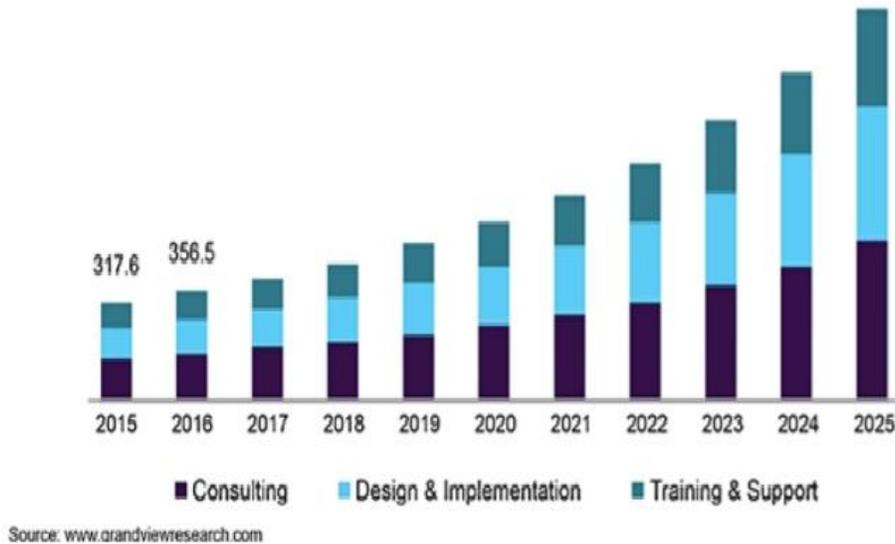


Figure 0-5 : Taille du marché américain de l'automatisation des processus intelligents, par service, 2015-2025 (en millions USD)

Quelques cas de glissement de terrain (K.Collins, 2007)

Cas 01 :



Figure 0-6 : promenade de la crête bleue (Milepost 348), rupture de la pente de remblai qui a déclenché l'écoulement de débris de Bear Drive Branch sur la forêt nationale de Pisgah, en Caroline du Nord (ouragan Frances, septembre 2004)

Cas 02:



Figure 0-7 : avertissement des signes de remplissage instable (affaissement, fissures de tension, escarpements) Le coin inférieur gauche de la photo montre un escarpement majeur d'échec de remplissage de la route qui s'est mobilisé dans un flux de débris provenant des restes de fortes pluies de l'ouragan Francis en 2004 dans la subdivision Bear Rock Estates

Contexte général et Aperçu du sujet

Les talus existent dans plusieurs domaines (les routes, chemins de fer, milieux urbains, espaces naturels), les phénomènes d'instabilités des talus sont des problèmes connus qui ont provoqué énormément de dégâts matériels et parfois humaines à l'échelle nationale et internationale.

La présence ou l'écoulement de l'eau dans les sols favorise l'apparition de phénomène de glissement. Le glissement est un phénomène naturel très connu dans la géotechnique vu que l'Algérie est un pays situé au nord de l'Afrique, le climat au nord-est souvent humide et pluvieux. Nous sommes intéressés particulièrement par la méthode de stabilisation en utilisant les produits géosynthétiques qui sont très utilisés mondialement, mais rarement utilisés en Algérie malgré qu'elles aient de bons résultats (efficace, rentable, économique).

Les géosynthétiques sont principalement utilisés comme renforcement des pentes pour la construction de pentes à angles plus raides que celles construites avec le matériau de remplissage utilisé, comme l'illustre la figure. Les géosynthétiques utilisés de cette manière peuvent permettre une économie importante du projet en (Robert D. Holtz, et al., April 1998) :

- en créant de l'espace terrestre utilisable au sommet ou au pied de la pente renforcée
- en réduisant le volume de remblai nécessaire
- en permettant l'utilisation d'un remblai de qualité inférieure à celle d'un remblai de qualité supérieure
- en éliminant les dépenses liées aux éléments de façade requis sur les murs de soutènement.

Les pentes peuvent être instables à l'angle de pente souhaité. Plusieurs couches de géogrilles ou de géotextiles peuvent être placées dans une pente de remblai pendant la construction ou la reconstruction pour renforcer le sol et offrent une stabilité accrue des pentes. Les pentes de sol renforcées sont une forme de la terre stabilisée qui incorpore des éléments de renforcement planaires dans les constructions en pente les structures dont l'inclinaison des faces est inférieure à 70° (Robert D. Holtz, et al., April 1998).

Parmi les applications qui mettent en évidence certaine de ces avantages voir la **Figure 0-8** :

- la construction de nouveaux remblais d'autoroute
- la construction d'alternatives aux murs de soutènement
- l'élargissement des remblais d'autoroute existants
- la réparation des pentes défailantes

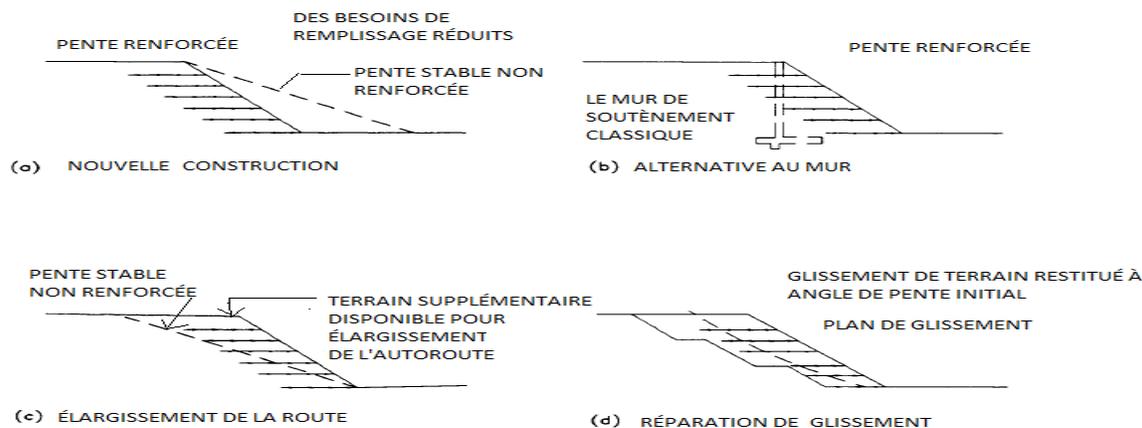


Figure 0-8 : illustration graphique sur les cas possibles de projet routier en sol renforcé

Dans cette application, la stabilité structurelle du sol est largement améliorée par la résistance à la traction du matériau géosynthétique. Ce concept est similaire à celui du renforcement du béton avec de l'acier. Le béton étant faiblement tendu, l'acier d'armature est utilisé pour le renforcer. Les matériaux géosynthétiques fonctionnent de la même manière que l'acier d'armature en fournissant une résistance à la traction qui aide à maintenir le sol en place. Renforcement fourni par des géotextiles ou des géogrilles permet de construire des remblais et des routes sur des sols très fragiles et permet la construction de talus plus raides (Robert D. Holtz, et al., April 1998).

Revue de la littérature

Le concept de renforcement de la terre n'est pas nouveau, les principes de base sont démontrés dans la nature par les animaux et les oiseaux et l'action des racines des arbres.

Les principes fondamentaux de la technique sont décrits dans la Bible (Exode 5, v 6-9), couvrant le renforcement de l'argile ou des briques avec des roseaux ou de la paille pour la construction d'habitations. Les constructions utilisant ces techniques remontent aux 5^e et 4^e millénaires avant J.-C. Les

plus anciens exemples de renforcement du sol sont la ziggurat de l'ancienne ville de Dur-Kurigatzu, aujourd'hui connue sous le nom d'Agar-Quf, et la Grande Muraille de Chine. La ziggourat d'Agar-Quf, qui se trouve à cinq kilomètres au nord de Bagdad, était construite en briques d'argile d'une épaisseur variant entre 130 et 400 mm, renforcées par des nattes de roseau tissées voir la **Figure 0-10**. Posées horizontalement sur une couche de sable et de gravier à des intervalles verticaux variant entre 0,5 et 2,0 m. Des roseaux étaient également utilisés pour former des cordes tressées d'environ 100 mm de diamètre qui traversent la structure et servent de renfort (Jones, December 2002) voir la **Figure 0-9**.

La structure Agar-Quf mesure aujourd'hui 45 m de haut. À l'origine, on pense qu'elle faisait plus de 80 m de haut ; on pense qu'elle a plus de 3000 ans. On sait que d'autres ziggourats ont été construites, notamment la structure d'Ur, achevée vers 2025 avant J.-C., et le sanctuaire de Mardouk à Babylone, parfois connu sous le nom de Tour de Babel, achevé vers 550 avant J.-C. La Grande Muraille de Chine, dont certaines parties ont été achevées vers 200 avant J.-C., contient des exemples de sols fortifiés, dans ce cas l'utilisation était faite de mélanges d'argile et de gravier renforcés par des branches de tamaris (Jones, December 2002).



Figure 0-9 : Photo qui montre les endroits mentionnés dans le texte



Figure 0-10 : les anciens matériaux utilisés pour le renforcement du sol

Exclusivement, les matières premières à partir desquelles les géosynthétiques sont des produits polymères. Les polymères sont des matériaux de très haut poids moléculaire et on trouve de nombreux dans la société actuelle.

La formulation d'un matériau polymère est une tâche complexe. Aucun matériau géosynthétique n'est 100 % de la résine polymère associée à son nom, car les polymères purs ne conviennent pas pour la production de géosynthétiques. Bien que la plupart des géosynthétiques soient fabriqués à partir de polymères synthétiques, en particulier les géotextiles, peuvent également incorporer du fil d'acier ou des matériaux naturels biodégradables les fibres telles que le jute, le coco, le papier, le coton, la laine, la soie, etc. Les géotextiles biodégradables sont généralement limités aux applications de lutte contre l'érosion où la végétation naturelle remplacera le rôle du géotextile lorsqu'il se dégrade (Shukla, 12 July 2017).

Plusieurs facteurs environnementaux influent sur la durabilité des polymères. Ultraviolet composante du rayonnement solaire, la chaleur et l'oxygène, et l'humidité sont les facteurs en surface qui peuvent conduire à une dégradation. Sous terre, les principaux facteurs affectant la durabilité des polymères sont la taille et l'angularité des particules du sol, l'acidité/alcalinité, les ions de métaux lourds, la présence d'oxygène, d'humidité, de teneur en matière organique et de température (Shukla, 12 July 2017).

Enoncé du problème

Dans ce mémoire on traite une étude de stabilisation d'un talus instable avec l'utilisation de produit géosynthétique, on va l'appliquer pour un cas réel vu que cette méthode est très utilisée récemment à l'échelle mondiale. Dans ce cas de problème géotechnique qui nécessite une des réponses aux questions suivantes :

- Ce sont quoi ces produits ? Leurs comportements ? Leurs propriétés ?
- Pourquoi cette méthode est favorable pour notre pays ?
- Est-ce que cette méthode est rentable ? Efficace ? Économique ?
- Comment vérifier la stabilité d'un talus donné ?

- S'il est instable comment le stabiliser avec les produits géosynthétiques ?
- Comment utiliser l'outil informatique pour résoudre ce cas de problème ?

Méthodologie

Le travail réalisé dans ce mémoire est composé de quatre chapitres répartis avec une introduction générale pour présenter le travail effectué, un résumé et une conclusion générale.

Un premier chapitre présentant une étude bibliographique sur les causes de glissement de talus routier.

Un deuxième chapitre dévoué sur les géosynthétiques et les différentes applications exécutées.

Un troisième chapitre se fondant sur la stabilisation des talus par les géosynthétiques (techniques de conception, techniques de réalisation avec des exemples).

Un quatrième chapitre comportant une présentation du site étudié suivant d'une analyse manuel vis-à-vis de la stabilité interne, externe et une application numérique du code GEOSTUDIO par la méthode des tranches pour la vérification de la stabilité globale.

Structure du mémoire

- Chapitre 1 : Glissement de talus dans le domaine routier
- Chapitre 2 : Les géosynthétiques et leurs applications
- Chapitre 3 : La stabilisation des talus par les géosynthétiques - Techniques de conception et de réalisation avec des exemples
- Chapitre 4 : Stabilisation d'un talus - Étude de cas

Chapitre 1

Glissement de talus dans le domaine routier

1.1 . Introduction :

Les glissements de terrain se produisent dans le monde entier, quel que soit les conditions climatiques et les terrains, coûtent des milliards de dollars en pertes monétaires et sont responsables de milliers de morts et de blessés chaque année. Souvent, ils provoquent des perturbations économiques à long terme et des effets négatifs sur l'environnement naturel.

Les glissements de terrain sont souvent caractérisés comme des problèmes locaux, mais leurs effets et leurs coûts dépassent souvent les limites des juridictions locales et peuvent devenir des problèmes d'état ou de province ou des problèmes nationaux.

Le problème de la prévention des glissements des ouvrages routiers en terre reste d'actualité. Des travaux de grande envergure, réalisés dans le domaine du génie civil de transport, touchent de plus en plus des terrains caractérisés par des conditions géologiques compliquées, pour cette raison dans ce chapitre on va bien définir les différents aspects de glissement et ces types et les causes de ce phénomène naturel.

1.2 . La relation entre le phénomène de glissement et l'environnement routier :

Il ne fait aucun doute que la construction des routes est une activité extrêmement importante dans les pays. Nombreux des milliers d'heures de

travail sont consacrées chaque année pour localiser, concevoir, construire et entretenir des routes. La construction de routes stables peut parfois être difficile en raison de terrain, la faiblesse du matériel géologique et la lourde pluie d'hiver qui sont commun aux régions de nord.

Les pannes de route peuvent exercer un impact considérable sur les ressources naturelles et peut entraîner de graves pertes économiques en raison des cours d'eau bloqués, des ponts détruits, et les dommages à la propriété privée. Il est essentiel que le personnel chargé de la construction des routes soit, conscient de principes de base de la stabilité des pentes, et comprendre comment ce principe peuvent être utilisé pour construire des routes stables à travers divers des matériaux géologiques avec des conditions spécifiques de la pente et le sol (Burroughs, et al., 1976).

Les routes traversant des terrains escarpés nécessitent souvent la construction de tranchées et de talus. Ceci afin de rendre l'espace horizontal disponible pour la route. Les tranchées et les remblais doivent être réalisés de manière à ce qu'ils soient stables jusqu'à la fin de la durée de vie technique de la route, c'est-à-dire jusqu'à la fin de la période pendant laquelle la route doit remplir sa fonction pour la circulation. Les routes en terrain escarpé peuvent également être sujettes au risque d'instabilité naturelle des pentes (Peter , et al., 2008).

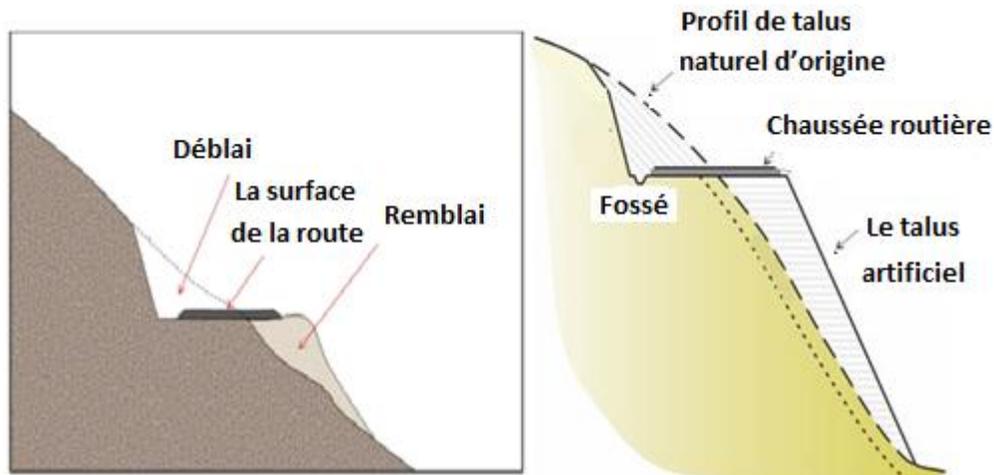


Figure 1-1 : Exemple de route construite en creusant une pente et en utilisant le matériel déblayé comme remblai

1.3 . Les glissements de terrain :

Les glissements de terrain se produisent dans des circonstances très variées. Ils affectent des ouvrages construits par l'homme ou des pentes naturelles, ils se produisent soudainement ou durent plusieurs mois voir parfois plusieurs années. La rupture affecte une forme vaguement circulaire ou bien au contraire ne présente aucune caractéristique géométrique particulière (Jean, et al., 1927).

Un glissement est un mouvement de descente d'un sol ou d'une masse rocheuse se produisant sur des surfaces de rupture ou sur des zones relativement minces soumises à une contrainte de cisaillement intense. Au départ, le mouvement ne se produit pas simultanément sur l'ensemble de ce qui devient finalement la surface de rupture ; le volume de matériel en déplacement s'élargit à partir d'une zone de rupture locale (Peter , et al., 2008).

Le mouvement peut être progressif, c'est-à-dire que la rupture par cisaillement ne peut pas se produire initialement de manière simultanée sur ce qui devient finalement une surface de rupture définie, mais peut plutôt se

propager à partir d'une zone de rupture locale. La masse déplacée peut glisser au-delà de la surface de rupture initiale, qui devient alors une surface de séparation (varnes, 1978).

Voici la **Figure 1-2** qui affiche la position et les termes les plus courants utilisés pour décrire les parties uniques d'un glissement de terrain.

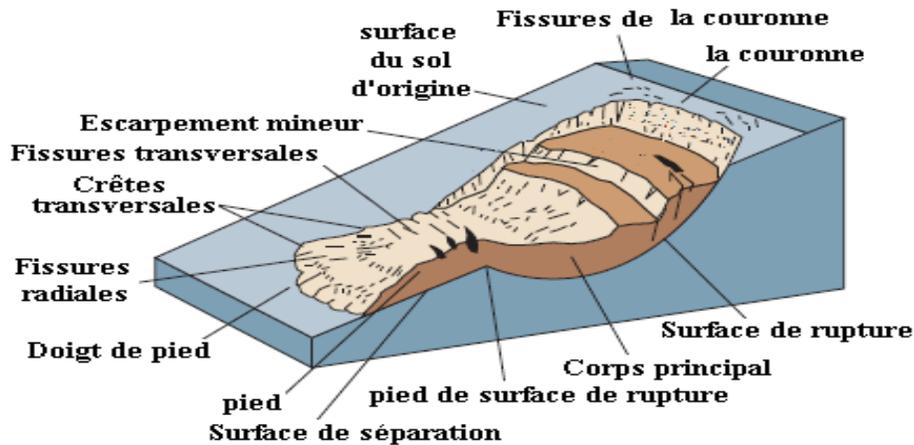


Figure 1-2 : L'image illustre les étiquettes couramment utilisées pour les parties d'un glissement de terrain rotationnel (Peter , et al., 2008)

1.3.1 . Glissement rotationnel

Un glissement de terrain sur lequel la surface de rupture est incurvée vers le haut (en forme de cuillère) et le mouvement de glissement est plus ou moins rotatif autour d'un axe parallèle au contour de la pente. La masse déplacée peut dans certaines circonstances, se déplacer en tant que masse relativement cohérente le long de la surface de rupture avec peu de déformation interne. La tête du matériau déplacé peut se déplacer presque verticalement vers le bas, et la surface supérieure du matériau déplacé peut s'incliner vers l'arrière en direction de l'escarpement. Si la glissière est rotative et présente plusieurs plans de mouvement parallèles courbés, on parle d'affaissement (Peter , et al., 2008).

Ce type de glissement se produit le plus souvent dans les matériaux homogènes, ce sont les glissements de terrain les plus courants survenant dans les matériaux de remplissage.

vitesse de mouvement est extrêmement lent (moins de 0,3 mètre ou 1 pied tous les 5 ans) à modérément rapide (1,5 mètre ou 5 pieds par mois) à rapide.

1.3.2 . Glissement plan

La masse dans un glissement de terrain plan se déplace vers l'extérieur, ou vers le bas et vers l'extérieur, le long d'une surface relativement plane avec peu de mouvement de rotation ou de basculement vers l'arrière. Ce type de glissement peut progresser sur des distances considérables si la surface de rupture est suffisamment inclinée, contrairement aux glissements en rotation, qui ont tendance à rétablir l'équilibre du glissement. Le matériau du glissement peut aller de sols meubles non consolidés à de grandes dalles de roche, ou les deux. Les glissements plans échouent généralement le long de discontinuités géologiques telles que des failles, des joints, des surfaces de litage ou le contact entre la roche et le sol. Dans les environnements nordiques, le glissement peut également se déplacer le long de la surface de rupture (Peter , et al., 2008).

L'un des types de glissements de terrain les plus courants dans le monde. Ils se produisent dans tous les types d'environnements et de conditions.

Les mouvements peuvent être lents au début (1,5 m par mois), mais la vitesse de déplacement varie de modérée (1,5 m par jour) à extrêmement rapide. Avec une vitesse accrue, la masse de glissement des ruptures de translation peut se désintégrer et se développer en une coulée de boues.

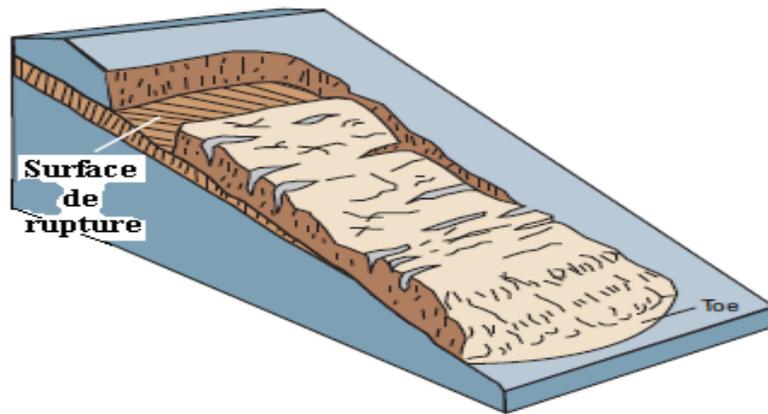


Figure 1-3 : Schéma d'un glissement plan (Peter , et al., 2008)

1.4 . Des phénomènes courants dans les talus de route :

1.4.1 . Coulées de boue

Une forme de mouvement de masse rapide dans laquelle la terre meuble, la roche et parfois la matière organique se combine avec l'eau pour former une boue qui s'écoule vers le bas de la pente. Ils ont été appelés « coulées de boue » en raison de la grande quantité de matière fine qui peut être présente dans l'écoulement. Parfois, lorsqu'un glissement rotationnel ou en plan gagne en vitesse et que la masse interne perd de sa cohésion ou gagne en eau, il peut se transformer en coulée de débris. Des coulées sèches peuvent parfois se produire dans du sable sans cohésion (coulées de sable). Les coulées de boue peuvent être mortelles, car elles peuvent être extrêmement rapides et peuvent se produire sans aucun avertissement (Peter , et al., 2008).

Les coulées de boue se produisent partout dans le monde et sont fréquentes dans les ravins et les canyons abrupts ; elles peuvent être intensifiées lorsqu'elles se produisent sur des pentes ou dans des ravins qui ont été dénudés de leur végétation par des incendies ou l'exploitation forestière. Ils sont fréquents dans les zones où le sol est faible.

Peut être rapide à extrêmement rapide (56 km par heure) selon la consistance et l'angle de pente.

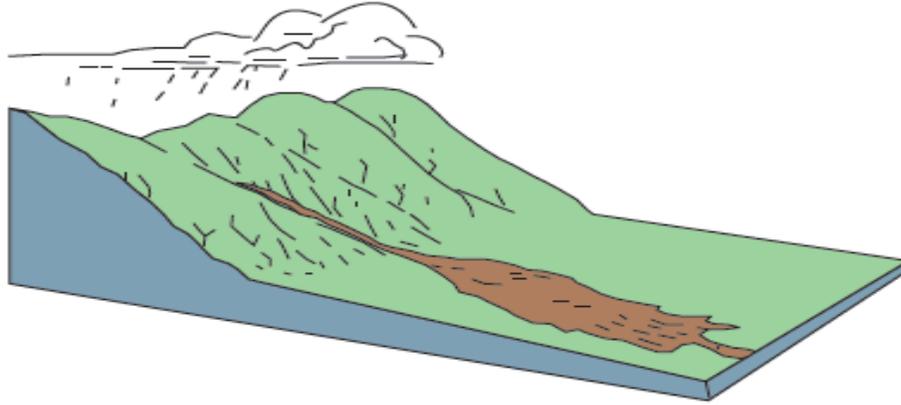


Figure 1-4 : Schéma d'une coulée de boue (Peter , et al., 2008)

1.4.2 . Chutes de pierres ou blocs

Les chutes sont des mouvements abrupts et descendants de roches ou de terre, ou des deux, qui se détachent des pentes abruptes ou des falaises. Le matériau en chute frappe généralement la pente inférieure à des angles inférieurs à l'angle de chute, provoquant un mouvement de rebond. La masse tombante peut se briser à l'impact, peut commencer à rouler sur des pentes plus raides et peut continuer jusqu'à ce que le terrain s'aplatisse (Peter , et al., 2008).

On le trouve partout dans le monde sur les pentes raides ou verticales, ainsi que dans les zones côtières et le long des berges rocheuses des rivières et des ruisseaux. Le volume de matériaux d'une chute peut varier considérablement, allant de roches individuelles ou de touffes de sol à des blocs massifs de plusieurs milliers de mètres cubes.

Chute libre très rapide à extrêmement rapide, rebondissement et roulement de la terre, de la roche et des blocs détachés. La vitesse de roulement dépend de la pente.

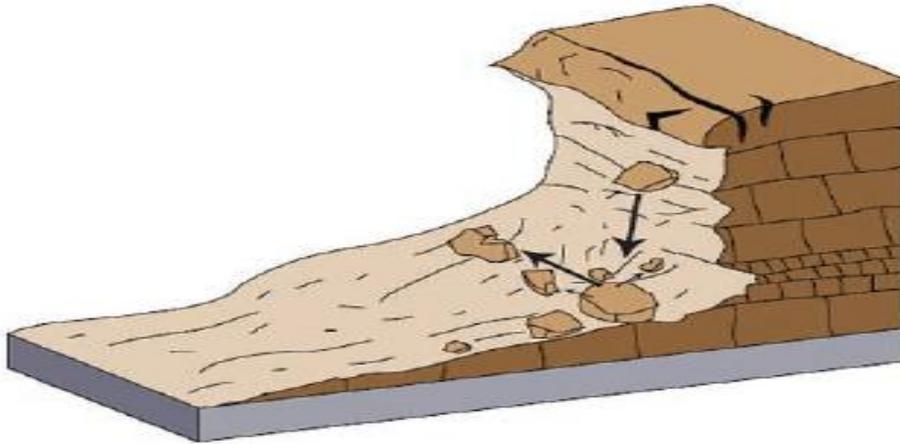


Figure 1-5 : Schéma d'une chute de pierres (Peter, et al. 2008)

1.4.3 . Le basculement des talus rocheux

Un basculement est reconnu comme la rotation vers l'avant d'une pente d'une masse de sols ou de roche autour d'un point ou d'un axe situé en dessous du centre de gravité de la masse déplacée. Le basculement est parfois provoqué par la gravité exercée par le poids de la matière qui remonte la pente de la masse déplacée. Parfois, le basculement est dû à l'eau ou à la glace dans les fissures de la masse. Les basculements peuvent être constitués de roches, de débris (matériaux grossiers) ou de matériaux terrestres (matériaux à grain fin) (Peter , et al., 2008).

Extrêmement lent à extrêmement rapide, avec parfois une accélération tout au long du mouvement en fonction de la distance parcourue, peut être extrêmement destructeur, surtout lorsque la rupture est soudaine et/ou que la vitesse est rapide.

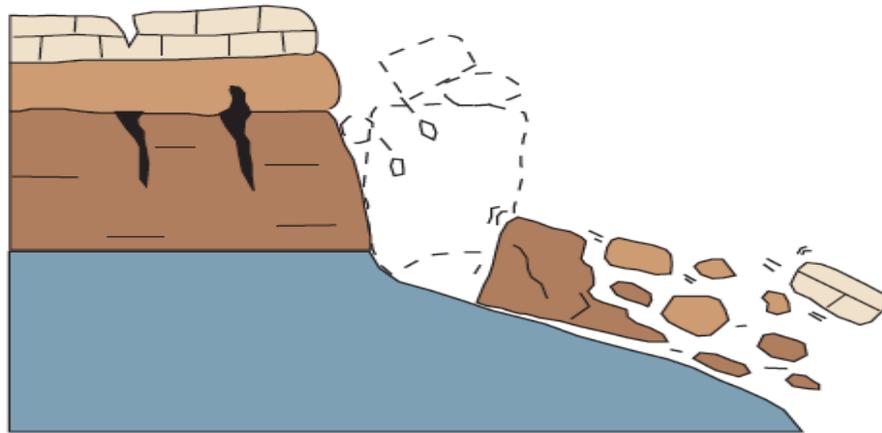


Figure 1-6 : Schéma d'un basculement (Peter , et al., 2008)

1.4.4 . Glissement de la chaussée

C'est un glissement qui se produit dans le remblai sous la chaussée, ce glissement peut :

- Un glissement de la chaussée entière cas N°2 **Figure 1-7**.
- Une rupture d'une partie de chaussée à cause de l'absence de remblai de fondation cas N°1 **Figure 1-7**.

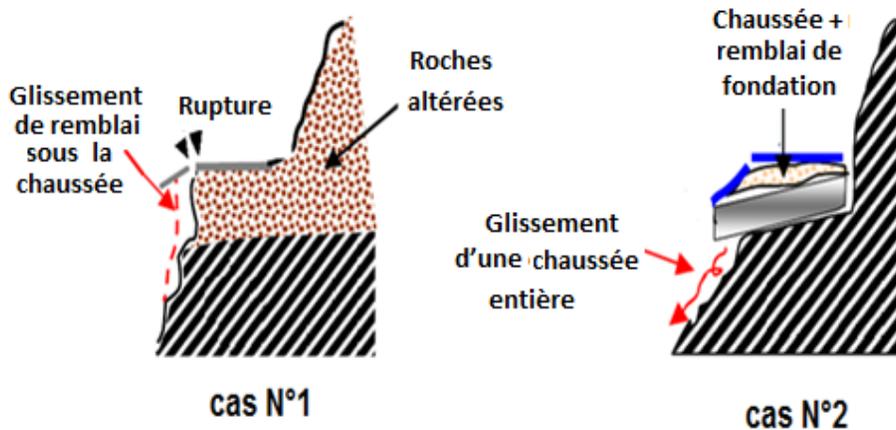


Figure 1-7 : Schéma d'un glissement de chaussée (NIPPON KOEI CO., June 2007)

1.5 . Les causes de glissement de terrain :

Les processus impliqués dans les glissements, ainsi que dans les autres mouvements de pente de sol naturel ou artificiel sont dus à une série continue d'événements entraînant des résultats liés entre eux. Un ingénieur confronté à un glissement de terrain est avant tout intéressé à prévenir les effets néfastes du problème avant de le réparer.

Dans de nombreux cas, la cause principale du glissement ne peut pas être supprimée, il peut donc être plus économique d'alléger les effets de façon continue ou discontinue sans tenter pour supprimer la cause. Certains glissements de pente peuvent ne durer que quelques secondes et les dommages peuvent être réparés, mais le plus dur c'est de chercher des solutions durables pour assurer la stabilité de talus la plus longtemps possible. (varnes, 1978)

1.5.1 . L'effet de l'eau

L'eau est une des causes principales des glissements de terrain, qui peut se produire en raison de pluies intenses, de la modification du niveau des eaux souterraines dans les pentes et de la modification du niveau des réservoirs d'eau au pied des pentes naturelles ou artificielles et le long des côtes. Ces facteurs déclenchants, ainsi que les propriétés des sols concernés, affectent considérablement les processus mécaniques qui conduisent à la rupture des pentes et aux mouvements ultérieurs de la masse du glissement de terrain dans la phase qui suit la rupture. Par exemple, des pluies prolongées et extrêmement intenses pourraient provoquer un mouvement catastrophique et rapide des roches et des masses de sols. Par conséquent, l'eau joue un rôle essentiel dans l'étude des glissements de terrain et l'interaction eau-talus doit être étudiée en détail (Peter , et al., 2008).

Le régime des eaux agissant sur les pentes dans le sous-sol des remblais et dans les corps de remblais constitue l'un des plus importants facteurs

concernant la stabilité de ces ouvrages. Les précipitations, l'eau qui passe par le versant ou les eaux d'infiltration traversant le corps du talus, modifient les caractéristiques physico-mécaniques des terrains en entraînant une surcharge supplémentaire sur le squelette solide du sol dirigé dans la direction du courant, appelé forces hydrauliques. C'est surtout la composante horizontale de ces forces qui agit sur la partie non étayée du talus, et exerce une influence négative sur la stabilité (STILGER-SZYDLO, 2006).

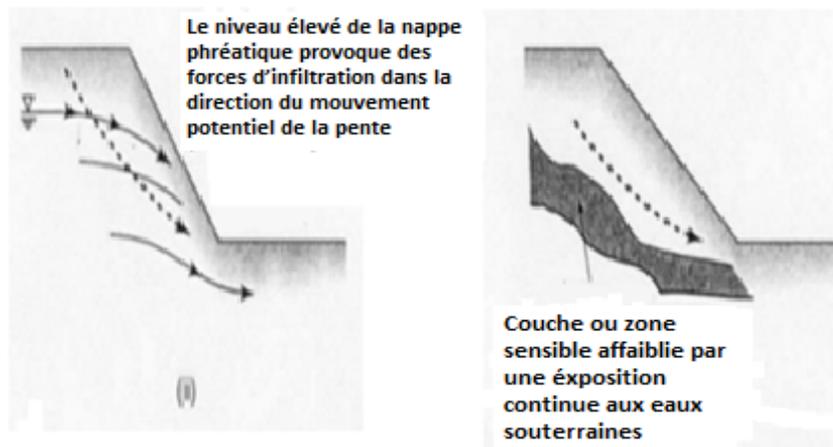


Figure 1-8 : L'effet de l'eau sur les talus

Voici les effets principaux (STILGER-SZYDLO, 2006) :

- Augmentation de la pression de l'eau interstitielle
- Augmenter la masse de talus
- Dissoudre les composants de talus soluble (créer plus de vides)
- Trop d'eau dans les espaces vides réduit ou élimine la force de cohésion qui maintient les grains solides et réduit l'effet de la force de frottement sur la stabilité générale
- Les talus à forte teneur en argile sont plus instables lorsqu'ils sont mouillés

1.5.2 . Les effets de mouvement de terre

Les tremblements de terre ont déclenché de nombreux glissements de terrain petits et extrêmement grands et désastreux. Leurs actions sont complexes, impliquant à la fois une augmentation de la contrainte de cisaillement (horizontale les accélérations peuvent modifier considérablement l'état de contrainte de cisaillement dans les matériaux formant des pentes) et dans certains cas, une diminution de la résistance au cisaillement.

Séant oublié les vibrations provoquées par les explosives, les machines, la circulation, le tonnerre et même les ruptures de talus adjacentes produisent également des contraintes terrestres transitoires qui peuvent être la cause d'autres ruptures (varnes, 1978).

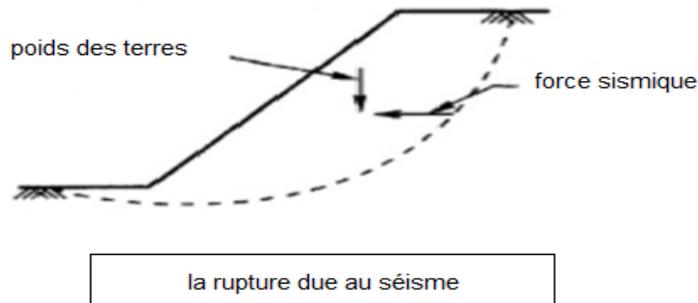


Figure 1-9 : Rupture due au séisme

1.5.3 . Les effets humains

L'expansion des populations sur de nouvelles terres et la création de quartiers, de villes et de cités sont le principal moyen par lequel les humains contribuent à l'apparition de glissements de terrain. Les glissements et les éboulements de talus peuvent survenir durant les travaux de terrassement, pendant l'exécution des remblais ainsi que pendant l'exploitation des ouvrages routiers. Ces phénomènes apparaissent lorsque le long d'une surface continue de forme quelconque du talus, la valeur des efforts de cisaillement dépasse la résistance au cisaillement du sol.

On peut citer quelques cas (STILGER-SZYDLO, 2006) et (Peter , et al., 2008):

- La perturbation ou la modification des schémas de drainage.
- L'enlèvement de la végétation est des facteurs humains courants qui peuvent déclencher des glissements de terrain.
- Le sur-remplissage des pentes en creusant le fond et en chargeant le sommet d'une pente pour qu'elle dépasse la force portante du sol.
- Les fuites de tuyaux et le creusement ou le nivellement inadéquat des pentes.
- Le voisinage des processus géodynamiques intenses, surtout les terrains miniers et le trafic routier.
- Manque d'assainissement correct et d'évaluation globale de la sécurité des ouvrages.
- L'exécution défectueuse (emploi de sols non appropriés pour ériger des remblais, compactage insuffisant, inclinaison des talus trop raide, choix des technologies de travaux incompatibles.
- Des négligences durant l'exploitation (mauvaise exploitation et réparation, désordres entraînés par l'activité humaine, construction des ouvrages qui modifient les conditions d'hydrogéologie, et la configuration et charge du terrain.

1.6 . Quelques cas pathologiques observés :

Il existe beaucoup de cas pathologique dans les route national en à collecter quelques cas de pathologie de glissement de terrain & éboulement.

Cas N°1 :

C'est un glissement de terrain à la route menant d'El Mouradia vers Bir Mourad Raïs (Alger), le glissement s'est produit le 12/01/2019 à 15:54.



Figure 1-10 : Le glissement de terrain à la route menant d'El Mouradia vers Bir Mourad Raïs (Alger)

Cas N° 2 :

C'est un glissement de terrain et érosion du sol à la CW 7 à chelailia Mostaganem sur la RN 11 à Djebel Diss, le glissement s'est produit le 28/01/2018 à 19:05.



Figure 1-11 : Le glissement de terrain et érosion du sol à la CW 7 à chelailia Mostaganem sur la RN 11 à Djebel Diss

Cas N° 3 :

C'est un glissement de terrain causé par l'effondrement d'un mur de soutènement réalisé par une société privé, le glissement s'est produit à Bouzaréah (Alger) le 25/11/2016 à 17:58.



Figure 1-12 : Le glissement de terrain de Bouzaréah (Alger)

Cas N° 4 :

C'est un glissement de terrain après une forte pluie à Boumerdès qui s'est produit le 7 novembre 2018 à 15:46.



Figure 1-13 : Le glissement de terrain de Boumerdès

Cas N° 5 :

C'est un glissement de terrain à Azazga (Tizi-Ouzou) qui se produit le 27 mars 2018.



Figure 1-14 : Le glissement d'Azazga (Tizi-Ouzou)

Cas N° 6 :

C'est un glissement d'un talus à Sidi Youcef, béni messous, Alger qui s'est produit le 22 mars 2011.



Figure 1-15 : Le glissement de Sidi Youcef, béni messous, Alger

Cas N° 7 :

C'est un glissement de terrain qui s'est produit à La route de Triolet entre Bab El Oued –Chevalley le 20 avril 2018.



Figure 1-16 : Le glissement de La route de Triolet entre Bab El Oued –Chevalley

1.7 . Conclusion :

Un large éventail d'exemples de catastrophes de glissement a permis de mettre en évidence les problèmes liés à l'élaboration des projets, à leur exploitation. Une évaluation de la stabilité des talus routiers devrait prendre en compte les causes et les facteurs déclenchants du glissement pendant l'étude d'avant-projet pour éviter le maximum de ces cas pathologiques. Dans cette partie, on a fait un aperçu sur le problème principal qu'on va étudier, des définitions, des explications, des cas pathologiques. Et dans le chapitre suivant, on va vous donner la solution qu'on va l'utiliser contre ces problèmes en détail.

Chapitre 2

Les géosynthétiques & leurs applications

2.1 . Introduction :

La nécessité de construire sur des sols de mauvaise qualité a conduit les ingénieurs à développer des techniques d'amélioration des propriétés des terrains en place ou pour construire des ouvrages en terre renforcée.

Le renforcement des sols par géosynthétiques est l'une des méthodes d'amélioration des sols. Les géosynthétiques donnent au sol une résistance en traction que le sol seul ne possède pas (ou très peu pour les sols cohérents) permettant ainsi d'augmenter la stabilité d'un ouvrage. Leur emploi permet en général un gain économique en comparaison à d'autres solutions de construction et l'exploitation de nouvelles zones, actuellement délaissées, car elles présentaient des risques pour la sécurité des usagers.

Ce chapitre est consacré par une description globale des géosynthétiques et leurs Classifications ainsi que leurs différents domaines d'applications.

2.2 . Définition et origine des géosynthétiques :

2.2.1 . Définition

Les géosynthétiques peuvent être définis comme des produits plans fabriqués à partir de matériaux polymères, qui sont utilisés avec le sol, la roche ou tout

autre matériau lié à l'ingénierie géotechnique comme partie intégrante d'un projet, structure ou système (ASTM, 1995). Les géosynthétiques sont largement utilisés dans de nombreux projets géotechniques et les applications environnementales liées à la qualité et au contrôle des eaux souterraines. (w.delleur, 1998).

Les principaux polymères utilisés pour la fabrication des géosynthétiques sont :

- Le polypropylène (PP)
- Le polyester (PET)
- Le polyéthylène (PE)
- Le polyamide (PA)
- Le chlorure de polyvinyle (PVC)
- Le polystyrène (PS)

Ces polymères ont des propriétés différentes et le choix d'un géosynthétique peut être motivé dans certains cas par le type du polymère. (Delmas, 10)

2.2.2. Origine des géosynthétiques

La première utilisation de tissus dans le renforcement des routes a été tentée par la Caroline du Sud, département de la route en 1926 (Beckham et Mills, 1935). Fin des années 1950, une gamme de tissus a été fabriquée pour être utilisée comme couche de séparation et de filtration entre les remplissages granulaires et les sous-sols faibles. Les tissus tissés (aujourd'hui appelés géotextiles) ont joué des fonctions de Filtration essentielles dans des projets côtiers aux Pays-Bas et aux États-Unis. Rhône-Poulenc Textiles en France a commencé dans les années 1960 à travailler avec des géotextiles aiguilletés non tissés sur des applications très différentes spécialement pour les systèmes de soutien des voies ferrées et des autoroutes. Le développement de la technique de renforcement de la terre a été mis au point par l'architecte et inventeur français, Henri Vidal, qui a étudié les effets de friction du renforcement dans le sol dans le but d'améliorer les propriétés du sol dans le

sens où le sol est soumis à une contrainte de traction, dont il a déposé le brevet en 1963. Depuis lors, la terre armée a été largement utilisée pour la construction de murs de soutènement en terre et de talus de remblai et pour la stabilisation de remblais placés sur un sol meuble. Par conséquent, de nombreux systèmes de renforcement de Systèmes propriétaires ont été développés et, en comparaison avec la construction conventionnelle, ils offrent les avantages d'une construction simple, d'un faible coût et de la capacité à tolérer de grandes déformations sans détresse structurelle. Plusieurs utilisations des géotextiles ont vu le jour à partir des années 1970. Dans le Barrage de Valcross en France (Giroud, 1992), un géotextile non tissé a été employé comme un filtre de drainage aval. Aussi, des géotextiles ont été incorporés comme Renfort dans les murs de soutènement, les pentes abruptes, etc. Le début de l'utilisation des géosynthétiques s'est produit dans la construction d'un confinement sûr des déchets dangereux pour l'environnement. Les systèmes de confinement des sols basés sur des filets géotextiles cellulaires ont été développés et évalués en France en 1980. Netlon a développé un concept similaire, mais à plus grande échelle, avec l'introduction du matelas « Tensar Geocell » en 1982. Durant les années 1990, L'ASTM (American Society of Testing Materials), l'ISO (the International Organization for Standardization), et le BSI (British Standards Institution) ont publié les différentes Normes dans le but d'une standardisation des géosynthétiques (Yin, 2006).

2.3 . Classification des géosynthétiques :

Les géosynthétiques peuvent être classés en quatre grandes familles que sont les géotextiles, les produits apparentés aux géotextiles, les géomembranes et les géosynthétiques bentonitiques. De manière simplifiée, on peut définir ces produits selon la norme NF EN ISO 10318-1 (AFNOR, 2015) :

Un géotextile

Une matière textile plane, perméable et à base de polymère (naturel ou synthétique), pouvant être non tissée, maillée ou tissée, utilisée en contact avec le sol et/ou d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil ; (AFNOR, 2015)

Un produit apparenté aux géotextiles

Un matériau plan, perméable et à base de polymère (synthétique ou naturel) utilisé en contact avec le sol et/ou d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil ne correspondant pas à la définition d'un géotextile ; (AFNOR, 2015)

Une géomembrane

Une structure assemblée en usine, constituée de géosynthétiques, se présentant sous la forme d'une feuille et dans laquelle la fonction d'écran est essentiellement assurée par des polymères ou du bitume ; (AFNOR, 2015)

Un géosynthétique bentonitique

Une structure assemblée en usine, constituée de géosynthétiques, se présentant sous la forme d'une feuille et dans laquelle la fonction d'écran est essentiellement assurée par de l'argile. (AFNOR, 2015)

Une classification schématique de ces produits est présentée sur la **Figure 2-1**. Il est à signaler que ces différents géosynthétiques peuvent être assemblés entre eux ou avec d'autres matériaux pour renforcer une caractéristique donnée ou obtenir un produit multifonctions (protection et drainage par exemple). On parle dans ce cas de géocomposites.

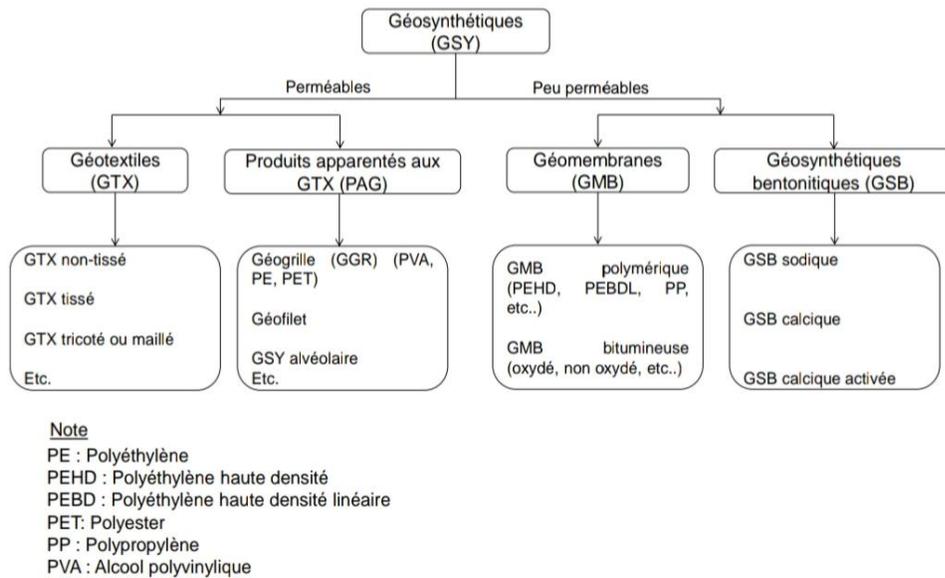


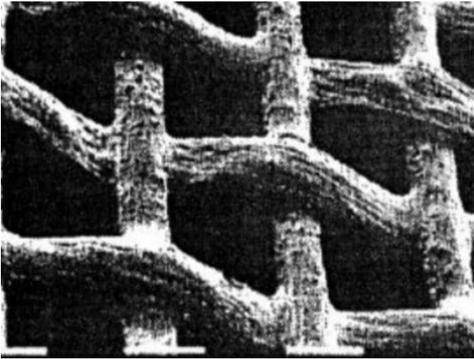
Figure 2-1 : Les principaux types de géosynthétiques (adapté de la norme NF EN ISO 10318-1 ((AFNOR, 2015))

Par ailleurs, compte tenu de la grande variété de produits géosynthétiques disponibles actuellement, il est important de préciser à minima les particularités de chaque grande famille de géosynthétiques.

2.3.1 . Géotextiles

Les géotextiles sont des nappes continues de fibres ou filaments tissés, non tissés, tricotés ou thermo-soudés. Les nappes sont souples et perméables et ressemblent en général à des textiles. Les géotextiles sont utilisés pour des applications en séparation, filtration, drainage, renforcement et contrôle de l'érosion (Bathurst, 2018).

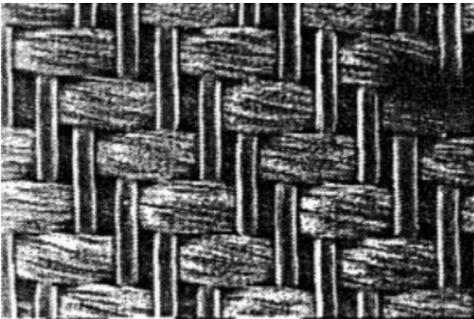
La **Figure 2-2** représente les différents types de géotextiles.



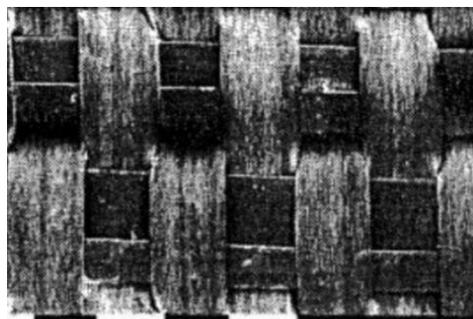
a. Géotextile tissé de multifilament



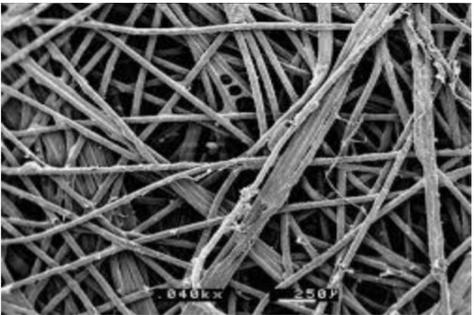
b. Géotextile tissé de monofilament



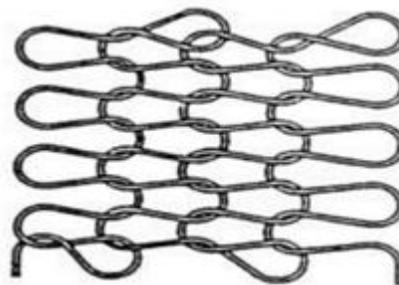
c. Géotextile tissé de monofilament et multifilament



d. Géotextile tissé de bandelettes



e. Géotextile non tissé



f. Géotextile tricoté

Figure 2-2 : Différents types de géotextiles (Khaled, 2018)

2.3.2 . Produits apparentés aux géotextiles

Géogrilles

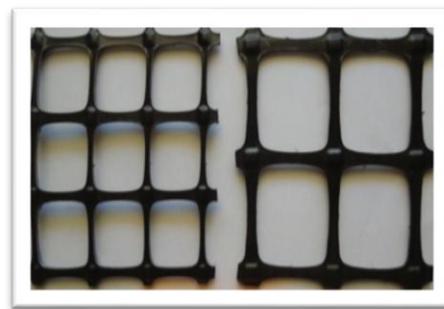
Les géogrilles sont des géosynthétiques ressemblant à des grilles ouvertes. La principale application des géogrilles est le renforcement des sols. (Bathurst, 2018)

Une géogrille peut-être mono-axiale, bi-axiale, tri-axiale, montrée dans la **Figure 2-3** ci-dessous :

- **Mono-axiale** : Géogrille produite par l'étirement longitudinal d'une feuille de polymère régulièrement poinçonnée, et donc possédant une résistance à la traction beaucoup plus élevée dans le sens longitudinal que la résistance à la traction dans le sens transversal. (Shukla, 12 July 2017)
- **Bi-axiale** : Géogrille produite par étirement dans les directions longitudinales et transversales d'une feuille de polymère régulièrement poinçonnée, et donc possédant une résistance à la traction égale dans les deux directions. (Shukla, 12 July 2017)
- **Tri-axiale** : Une géogrille produite pour avoir une résistance à la traction égale dans plusieurs directions, c'est-à-dire des propriétés de traction de presque 360°. (Shukla, 12 July 2017)



a.géogrille uni-axiale



b.géogrille bi-axiale



c.géogrille tri-axiale

Figure 2-3 : les trois types de géogrilles (Shukla, 12 July 2017)

Géospaceurs

Une structure polymère tridimensionnelle avec de grands espaces vides, utilisée en contact avec le sol/la roche et/ou tout autre matériau géotechnique dans les applications de génie civil. (Ministry of Water Resources, 2019)

Comme mentionné dans la **Figure 2-4**.



Figure 2-4 : Géospaceur (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)

Géofilets (géonets)

Les géofilets sont des matériaux analogues aux grilles, constitués de deux ensembles de brins grossiers parallèles de polymères extrudés, s'entrecroisant selon un angle aigu constant. Le maillage forme une nappe ayant une porosité dans le plan qui est utilisée pour véhiculer des débits relativement importants de fluides ou de gaz. (Bathurst, 2018)

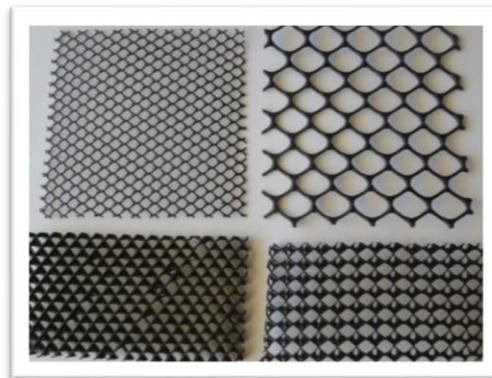


Figure 2-5 : les géofilets (Shukla, 12 July 2017)

Géoconteneurs (géosynthétiques alvéolaires)

Les géosynthétiques alvéolaires sont relativement épaisses, étant constituées de réseaux tridimensionnels réalisés à partir de feuilles de polymères découpées en bandes. Les bandes sont jointes entre elles pour former des cellules interconnectées qui sont remplies de sol et parfois de béton. Dans certains cas des bandes de grilles polyoléfiniques larges de 0,5 m à 1 m ont été attachées ensemble avec des barres en polymères verticales et utilisées pour former des couches épaisses de géosynthétiques alvéolaires appelées géomatelas. (Bathurst, 2018)



Figure 2-6 : les géosynthétiques alvéolaires (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)

Géotubes (géotuyaux)

Les géotuyaux sont des tuyaux perforés ou des tuyaux pleins en polymères utilisés pour le drainage des liquides ou gaz (y compris la collecte des lixiviats ou gaz dans les cas d'utilisation en installation de stockage de déchets). Dans certains cas les tuyaux perforés sont entourés d'un filtre géotextile. (Bathurst, 2018)



Figure 2-7 : géotextile tube

2.3.3 . Géomembrane

Les géomembranes sont des nappes souples continues fabriquées à partir d'un ou plusieurs matériaux synthétiques. Elles sont relativement imperméables et sont utilisées comme couche d'étanchéité pour le confinement des fluides ou des gaz et comme barrière à la vapeur. (Bathurst, 2018) Comme il est indiqué dans la **Figure 2-8**.



Figure 2-8 : une géomembrane

2.3.4 .Géosynthétiques bentonitiques

Les géosynthétiques bentonitiques (GSB) sont des géocomposites préfabriqués avec une couche de bentonite incorporée de façon typique entre un géotextile supérieur et un géotextile inférieur ou collé à une géomembrane ou une couche unique de géotextile. Les géosynthétiques bentonitiques à base de géotextiles sont souvent cousus ou aiguilletés à travers le cœur de bentonite pour augmenter la résistance au cisaillement interne. Lorsqu'ils sont

hydratés, ils sont efficaces comme barrière aux liquides et gaz et sont communément utilisés dans les étanchéités de décharges, souvent en association avec une géomembrane. (Bathurst, 2018)



Figure 2-9 : les géosynthétiques bentonitiques

Géocomposites

Les géocomposites sont des géosynthétiques fabriqués par association de deux ou plusieurs types de géosynthétiques. Ils incluent par exemple : géotextile-géofilet, géotextile-géogrille, géofilet-géomembrane ou un géosynthétique bentonitique (GSB). Les drains géocomposites préfabriqués ou les drains verticaux préfabriqués sont constitués d'une âme drainante en plastique entourée d'un filtre géotextile. (Bathurst, 2018)



Figure 2-10 : géocomposite (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)

2.4 . Principales propriétés des géosynthétiques :

Les principales propriétés des géosynthétiques, par comparaison aux matériaux naturels qu'ils servent à remplacer, sont : (Eddine, 02/05/2012)

- Une performance généralement meilleure, puisque les géosynthétiques sont développés autour d'une ou deux fonctions spécifiques. Chaque fonction est par conséquent optimisée au sein du produit. Par exemple, un produit drainant développera la fonction unique de drainage. Ses propriétés hydrauliques seront spécifiquement développées pour répondre de manière optimale à un besoin spécifié, ce que ne pourrait faire un autre produit comme le sable par exemple, dont les caractéristiques sont plus difficilement prévisibles sur site. (Eddine, 02/05/2012)
- Une qualité supérieure, ou tout au moins parfaitement maîtrisée, puisque les géosynthétiques sont fabriqués dans un espace conditionné, leur contrôle en usine est possible, dans des conditions idéales, à une fréquence régulière et adaptable. (Eddine, 02/05/2012)
- Un coût généralement plus économique, ou tout au moins plus stable, quelle que soit la région où le projet a lieu, la nature des matériaux naturels et leur quantité présente sur site. Dans certains cas, il pourra être avantageux de favoriser l'utilisation locale de matériaux naturels, s'ils sont de bonne qualité et en quantité suffisante. Mais bien souvent, l'utilisation des géosynthétiques s'avérera la solution la plus judicieuse du point de vue économique. (Eddine, 02/05/2012)
- Une durabilité plus grande, puisque les géosynthétiques sont développés autour d'une ou deux fonctions principales, la durabilité des produits est plus facile à assurer (choix des résines, des additifs, produits synthétiques non ou faiblement dégradables). Par exemple, une géogrille de renforcement en PEHD ne sera pas dégradée dans le temps par l'action de l'eau (rouille, électrolyse). Un géotextile de

filtration pourra être réalisé dans une fibre traitée contre l'effet des rayonnements UV. (Eddine, 02/05/2012)

2.5 . Les fonctions principales des géosynthétiques :

On distingue communément les fonctions principales suivantes pour un géosynthétique : séparation, filtration, drainage, renforcement, contrôle de l'érosion, protection :

Drainage

Collecte et transport des eaux, souterraines et/ou d'autres fluides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles. (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)



Figure 2-11 : fonction de drainage

Filtration

Maintien du sol ou d'autres particules soumis(es) à des forces hydrodynamiques tout en permettant le passage de fluides à travers ou dans un géotextile ou un produit apparenté aux géotextiles. (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)

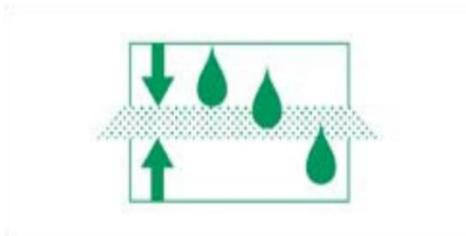


Figure 2-12 : fonction de filtration

Séparation

Prévention du mélange de deux sols ou de matériaux de remblai adjacent de nature différente par l'emploi d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles. (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)

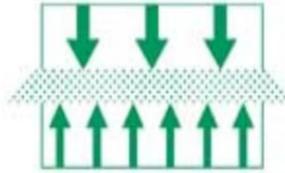


Figure 2-13 : fonction de séparation

Protection

Prévention ou limitation des endommagements localisés d'un élément ou d'un matériau donné en utilisant un géotextile ou un produit apparenté aux géotextiles. (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)

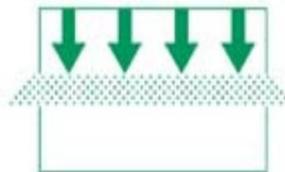


Figure 2-14 : fonction de protection

Renforcement

Utilisation du comportement en résistance déformation d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles, afin d'améliorer les propriétés mécaniques du sol ou d'autres matériaux de construction. (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)



Figure 2-15 : fonction de renforcement

Contrôle anti-érosion

Utilisation d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles, afin d'éviter ou de limiter les mouvements du sol ou d'autres particules à la surface, par exemple, d'une pente. (Messaoud ZERMANI, 27-Jun-2017)



Figure 2-16 : Fonction anti-érosion

L'utilisation d'un géosynthétique dans une application spécifique nécessite une classification de ses fonctions en tant que primaires ou secondaires, ce qui est utile lors de la sélection du type de géosynthétique approprié pour résoudre le problème. Ainsi, il est important de considérer les fonctions primaires et secondaires dans le calcul et les caractéristiques de conception. La **Figure 2-17** regroupe une telle classification.

| Fonctions assurées | Géosynthétiques utilisés |
|---------------------|---|
| Séparation | Primaire : GTX, GCP, GFM Secondaire : GTX, GGR, GNT, GMB, GCP, GFM |
| Renforcement | Primaire : GTX, GGR, GCP Secondaire : GTX, GCP |
| Filtration | Primaire : GTX, GCP Secondaire : GTX, GCP |
| Drainage | Primaire : GTX, GNT, GCP, GPP Secondaire : GTX, GCP, GFM |
| Étanchéité | Primaire : GMB, GCP Secondaire : GCP |
| Protection | Primaire : GTX, GCP Secondaire : GTX, GCP |

Notes : GTX : Géotextile, GGR : Géogrille, GNT : Géonet, GMB : Géomembrane,
GFM : Géofaam, GPP : Geopipe, GCP : Géocomposite

Figure 2-17 : Sélection de géosynthétiques en fonction de leurs fonctions (Yin, 2006)

2.6. L'effet de géogrille sur la capacité portante de sol :

En général, les sols possèdent une faible résistance à la traction. L'objectif principal du renforcement de la masse du sol est d'augmenter la capacité portante, d'améliorer la stabilité et de réduire les tassements et les déformations latérales. L'une des approches est l'utilisation de matériaux polymères. Le géosynthétique est une technique bien connue de renforcement des sols. Son utilisation peut améliorer considérablement les performances du sol et réduire les coûts par rapport aux conceptions conventionnelles. Pour cela on montre les essais sur le sol avec et sans géogrille dans les photos suivantes :



Figure 2-18 : Essai d'un homme sur une case contenant des couches granulaires sans géogrille



Figure 2-19 : Essai d'un homme sur une case contenant des couches granulaires+géogrille



Figure 2-20 : Essai avec un véhicule sur une case contenant des couches granulaires+géogrille

Commentaire :

On a bien remarqué la différence entre les 3 essais avec et sans géogrille, l'utilisation de géogrille permet d'augmenter la capacité portante de sol et fonctionne du principe de confinement mécanique permet de conserver l'intégrité structurelle. Dans la majorité des ouvrages positionnent la géogrille comme le système de renforcement le plus efficace.

2.7. Principaux domaines d'application :

Les principaux domaines d'application des géosynthétiques sont présentés sur la **Figure 2-25**. Il s'agit des ouvrages hydrauliques, des routes et infrastructures linéaires, des bâtiments, des tunnels et ouvrages souterrains et enfin des ouvrages pour la protection de l'environnement (norme NF EN ISO 10318-2 (AFNOR, 2015)). (TANO, 23 novembre 2016.)

Ouvrages hydrauliques (S.A.)

Il s'agit des réservoirs de stockage d'eau et barrages, des retenues d'altitude, des canaux et des couvertures flottantes de stockage d'eau potable dans lesquels les géosynthétiques sont surtout utilisés pour leur fonction d'étanchéité. D'autres types de fonctions de géosynthétiques comme la filtration, le drainage et le renforcement peuvent être également utilisés notamment dans les barrages en terre. On note également une forte utilisation des géosynthétiques pour la protection des berges de cours d'eau et des digues côtières contre l'érosion hydrique. (TANO, 23 novembre 2016.)



Le support doit être soigneusement préparé



mise en place de géotextile pour l'étanchéité de barrage



Déroulage et mise en place de la géomembrane



Soudure à l'air chaud par appareil à double soudure

Figure 2-21 : Utilisation des géosynthétiques pour la protection des barrages

Routes et infrastructures linéaires

Ces ouvrages regroupent l'ensemble des infrastructures de transports terrestres ou souterrains. Il s'agit principalement des voies ferrées, des chaussées de routes, des pistes d'aéroport et des tunnels et ouvrages souterrains. L'ensemble des fonctions des géosynthétiques est utilisé dans ces ouvrages. À titre d'exemple, les géosynthétiques de renforcement et de relaxation de contraintes sont souvent utilisés dans les chaussées pour la limitation de l'orniérage et le retard des remontées de fissures. On peut également citer les géotextiles de séparation (anti-contaminant) qui permettent de préserver les performances des couches de forme en limitant la quantité de fines qui s'introduit dans ces couches de forme. (TANO, 23 novembre 2016.)



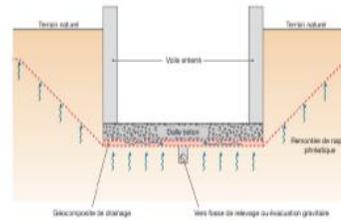
Figure 2-22 : Renforcement d'une chaussée avec une géogridde à haut module pour assurer son rôle d'anti-remontée de fissures

Bâtiments

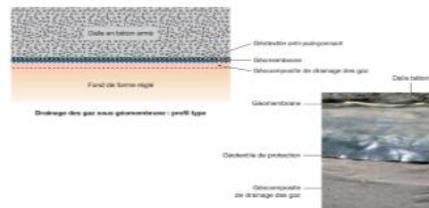
Dans les bâtiments, ce sont les géosynthétiques de drainage qui sont surtout utilisés pour drainer les flux de gaz ou d'eau. On peut citer par exemple le drainage horizontal des flux d'eau (remontées de nappes phréatiques par exemple) sous les dalles de béton. Par ailleurs, dans le cas de la construction de bâtiments sur des sites pollués, la fonction drainage (d'éventuels flux de gaz) peut être associée à la fonction étanchéité pour le confinement du sol chargé de matières polluantes. (TANO, 23 novembre 2016.)



Installation d'un drainage sous dalle



Principe du drainage sous dalle



Confinement et drainage de gaz sous dalle

Figure 2-23 : Les différentes étapes d'un projet de bâtiments en utilisant les géosynthétiques (Nathalie, et al., 10 avril 2015)

Ouvrages pour la protection de l'environnement

Qu'il s'agisse de déchets solides ou liquides stockés dans des casiers, l'objectif principal est d'éviter la contamination des sols et de la nappe phréatique sous l'installation. Les géosynthétiques d'étanchéité, en l'occurrence les géomembranes et les Géosynthétiques bentonitiques, sont ainsi utilisés pour jouer ce rôle de barrière aux pollutions, souvent en complément d'une étanchéité naturelle (argile existante, etc.). Dans les Installations de stockage de déchets non dangereux, d'autres fonctions des géosynthétiques sont utilisées. Dans ces ouvrages, des géotextiles de protection ou des Géocomposites de protection-drainage sont souvent mis en œuvre sur la géomembrane pour la protéger du poinçonnement de granulats, et pour le drainage des lixiviats en fond et sur les flancs de casiers vers l'extérieur. En couverture de casiers, des Produits apparentés aux géotextiles accroche-terre sont également souvent disposés sur les talus pour retenir le sol de couverture (stabilité d'interface et contrôle de l'érosion). Dans le cadre

de cette étude, seul le domaine d'application des Installations de stockage de déchets non dangereux dans lequel la plupart des types de géosynthétiques sont utilisés a été retenu. (TANO, 23 novembre 2016.)



Figure 2-24 : Ouvrage montre l'étanchéité de casier pour l'installation de stockage de déchets non dangereux

Détails pour l'étanchéité de casier

Le Dispositif d'Étanchéité par Géomembranes mis en œuvre est le suivant :

- Géocomposite de drainage (talus)
- Géotextile 1000g (protection masque drainant en talus)
- GSB 5 kg/m² (talus et fond)
- PEHD 2 mm (talus et fond)
- Géotextile 500g (talus) ou Géotextile 1000g (fond)

Cet ouvrage s'étend sur 48 000 mètres carrés en ce qui concerne les casiers pour une capacité de stockage de 470 000 mètres cubent. Le DEG du bassin lixiviat représente quant à lui une surface de 1 800 mètres carrés.

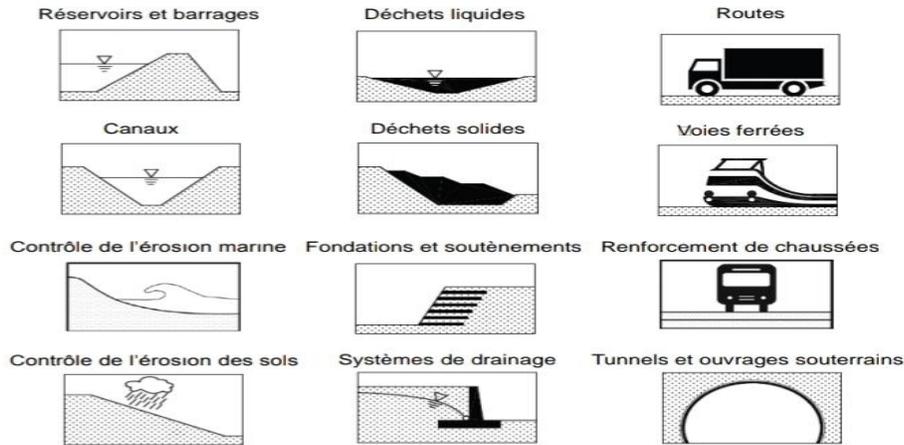


Figure 2-25 : principales applications des géosynthétiques selon la norme NF EN ISO 10318-2 (AFNOR, 2015) (TANO, 23 novembre 2016.)

2.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'utilisation de géosynthétiques de renforcement dans les ouvrages de géotechnique afin d'améliorer leur performance, c'est considérablement diversifié au cours des trois dernières décennies. Afin de mieux comprendre les géosynthétiques ainsi que leurs techniques d'utilisation les plus courantes, nous avons détaillé leurs types, leurs fonctions, leurs classifications et enfin leurs domaines d'applications. Les ouvrages en sol renforcé par géosynthétique sont des structures composites complexes dont le comportement global est tributaire des mécanismes d'interaction qui se développent au sein du matériau granulaire et aux interfaces sol/renforcement. La connaissance des paramètres d'interaction sol-géosynthétique ainsi que leur évolution dans le temps est un facteur important dans la conception et la stabilité de ces ouvrages. Ces concepts feront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3

La stabilisation des talus par les géosynthétiques - Techniques de conception et de réalisation avec des exemples

3.1 . Introduction :

La conception du renforcement pour des pentes sécurisées et inclinées nécessite une analyse rigoureuse. La conception des nappes de renforcement pour ces applications est essentielle, car la rupture des armatures entraîne la rupture des pentes. Les systèmes de sols renforcés consistent en des renforcements plans disposés dans des plans presque horizontaux dans le remblai renforcé pour résister au mouvement vers l'extérieur de la masse de remblai renforcé. L'assistance à la conception est souvent disponible qui disposent souvent de programmes informatiques développés par exemple dans notre cas on va utiliser un logiciel qui s'appelle géostudio pour la modélisation.

Dans ce chapitre, le contexte et les exigences de conception pour évaluer une alternative de pente de sol renforcé et les procédures de conception étape par étape sont présentées et la technique de réalisation sur terrain avec des exemples pour des ouvrages réels.

3.2 . Les principes généraux :

3.2.1 . Critères de rupture de Mohr-Coulomb pour les talus

Selon la théorie des critères de rupture de Mohr-Coulomb, un matériau échoue en raison d'une combinaison de contrainte normale et de contrainte de cisaillement. La combinaison des contraintes crée un état limite plus critique qu'il n'en existerait si les principales contraintes agissaient individuellement. Ce concept est illustré par l'enveloppe de rupture de Mohr-Coulomb dans la **Figure 3-1**. Le cercle A indique un état de contrainte sûr, car il est tracé sous la ligne de rupture. Inversement, une combinaison de contraintes critiques est évidente pour le cercle B, qui est tangentiel à l'enveloppe de rupture (Yoo-Jae Kim 1, 16 May 2019).

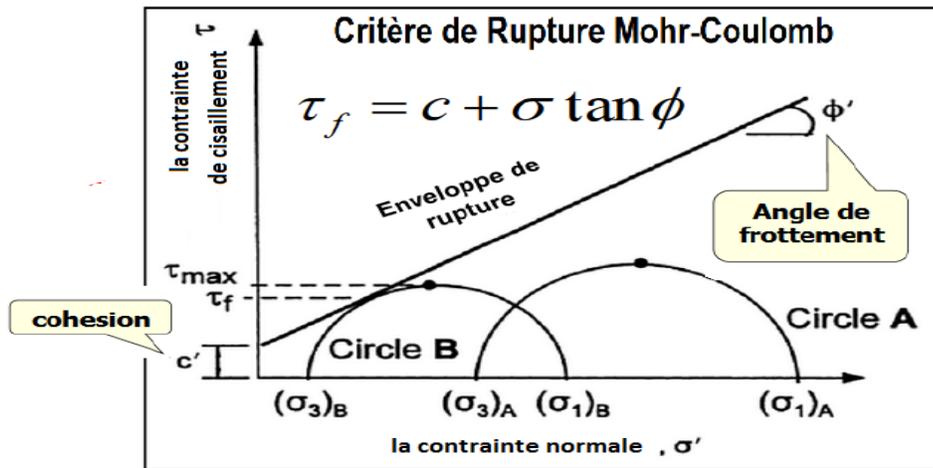


Figure 3-1 : Enveloppe de rupture Mohr-Coulomb pour la résistance au cisaillement des sols (Yoo-Jae Kim 1, 16 May 2019)

Par exemple pour le talus se rompt quand la contrainte (τ) de cisaillement le long de la surface de rupture attend la résistance du sol (τ_f) comme on voit dans la **Figure 3-2** suivante :

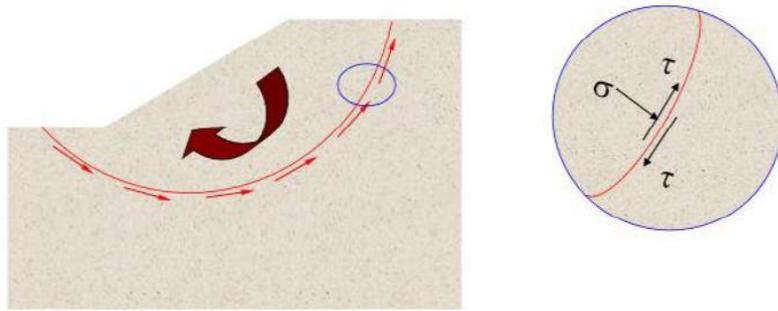


Figure 3-2 : Critères de rupture de Mohr-Coulomb pour les talus

3.2.2 . Principe de fonctionnement de la terre armée

Un massif de soutènement renforcé par un géosynthétique c'est un massif composé de deux matériaux principaux un massif de remblais granulaire et des éléments de renforcement polymère appelé géosynthétique ou géotextile. Ce dernier est installé sur le sol sous forme de nappe horizontale espacée verticalement les uns des autres, c'est de cette manière on obtient un massif équivalent renforcé qui absorbe et diffuse les charges propres de trafic ainsi que la pression des terres à arrière du massif de terre renforcé.

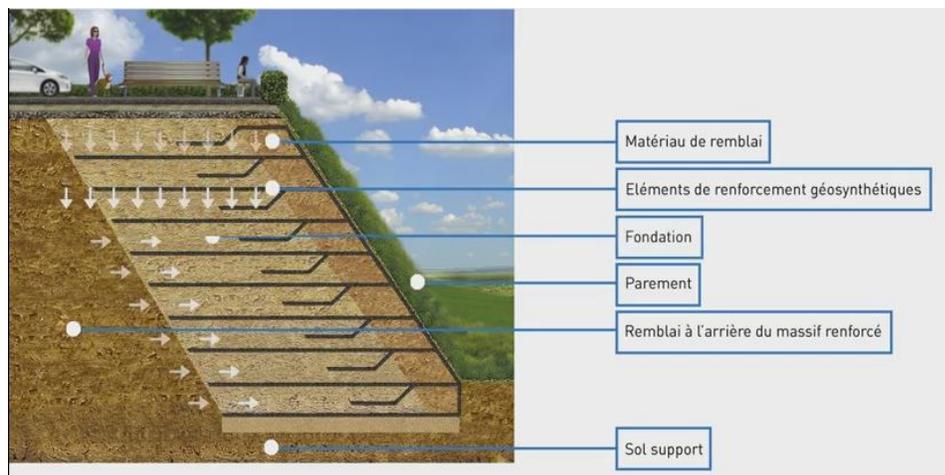


Figure 3-3 : Une photo qui explique les différentes parties d'un massif de sol renforcé par un géosynthétique

Chapitre 3 : La stabilisation des talus par les géosynthétiques – techniques de conception et de réalisation avec des exemples

Le mécanisme de renforcement est basé sur l'intime interaction entre le remblai et le renforcement géosynthétique. Pour protéger les géosynthétiques des rayonnements UV ou des actes de vandalisme et le feu on utilise ce qu'on appelle des parements les possibilités sont multiples (système de végétation, gabion, blocs de pierre, éléments de béton verticaux)



Figure 3-4 : Les différents cas de parements qui peuvent être utilisés dans un massif de sols renforcés par géosynthétique

La terre armée est formée par l'association de terre et l'armature, ces dernières étant le plus souvent des éléments linéaires susceptibles de supporter des efforts de tractions importantes. Le fonctionnement de ce matériau composite repose essentiellement sur l'existence d'un frottement entre le sol et les armatures. Il est donc très important de bien représenter ce phénomène pour obtenir une modélisation correcte d'une structure en terre armée.

Généralement les armatures sont distribuées dans le massif en terre de telle sorte que l'on puisse considérer le matériau terre armée comme pratiquement homogène. Ce pendant les armatures ne sont placées que dans la direction ou la terre est la plus sollicitée en traction et pour des raisons de mise en œuvre, il s'agit le plus souvent de la direction horizontale et uniforme pour tout le massif. C'est le frottement entre la terre et les armatures qui sont le

phénomène essentiel dans la terre armée ; la terre transmet aux armatures par le biais du frottement les efforts de qui se développent dans la masse.

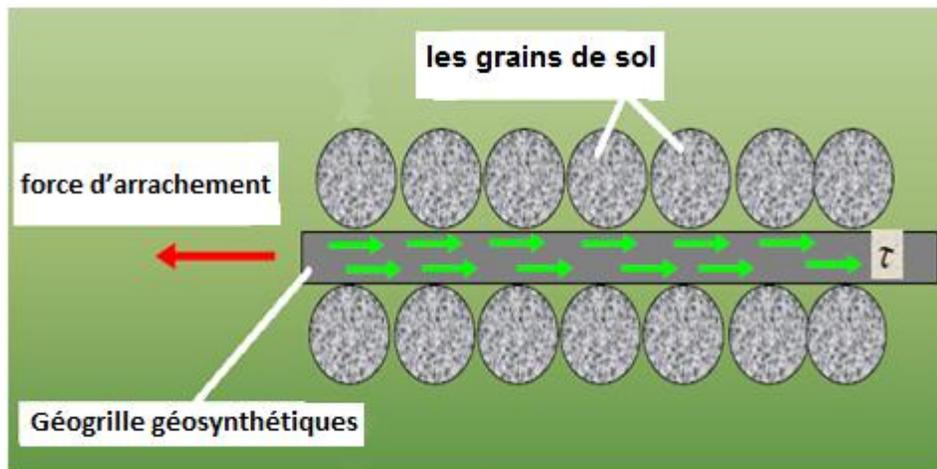


Figure 3-5 : l'intime interaction entre le remblai et le renforcement géosynthétique

La mobilisation de frottement n'est pas constante le long de l'armature dans un massif en terre armée, ceci est dû au phénomène de dilatance. Le lieu où les tractions sont maximales divise le massif de sols renforcé en deux zones :

- **Une zone active :** ou le sol tend à glisser vers l'extérieur du massif et est retenu par les efforts de frottement mobilisés sur les surfaces d'armature. Ces efforts sont dirigés vers l'extérieur du massif et entraînent une augmentation des efforts de traction dans les armatures.
- **Une zone résistante :** ou les armatures soumises à la force de traction maximale tendent à glisser vers l'extérieur du massif, mobilisant ainsi les efforts de frottement sur ses surfaces de contact avec le sol. Les armatures confèrent au massif en terre armée une cohésion globale apparente en créant une liaison entre la zone active et la zone résistante.

3.3 . Techniques de conception :

3.3.1 . Les concepts de la conception

Les pentes renforcées sont actuellement analysées en utilisant des versions modifiées des méthodes classiques de stabilité des pentes à l'équilibre limite. On suppose une surface de rupture circulaire ou angulaire, et la relation entre les forces ou les moments de poussée et de réaction détermine le facteur de sécurité de la pente (Robert D. Holtz, et al., April 1998).

En fonction de leur capacité de traction et de leur orientation, les couches de renforcement qui croisent la surface de rupture potentielle sont supposées augmenter le moment ou la force de résistance. La capacité de traction d'une couche de renforcement est le minimum de sa résistance à l'arrachement admissible derrière ou devant la surface de rupture potentielle et/ou sa résistance à la traction de conception à long terme, la plus faible des deux étant retenue.

Une grande variété de surfaces de rupture potentielles doit être prise en compte, y compris les surfaces profondes à travers ou derrière la zone renforcée. Le facteur de sécurité de la stabilité de la pente est tiré de la surface critique nécessitant le renforcement maximal.

La conception détaillée des pentes renforcées est réalisée en déterminant le facteur de sécurité avec des plans de renforcement modifiés de façon séquentielle jusqu'à ce que le facteur de sécurité cible soit atteint.

Les exigences générales de conception des pentes renforcées sont similaires à celles des pentes non renforcées : le facteur de sécurité doit être adéquat pour les conditions à court et à long terme et pour tous les modes de défaillance possibles.

Les modes de rupture des pentes renforcées (Berg et al. 1989) comprennent :

1. interne, où le plan de rupture passe à travers les éléments de renforcement ;

2. externe, où la surface de rupture passe derrière et sous la masse renforcée ; et
3. composé, où la surface de rupture passe derrière et à travers la masse de sols renforcée.

Dans de nombreux cas, le facteur de sécurité de la stabilité sera approximativement égal dans deux ou les trois modes.

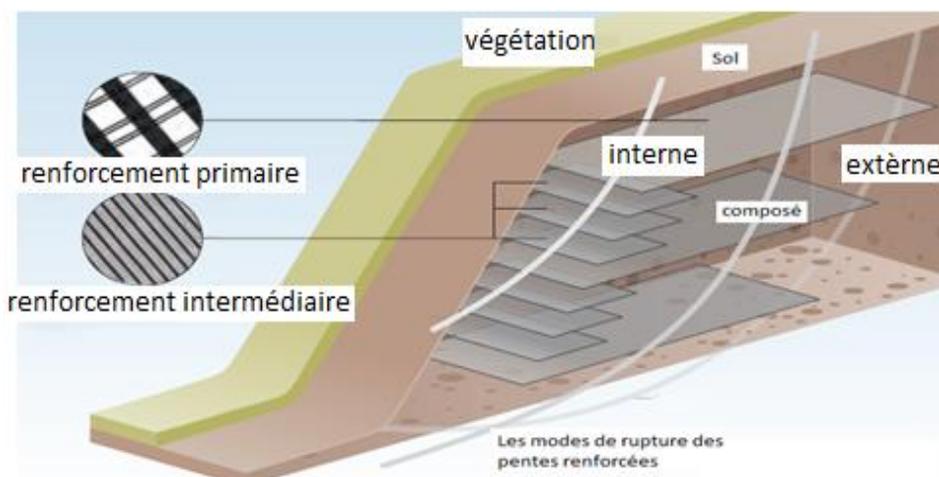


Figure 3-6 : Illustration graphique des modes de rupture des pentes en sol renforcé

Les pentes renforcées sont actuellement analysées en utilisant des versions modifiées des méthodes classiques de stabilité des pentes à l'équilibre limite. On suppose une surface de rupture circulaire ou angulaire, et la relation entre les forces ou les moments de poussée et de réaction détermine le facteur de sécurité de la pente.

En fonction de leur capacité de traction et de leur orientation, les couches de renforcement qui croisent la surface de rupture potentielle sont supposées augmenter le moment ou la force de résistance. La capacité de traction d'une couche de renforcement est le minimum de sa résistance à l'arrachement admissible derrière ou devant la surface de rupture potentielle et/ou sa résistance à la traction de conception à long terme, la plus faible des deux étant retenue.

Une grande variété de surfaces de rupture potentielles doit être prise en compte, y compris les surfaces profondes à travers ou derrière la zone renforcée. Le facteur de sécurité de la stabilité de la pente est tiré de la surface critique nécessitant le renforcement maximal.

La conception détaillée des pentes renforcées est réalisée en déterminant le facteur de sécurité avec des plans de renforcement modifiés de façon séquentielle jusqu'à ce que le facteur de sécurité cible soit atteint.

3.3.2 . Méthodes d'analyse détaillées

Une approche de la conception des pentes de sol renforcé consiste à déterminer la résistance requise du renforcement au moyen de méthodes d'analyse détaillées de l'équilibre limite, comme la méthode modifiée de Bishop (Robert D. Holtz, et al., April 1998). La méthode d'analyse modifiée de Bishop peut être étendue pour inclure l'effet du renforcement en traction. Lorsqu'une surface de rupture croise une couche de renforcement, un moment de résistance supplémentaire est ajouté au moment d'équilibre global. Un modèle de surface de glissement en rotation est présenté à la figure. Dans une approche conservatrice, la déformabilité des renforts n'est pas prise en compte ; par conséquent, la force de traction est supposée être horizontale, comme le montre la **Figure 3-7**.

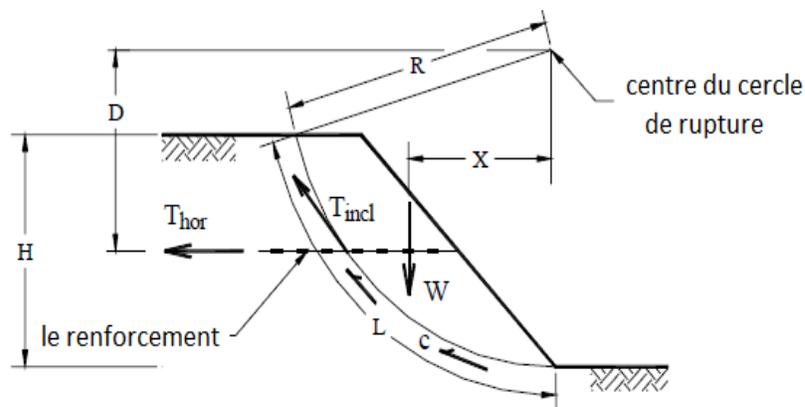


Figure 3-7 : Modèle de la méthode d'analyse détaillée

Chapitre 3 : La stabilisation des talus par les géosynthétiques – techniques de conception et de réalisation avec des exemples

La procédure exige que la surface la plus critique à travers l'orteil soit localisée pour le cas non renforcé. Comme on suppose que les sols de fondation sont compétents et capables de supporter la charge de la construction du talus, seules les surfaces de rupture à travers le pied du talus doivent être examinées à ce stade.

Le facteur de sécurité FS_U pour la section non renforcée est calculé comme suit :

$$FS_U = \frac{\text{Moment résistant}(M_R)}{\text{Moment de glissement}(M_D)} = \frac{L \cdot c \cdot R}{W \cdot x}$$

Avec :

- W = le poids de la masse glissante.
- c = la cohésion (psf = 47.9 Pa)
- L et x et R = sont défini dans la figure

La contribution du renforcement peut être ajoutée directement au moment de résistance et le facteur de sécurité FS_R pour la section, renforcé est calculé comme suit :

$$FS_R = \frac{M_R + M_G}{M_D} = \frac{M_R + (T_{hor} \times D)}{M_D}$$

Avec :

- (M_R) = Moment résistant
- (M_D) = Moment de glissement
- (M_G) = Moment de résistance du au renforcement
- T_{hor} et D = sont définis dans la figure

Notez que l'orientation de la force de traction des renforcements influence le calcul du moment de résistance dû au renforcement et par conséquent, le facteur de sécurité. Comme mentionné précédemment, l'approche prudente consiste à considérer que la force de traction du renforcement (T_{hor}) agis

horizontalement. La valeur maximale que le moment de résistance dû au renforcement peut avoir est :

$$M_G = T_{incl} \times R$$

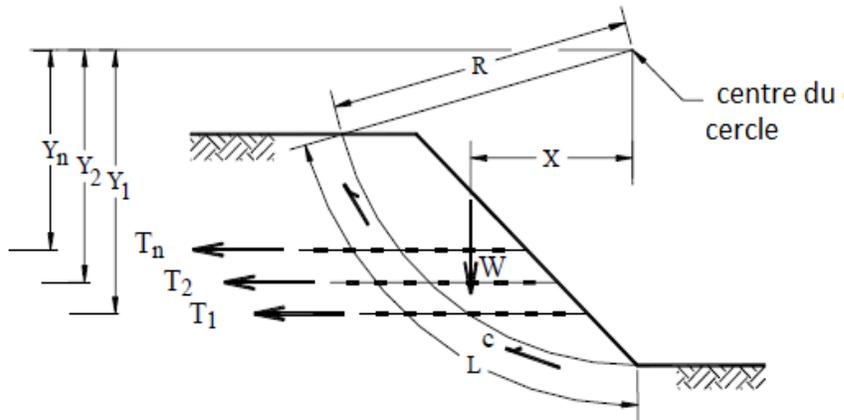


Figure 3-8 : Modèle de pente de renforcement multicouche

Le calcul du moment de résistance dû au renforcement pour une pente renforcée multicouche est mentionné dans la **Figure 3-8** et donné ci-dessous :

$$M_G = \sum_1^n T_i \times Y_i$$

Enfin, la longueur d'encastrement des différentes couches de renforcement au-delà de la surface de rupture critique doit être suffisante pour assurer une résistance à l'arrachement adéquat. L'équation la plus fréquemment utilisée pour déterminer la longueur d'encastrement requise (L_e) d'un élément de renforcement est la suivante :

$$L_e = \frac{R_{po} \times FS}{2 \times C_i \times \sigma_n \times \tan \phi_i}$$

Avec :

- R_{po} = résistance à l'arrachement

- σ_n = contrainte normale agissant sur la longueur d'ancrage de la géogrille
- C_i = Coefficient d'interaction pour l'arrachement
- ϕ_i = angle de frottement maximal pour le sol renforcé
- FS = facteur de sécurité pour la rupture d'arrachement

Selon les spécifications de conception, des longueurs d'encastrement minimales d'un (1) pied à un (1) mètre au-delà de la surface de rupture ont été exigées.

3.3.3 . Méthode de coin de rupture simple (Approche de conception directe)

Cette méthode, présentée dans la **Figure 3-9** pour une surface de glissement rotationnelle, utilise un programme informatique conventionnel de stabilité des pentes, et les étapes nécessaires pour calculer les besoins de renforcement (Robert D. Holtz, et al., April 1998). Cette approche de conception permet de tenir compte équitablement des conditions complexes en fonction de la méthode d'analyse utilisée (par exemple, Bishop, Janbu, etc.). Les diagrammes de conception ont été élaborés sur la base de méthodes d'analyse simplifiées des surfaces de rupture de type coin en deux parties et coin en une partie et sont limités par les hypothèses suivantes :

- Des éléments de renforcement extensibles sont utilisés,
- Les talus sont construits avec un sol uniforme et sans cohésion ; φ' , $c = 0$, analyse appropriée,
- Aucune pression de pores dans la pente,
- Pas de charge sismique - des fondations solides et de bonnes qualités,
- Face plane du talus et crête horizontale du talus,
- Une surcharge uniforme au sommet de la pente, et
- Couches de renforcement horizontal avec un coefficient d'interaction (C_i) égal à 0,9.

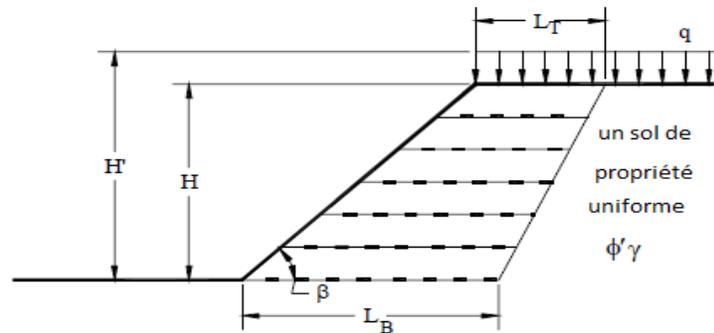


Figure 3-9 : Géométrie des pentes et définitions

Avec:

- H= Hauteur de la pente
- H'= Hauteur de la pente modifiée
- q= Surcharge uniforme en haut de la pente
- β= Angle de la pente (deg)
- φ'= Angle de frottement effectif du sol (deg)
- γ= Poids unitaire humide du sol
- L_B=Longueur de renforcement au pied de la pente
- L_T= Longueur de renforcement en haut de la pente

Par définition, les solutions des modèles d'équilibre limite sont pour un facteur de sécurité (FS) égal à l'unité. Le FS global cible, ou souhaité, est pris en compte en factorisant ou en réduisant les forces de cisaillement du sol et est calculé comme suit :

$$\phi'_f = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi'}{FR_R} \right)$$

Avec :

- φ'_f = Angle de frottement effectif du sol renforcé
- φ' = Angle de frottement effectif du sol

L'étape suivante consiste à calculer la hauteur de la pente modifiée (H') pour tenir compte de toute surcharge uniforme au sommet de la pente. La hauteur modifiée de la pente est calculée comme suit:

$$H' = H + q/\gamma$$

Où H , q et γ sont définis sur la **Figure 3-9**.

À partir du tableau de la **Figure 3-10**, déterminez le coefficient de renforcement K et calculez la force de traction maximale requise (T_{max}) à partir de ce qui suit :

$$T_{max} = 0.5 \cdot K \cdot \gamma \cdot (H')^2$$

À partir du tableau de la **Figure 3-11**, déterminez la longueur de renforcement requise au sommet (LT) et au bas (LB) de la section renforcée.

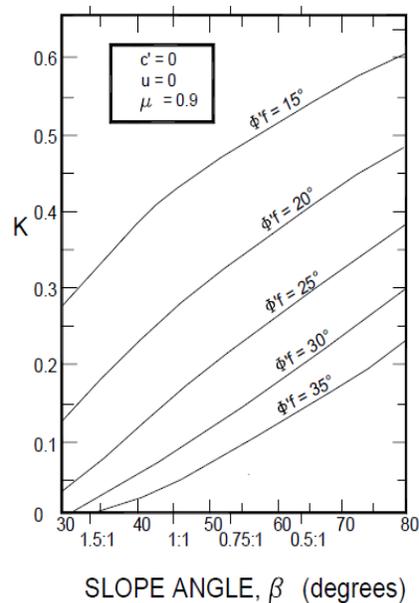


Figure 3-10 : Le coefficient de renforcement K

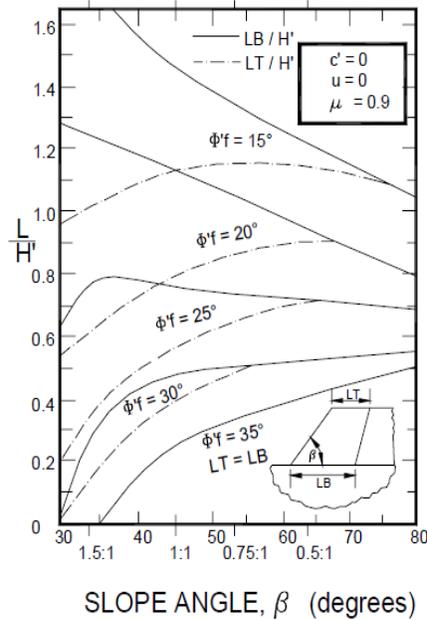


Figure 3-11 : Ratios de longueur de renforcement

L'étape suivante de la procédure consiste à sélectionner la géogrille primaire appropriée et à calculer le nombre de couches nécessaires. Le terme "couche géogrille primaire" désigne la géogrille requise pour satisfaire aux exigences de stabilité interne, externe et globale. À ce stade de l'analyse, le concepteur doit choisir une géogrille de sorte que les calculs d'espacement qui en résultent donnent des valeurs acceptables. Par exemple, l'espacement des couches de géogrilles primaires au bas d'une pente ne doit pas être inférieur à 8 à 12 pouces. Cela correspond à l'épaisseur typique d'un remblai de terrassement. Inversement, l'espacement des géogrilles primaires ne doit pas être supérieur à 4 pieds. Si les calculs donnent un espacement des géogrilles inférieur à la limite pratique, il faut alors choisir une géogrille primaire plus solide. Sinon, si les calculs donnent un espacement des géogrilles supérieur à 4 pieds, une géogrille plus légère peut être choisie.

Pour déterminer la géogrille appropriée, il faut calculer la résistance de conception à long terme (LTDS) du matériau comme suit :

$$LTDS = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_D}$$

Où :

- T_{ult} = Résistance à la traction ultime de l'armature selon la norme ASTM D6637
- RF_{CR} = Facteur de réduction dû au fluage
- RF_{ID} = Facteur de réduction dû à l'endommagement de l'installation
- RF_D = Facteur de réduction dû à la durabilité

Le nombre minimum de couches de la géogrille pour la section renforcée est ensuite calculé comme suit en supposant une couverture à 100% de la géogrille pour une élévation verticale donnée :

$$N = \frac{T_{max}}{LTDS} \quad \text{et} \quad S_V = \frac{H}{N}$$

Où :

- N = nombre de couches de la géogrille (arrondi à l'entier supérieur)
- T_{max} = la force totale de la géogrille (pour une section donnée)

Notez que T_{max} Pour une section basse de la pente est égale à la force totale requise par la géogrille pour toute la hauteur de la pente. Pour les sections de pente plus élevées, T_{max} Peut être réparti sur plusieurs zones. Par exemple, pour une section à trois zones, on peut répartir T_{max} comme suit :

$$T_{Bottom} = \frac{1}{2} T_{max}$$

$$T_{Middle} = \frac{1}{3} T_{max}$$

$$T_{Top} = \frac{1}{6} T_{max}$$

En d'autres termes, la section est divisée en trois zones où il y aura trois exigences différentes en matière d'espacement et de géogrille. Il en résulte une conception efficace et rentable.

Les longueurs d'encastrement par arrachement ont été prises en considération dans la longueur totale, LT et LB, du tableau de la **Figure 3-11**.

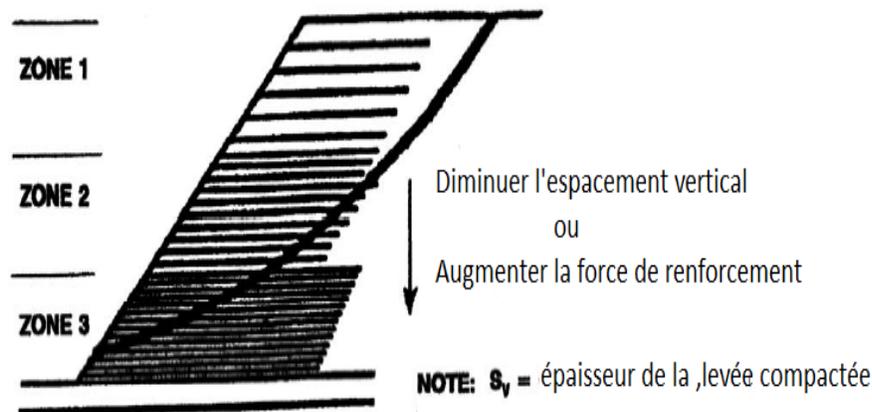


Figure 3-12 : Représentation graphique sur les trois zones principales dans la conception

(Robert D. Holtz, et al., April 1998)

3.4 . Techniques de construction :

- **DESCRIPTION**

Comme mentionné précédemment, les couches de renforcement primaire des géogrilles répondent aux exigences de traction pour la stabilité interne, externe et globale. En règle générale, l'espacement des armatures de la géogrille primaire se situe entre 2,5 et 4 pieds au bas des pentes renforcées, et peut atteindre 6 pieds au sommet de la pente. L'expérience a montré qu'il est difficile, voir parfois impossible, de placer, de compacter et de maintenir une pente raide pour un espacement équivalent à celui d'une géogrille de 4 à 6 pieds à la face de la pente (Robert D. Holtz, et al., April 1998).

La section suivante décrit plusieurs techniques de construction qui traitent de la stabilité superficielle des pentes renforcées.

Angles de pente < 45 degrés

L'utilisation de couches géogrilles secondaires ou intermédiaires est un moyen très utile et économique d'assurer la stabilité à la face de pentes renforcées avec des inclinaisons inférieures à 45 degrés (1/1). Les couches

de géogrilles intermédiaires sont des couches relativement courtes de géogrilles légères de renforcement placées à un espacement relativement étroit entre les couches de renforcement primaire. En plus d'apporter une stabilité superficielle à la pente renforcée, les géogrilles intermédiaires fournissent une meilleure plate-forme pour l'équipement de compactage, assurant ainsi une densité de sol uniforme sur la face de la pente. Il peut être nécessaire d'utiliser une natte de contrôle de l'érosion comme couche de parement finale. Pour une analyse plus approfondie de la stabilité superficielle, veuillez-vous référer à la section sol de surface renforcée. La coupe transversale de la **Figure 3-13** illustre l'utilisation de couches géogrilles intermédiaires dans une application de pente renforcée où l'angle de pente finie est inférieur à 45 degrés.

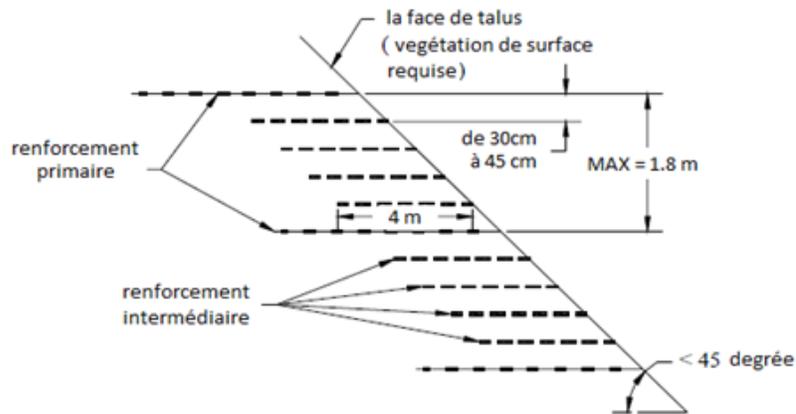


Figure 3-13 : Coupe transversale de talus renforcé avec angle de pente < 45°

Angles de pente \approx 45 degrés

Plus l'inclinaison de la pente renforcée augmente, plus le potentiel d'envasement et d'érosion superficielle augmente. Lorsque l'angle de la pente approche et dépasse 45 degrés, des précautions supplémentaires doivent être prises pour assurer la stabilité à long terme de la face du talus.

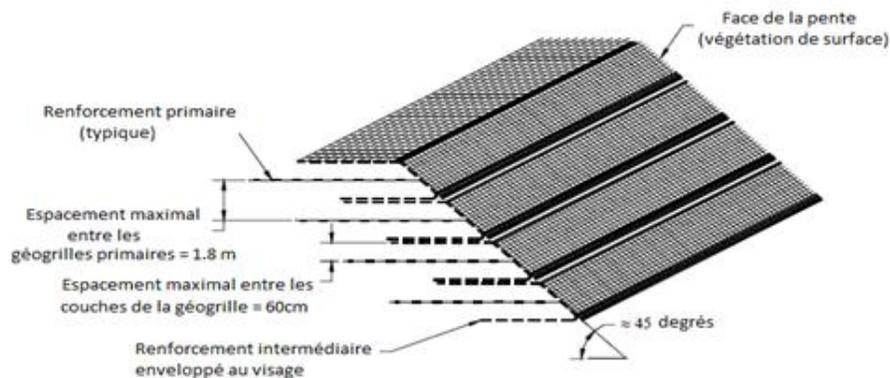


Figure 3-14 : Coupe transversale de talus renforcé avec angle de pente $< 45^\circ$

La section transversale et la vue isométrique sont présentées dans la **Figure 3-14** qui illustre l'une des nombreuses méthodes permettant d'assurer la stabilité du parement à une structure de pente renforcée. Le parement est appelé "wrap-around", c'est-à-dire que la géogrille est enroulée autour de la face de la pente, encapsulant ainsi efficacement les sols de surface ou le parement en pierre. Dans cet exemple particulier, la géogrille intermédiaire est utilisée comme matériau enveloppant, et la géogrille primaire est soigneusement placée entre les deux. La géogrille primaire peut également être utilisée comme enveloppe. Cette alternative peut s'avérer coûteuse, surtout si la géogrille primaire est un produit à haute résistance. Dans certains cas, notamment lorsque le sol de remblai contient des quantités importantes de terre fine (c'est-à-dire des sables fins, des limons et des argiles), un séparateur géotextile peut être placé entre le sol et l'enveloppe de la géogrille. Il est important de noter que, bien que le sol soit encapsulé dans la géogrille, une protection de surface sous forme de végétation est toujours nécessaire. Il convient également de noter qu'avec le temps, la face enveloppée d'une géogrille aura tendance à s'affaisser et à s'envaser en raison du comportement de fluage du polymère géosynthétique. Par conséquent, pour diminuer l'importance de l'affaissement de la face de la géogrille enveloppée, il est important de restaurer la couverture végétale sur la face de la pente

aussi rapidement que possible. Si un séparateur géotextile est utilisé, la végétalisation du talus sera plus difficile et nécessitera des méthodes plus avancées.

Angles de pente > 45 degrés

Lorsque l'inclinaison d'une pente renforcée est nettement supérieure à 45 degrés, une face plus permanente et rigide est nécessaire. La forme de parement rigide la plus couramment utilisée dans les applications de pentes renforcées est le parement en tissu soudé comme le montre la **Figure 3-15**.

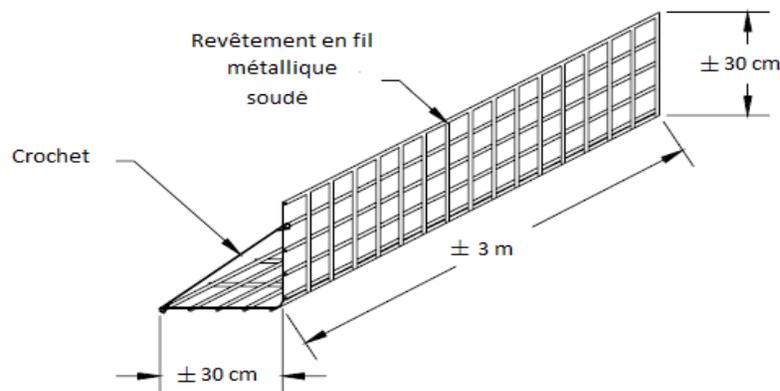


Figure 3-15 : Vue isométrique d'un revêtement en tissu métallique soudé

Le tissu métallique soudé WWF est utilisé comme revêtement de la pente raide renforcée. Bien que le WWF puisse être plié pour s'adapter à la plupart des angles, il est pratique de le plier à un angle légèrement inférieur à 90 degrés. Cette configuration permet de mettre en place et de compacter facilement le sol de remblai. À des angles nettement inférieurs à 90 degrés, il devient difficile de compacter le sol directement derrière le parement du WWF. La section transversale de la **Figure 3-16** illustre tous les éléments d'une pente renforcée du WWF. Une fois que la géogrille primaire et le parement WWF sont en place, la géogrille intermédiaire est drapée sur le parement WWF. Si nécessaire, un maillage d'érosion peut être placé directement derrière la géogrille intermédiaire, ou bien des pierres peuvent être utilisées lorsqu'aucune végétation n'est nécessaire. Le remblai est

ensuite placé et compacté à l'épaisseur de levage appropriée. Lorsque le remblai a atteint l'élévation requise (c'est-à-dire au sommet du WWF), la géogrille intermédiaire est placée sur le remblai compacté.

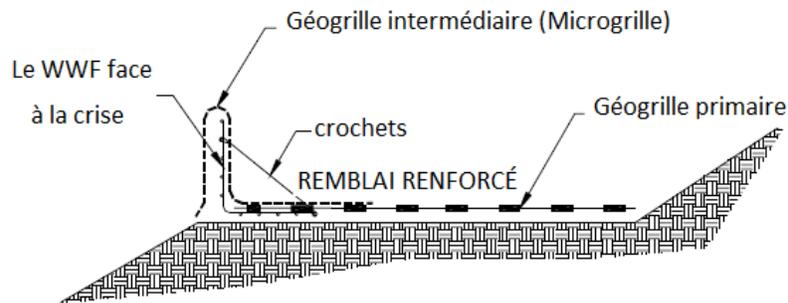


Figure 3-16: Composants d'une pente renforcée par le WWF

Ce stade de la construction, le deuxième niveau du WWF peut être placé. La section transversale de la **Figure 3-17** montre la séquence de construction d'une pente renforcée par le WWF.

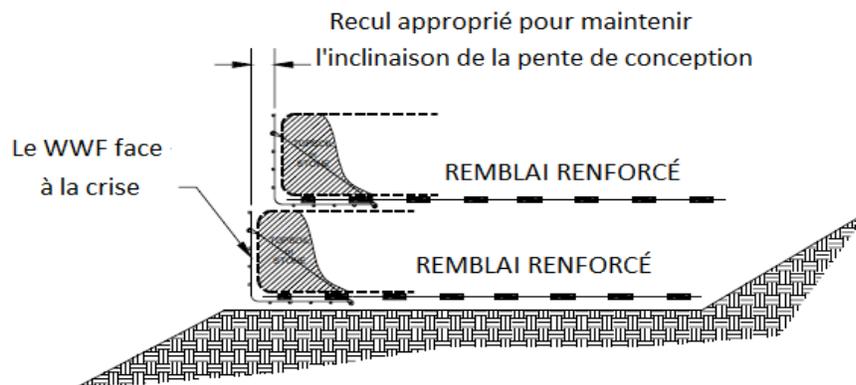


Figure 3-17 : Séquence de construction pour l'habillage du WWF pente renforcée.

Note : Le niveau supérieur est placé à un retrait prédéterminé de manière à ce que l'inclinaison globale de la structure soit maintenue. Une caractéristique supplémentaire du retrait est que la végétation peut facilement prendre racine dans les sections plates créées par le retrait.

Le traitement du parement est un élément important de la conception et de la construction des pentes raides renforcées. Bien que la stabilité globale de la pente raide renforcée puisse être maintenue grâce à l'utilisation de géogrilles primaires, négliger les exigences de stabilité superficielle peut conduire à la rupture de la pente.

- **Conception de la stabilité superficielle**

Description

Dans une section précédente, il a été montré que l'utilisation de renforts géosynthétiques placés horizontalement pour stabiliser les sols de surface dans les applications de pente est une procédure courante. Pour les pentes raides renforcées, par exemple, des couches de renforcement secondaires relativement courtes sont placées entre les renforts primaires afin d'assurer la stabilité du sol de surface pendant et après la construction pour aider à la croissance de la végétation.

Analyse

La coupe transversale de la **Figure 3-18** illustre un arrangement typique de pente raide avec renforcement de la géogrille. Thielen et al (1991) ont proposé une méthode pour déterminer le facteur de sécurité en cas de rupture du sol superficiel.

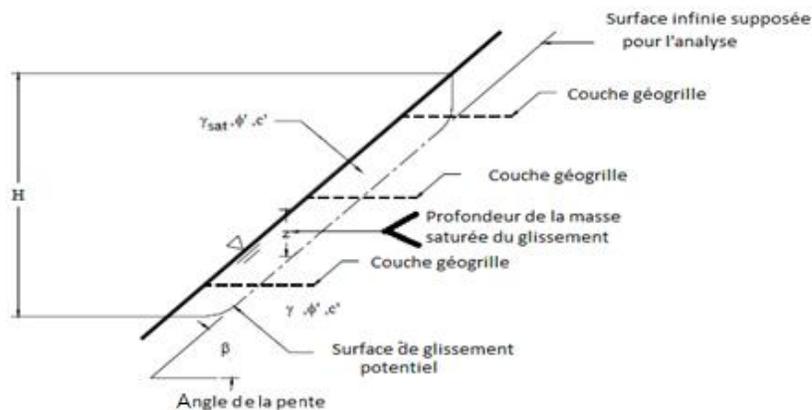


Figure 3-18 : Stabilité des sols superficiels avec renforcement géosynthétique

L'équation suivante permet de calculer le facteur de sécurité pour la défaillance du sol de surface pour une configuration de renforcement donnée le long de la surface de glissement potentielle avec toutes les forces parallèles par rapport à la face de la pente :

$$FS = \frac{F_g [\cos\beta + \sin\beta \tan\phi'] + \frac{c'H}{\sin\beta} + (\gamma_s - \gamma_w) + H z \cos\beta\phi'}{\gamma_s H z \sin\beta}$$

Avec :

- F_g = la résistance totale à la traction nécessaire du renforcement.
- γ_w = poids unitaire de l'eau.

Ainsi, le facteur de sécurité pour la défaillance des sols superficiels peut être déterminé pour un dispositif de renforcement donné. Ce calcul est particulièrement important pour les conditions où les couches superficielles du sol sont susceptibles d'être saturées en raison d'un événement quelconque (par exemple, des précipitations importantes, la fonte des neiges, etc.).

Inversement, l'équation peut être réorganisée pour obtenir la résistance totale à la traction requise pour un facteur de sécurité donné.

$$F_g = \frac{FS(\gamma_s H z \sin\beta') - [\frac{c'H}{\sin\beta} + (\gamma_s - \gamma_w)H z \cos\beta \tan\phi']}{(\sin\beta + \cos\beta \tan\phi')}$$

3.5 . Des exemples de projets de construction avec les géosynthétiques :

3.5.1 . Traitement d'un glissement de terrain sur le CW13 à Tifra willaya de Bejaïa

Ce projet concerne une route montagneuse suite concerne une route dans une zone montagneuse suite à un événement d'intempérie sur un linéaire de 80 m.

La **Figure 3-19** montre le glissement :



Figure 3-19 : vue du glissement

Plusieurs solutions techniques de traitement du glissement et de la reconstruction de la chaussée ont été proposées, mais en raison des délais de réalisation imposée, la seule solution retenue est celle d'un massif renforcé par géotextile. Mur de soutènement renforcé par des géotextiles couplés à un drainage par géocomposite équipé de mini-drains comme le montre la Figure 3-20.

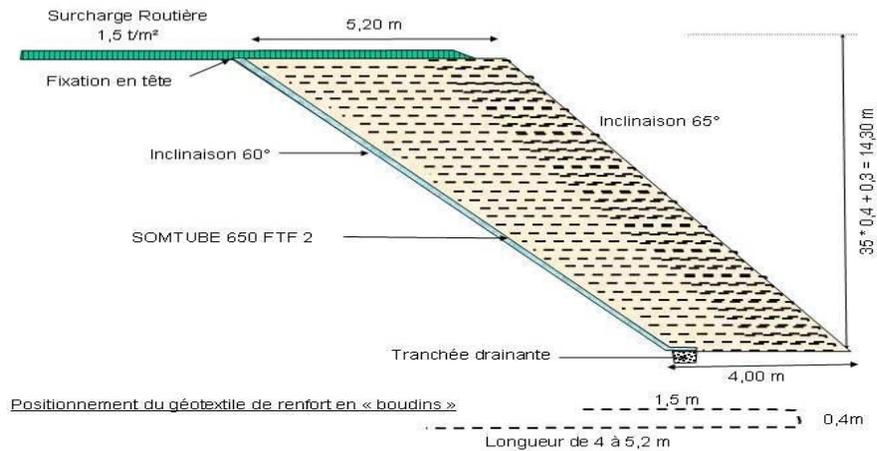


Figure 3-20 : Profil de l'ouvrage et densité de renforcement

La Figure 3-21 montre l'ouvrage respectivement en cours de construction et l'ouvrage achevé. Ce mur une fois construit a permis à élargir la chaussée sur le linéaire.



Figure 3-21 : vue de l'ouvrage en cours de construction et achevé

3.5.1.1 .Traitement d'un glissement de terrain sur l'Autoroute est-ouest (Lot ouest Section W 8-1 le glissement de terrain au niveau du PK 110)

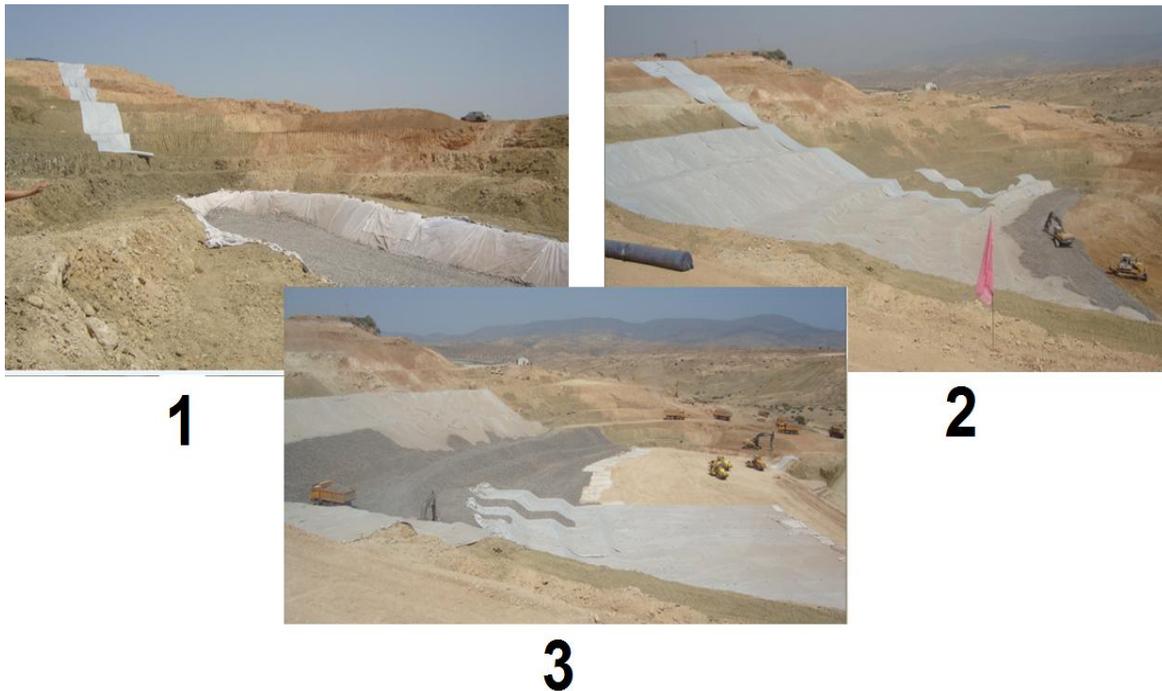


Figure 3-22 : Des images qui présentent le Traitement de glissement de terrain au niveau du PK110 lot ouest section w 8-1 de l'autoroute est-ouest.

3.5.2 . Des ouvrages de sol renforcé par utilisation des géosynthétiques internationales

Taiwan - la mère des sols renforcés en Asie. La source de ces photos du site web officiel de l'entreprise STRATA, cette entreprise transcontinentale qui joue le rôle d'un fabricant et distributeur d'une variété de produits de renforcement des sols par géosynthétiques. C'est un projet de route et les photos présentent la partie de la construction d'un talus renforcé avec des géogrilles comme renforcement interne et la face du talus est protégée du rayon UV par la végétation.

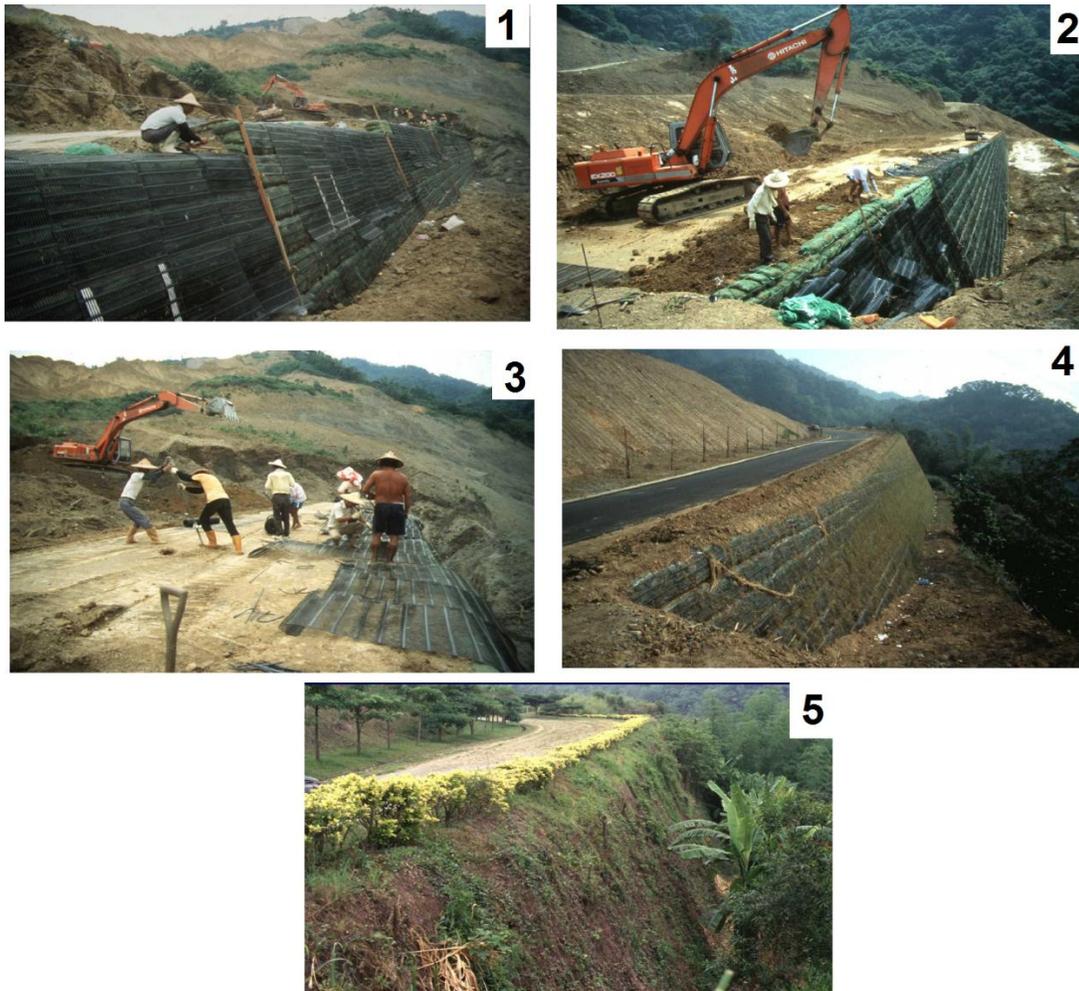


Figure 3-23 : Des images qui présentent la construction d'un talus renforcé à Taiwan

3.6 . Conclusion :

étant donné que le domaine des routes respecte l'importance du temps et en raison de l'exigence de terminer les projets routiers rapidement et efficacement, le traitement des talus instables peut prendre un temps relativement long par rapport au temps de projet total avec les techniques de stabilisation classiques les murs poids, ou en béton armé parce que ces techniques demandent la présence des engins et des équipes spécialisées et même le béton nécessite le coffrage et décoffrage que demande un temps en plus. Mais notre solution l'utilisation de remblais renforcés par géosynthétique pour le traitement des talus instables répond à toutes les exigences par rapport au temps cette méthode est la plus rapide par rapport à les autres méthodes de stabilisation, si on parle de main-d'œuvre elle nécessite que une équipe standard de terrassement et en termes d'efficacité et la durabilité. Les produits géosynthétiques on prouver leur place dans le domaine de routes par rapport au résultat des projets récentes et même l'aspect esthétique les ouvrage en remblais renforcé sont les premiers dans ce domaine.

Pour conclure le traitement de talus instable par géosynthétique est intéressant non seulement pour ces avantages et même pour le matériau géosynthétique qui a beaucoup de types et fonctions qui peut traiter plusieurs problèmes et le plus intéressant c'est que la matière première de ce produit c'est le pétrole qui est une richesse de notre pays si on peut l'utiliser correctement on va faire face à tous les différents problèmes du futur.

Chapitre 4

Etude de cas

4.1 . Introduction :

L'étude analytique est fréquemment complétée par une modélisation numérique bidimensionnelle ou tridimensionnelle par différentes méthodes (éléments finis, différences finies) qui permet d'analyser la déformation et l'influence de plusieurs paramètres en tout point du modèle dans un temps rationnel.

Une analyse numérique bidimensionnelle par geostudio de deux modèles de pentes réels présentant un risque d'instabilité va faire l'objet de ce chapitre. Un renforcement par géosynthétiques va être modélisé tout en paramétrant sur l'espacement et les caractéristiques mécaniques des géosynthétiques.

4.2 . Présentation du logiciel GEO-SLOPE :

GEO-SLOPE est un programme de calcul de stabilité des pentes qui permet de modéliser des problèmes de géotechnique et de géoenvironnement comme est mentionné dans la **Figure 4-1**. Ce programme de conception assistée par ordinateur permet d'utiliser la méthode des tranches pour déterminer le facteur de sécurité des massifs en pente constitués d'une ou de plusieurs couches de sol, avec ou sans présence de nappe, avec ou sans sollicitations sismiques, avec ou sans succion, etc.

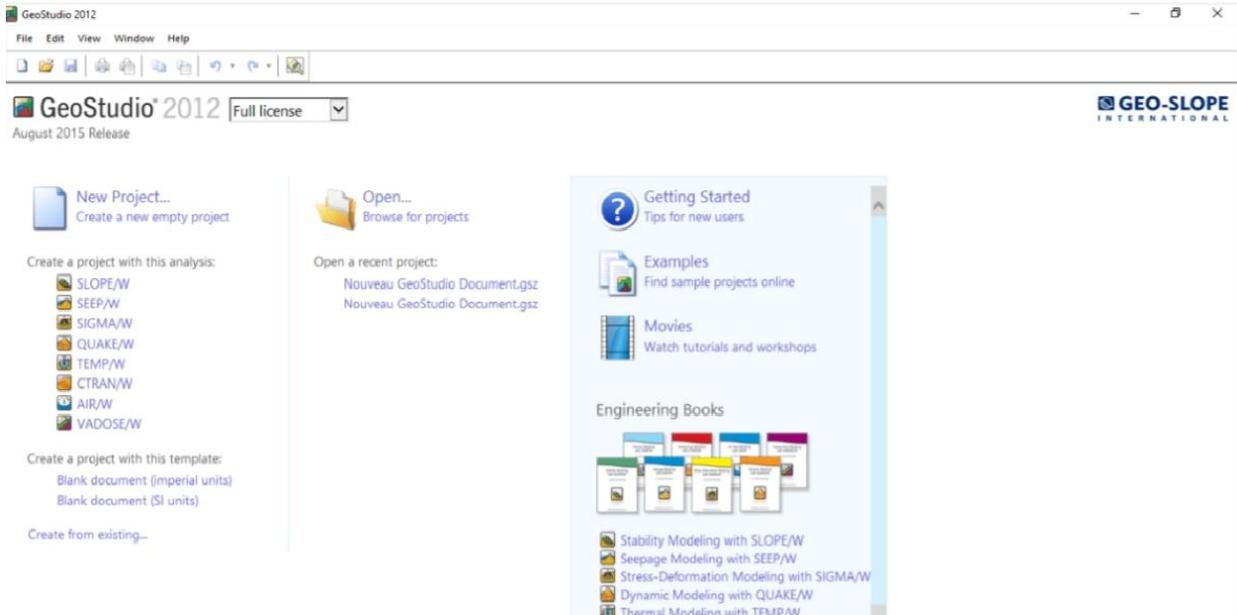


Figure 4-1 : Présentation du logiciel GEOSLOPE GEOSTUDIO 2012

Plusieurs programmes sont intégrés dans la fenêtre générale du logiciel :

- **SLOPE/W** : calcul des facteurs de sécurité d'une pente en utilisant les méthodes d'analyses classiques (Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, ...).
- **SEEP/W** : calcul, analyse et évalue, grâce à un modèle par éléments finis, les pressions interstitielles d'eau.
- **QUAKE/W** : modélisation par éléments finis du comportement du sol sous séisme.
- **SIGMA/W** : analyse par éléments finis des problèmes de contraintes - déformations.
- **TEMP/W** : analyse des problèmes géothermiques des sols.
- **CTAN/W** : modélisation du mouvement d'une contamination dans des matériaux poreux.
- **AIR/W** : analyse des interactions entre l'eau et l'air du sol dans des matériaux poreux.

- **VADOSE/W** : analyse de flux en dessous de la surface du sol, dans la zone non saturée et qui rejoignent le régime de l'eau dans le sol

Ce que nous nous intéressons parmi ces programmes est **SLOPE/W**.

Dans notre travail, les deux modules utilisés sont SLOPE/W ce module permet de décrire la géométrie du problème, la stratigraphie du site, les paramètres de résistances des sols et de modéliser la non-saturation du sol. Ce module permet de réaliser des interactions entre eux en utilisant les résultats de l'un pour faire une analyse dans l'autre et vice-versa. Ces combinaisons, méthodes par éléments finis et méthodes d'équilibre limite, permettent de surmonter les sérieuses limitations de la méthode d'équilibre limite des tranches qui ne satisfont que les équations de la statique et qui ne prennent pas en compte la compatibilité entre la déformation et le déplacement. La méthodologie appliquée avec ces deux modules pour la modélisation du glissement doit être développée au cours de ce chapitre.

4.3 . Notion de coefficient de sécurité :

Le principe de calcul de la stabilité des pentes consiste à déterminer le coefficient de Sécurité F_s . Ce coefficient est utilisé dans les calculs à la rupture. Il permet d'apprécier la marge de sécurité vis-à-vis de la rupture. Il existe plusieurs définitions possibles du coefficient de sécurité ; chacune présente des avantages et des inconvénients. Pour déterminer le facteur de sécurité F_s lequel il faut diviser la résistance de la surface de glissement pour que la masse potentiellement stable soit à la limite de l'équilibre.

Le **Tableau 4-1** ci-dessous, nous donne les valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entoure en se référant aux valeurs du coefficient de sécurité, on peut évaluer l'état de stabilité du talus comme le montre le tableau suivant :

Tableau 4-1 : Équilibre des talus en fonction des valeurs théoriques du coefficient de sécurité

| Facteur de sécurité | État de l'ouvrage |
|---------------------|--|
| < 1 | instable |
| 1 | Stabilité limite |
| 1-1,25 | Sécurité contestable |
| 1,25-1,4 | Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants, mais contre ces sécurités contestables pour les talus des carrières à ciel ouvert |
| > 1,4 | Sécurité satisfaisante |

4.4 . Étude de premier modèle (cas quartier El Rkiza) :

4.4.1 . Présentation

Cette partie concerne l'étude du glissement de talus nord de la RN 35 de quartier El Rkiza situé en côté ouest du village de Hammam Boughrara de la wilaya de Tlemcen (voir la **Figure 4-2** du site extraire de Google earth).



Figure 4-2 : La zone d'étude [Google Earth]

Le terrain touché par le glissement, objet de la présente étude, intéressé le talus situé en côté sud du quartier El Rkiza de Hammam Bouhrara qui donne sur la RN35 au PK 64+500.

Le glissement en question a touché précisément la partie du versant situé en juste contrebas des habitations précaires (voir la **Figure 4-3** qui montre la Localisation du site de glissement étudié).

Photo 01 :



Photo 02 :



Figure 4-3 : Localisation du site de glissement (photo prise en 2016 DTP-Tlemcen et STP-Maghnia)

Chapitre 4 : Etude de cas

La solution préconisée par l'entreprise LTPO est de réaliser un mur de soutènement en béton armé en bas de talus sur toute la longueur affectée par le glissement, voir approximativement 55,0 mètres. En ce qui concerne la hauteur du mur de soutènement, il pourrait être conçu pour une hauteur élevée à 5,0 m mètre au-dessus du niveau de la RN 35, y compris l'épaisseur de la semelle filante. Comme le montre la **Figure 4-4**.

Photo 01 :



Photo 02 :



Photo 03 :



Figure 4-4 : photo montre le talus de Rkiza après la solution préconisée

Aussi, il est important de rappeler en ce sens qu'il y a lieu de faire doter ce mur par la mise en place d'un matériau drainant sélectionné sur tout le long de son interface arrière avec les terres et de barbacanes pour l'évacuation des eaux drainées afin de dissiper les pressions interstitielles. Les caractéristiques géotechniques du matériau peuvent être prises comme suit : $\varphi = 40^\circ$; $C = 0$.

Le levé piézométrique indique que la nappe phréatique se trouve à partir de 11 m.

Le modèle du terrain proposé est composé de deux couches de sol, incluant dans la partie supérieure, une formation alluvionnaire et une couche de marne verdâtre dans la partie inférieure comme le montre la **Figure 4-7**.

4.4.2 . Les détails de la solution actuelle réalisée sur place :

D'après le Laboratoire des Travaux publics de L'Ouest et La Direction de Travaux publics, le ramollissement de la couche d'argile verdâtre a été à

- a) Trois tranchées drainantes de 0,80 m de large creusées jusqu'à l'argile verdâtre, ces tranchées sont remplies d'un matériau drainant sélectionné.
- b) Un mur de soutènement en béton armé en bas du talus sur toute la longueur 55.0 m.
- c) Une semelle filante.
- d) Des pieux en béton armé coulé sur place $\varnothing = 1.20 \text{ m}$; $h = 18,0 \text{ m}$.
- e) Un fossé bétonné d'eau.

4.4.3 . Caractéristiques géométriques du premier modèle :

Le profil à analyser est montré sur la **Figure 4-7** et les coordonnées des points sont présentées sur le **Tableau 4-2**.

Tableau 4-2 : Coordonnées des points (modèle 1)

| Point | X [m] | Y [m] |
|-------|-------|-------|
| 1 | 0 | 12 |
| 2 | 0 | 20 |
| 3 | 25 | 20 |
| 4 | 45 | 10 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 61 | 0 |
| 7 | 61 | 7 |
| 8 | 49 | 7 |

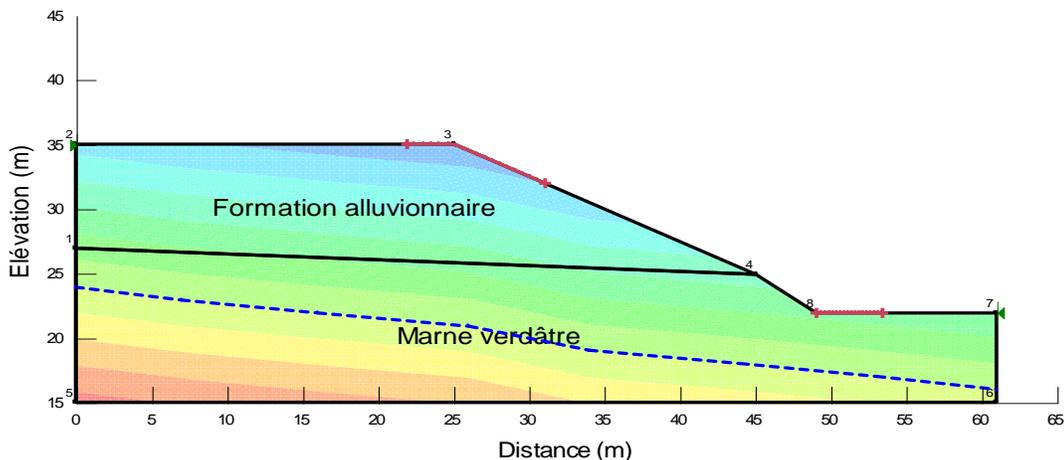


Figure 4-7 : Géométrie du premier modèle analysé

4.4.4 . Propriétés des couches de sols :

Les propriétés des couches de sols sont résumées dans le **Tableau 4-3** :

Tableau 4-3 : Les caractéristiques géotechniques (modèle 1)

| Couche | γ_h (KN/m^3) | γ_d (KN/m^3) | γ (KN/m^3) | C (kPa) | φ (°) |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|---------------|
| Formation alluvionnaire | - | - | 21 | 5 | 13-14 |
| Marne verdâtre | 19,3-20,2 | 16-17 | 19,8 | 38-40 | 1-6 |

4.4.5 . Calcul analytique de premier modèle :

Calcul de talus de Rkiza (premier modèle) pour ce calcul on va calculer le facteur de sécurité FS_U pour la section non renforcée et le facteur de sécurité FS_R pour la section renforcée et enfin, la longueur d'encastrement des différentes couches de renforcement au-delà de la surface de rupture critique.

- calculer le facteur de sécurité FS_U pour la section non renforcée

Puisque cette méthode est purement graphique on a utilisé le logiciel autocad 2008 pour que le dessin soit correcte et les résultats soit plus correctes et précis.

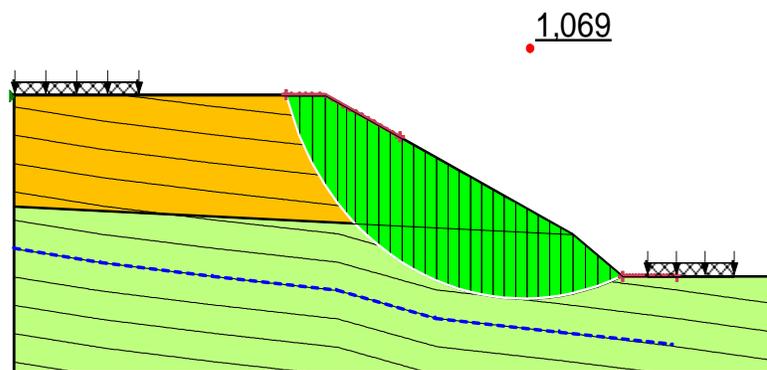


Figure 4-8 : La modélisation du modèle 1 de Rkiza avec geoslope sans renforcement

Après l'analyse de talus avec geoslope le résultat de facteur de sécurité de sol naturel sans renforcement égal à $1,069 < 1,25$ d'après les recommandations voir le **Tableau 4-1** le talus est en Sécurité contestable il nécessite le renforcement.

Le cercle de rupture critique et ces propriétés sont le centre du cercle est O (39,41) et le rayon $R=26.65$ m.

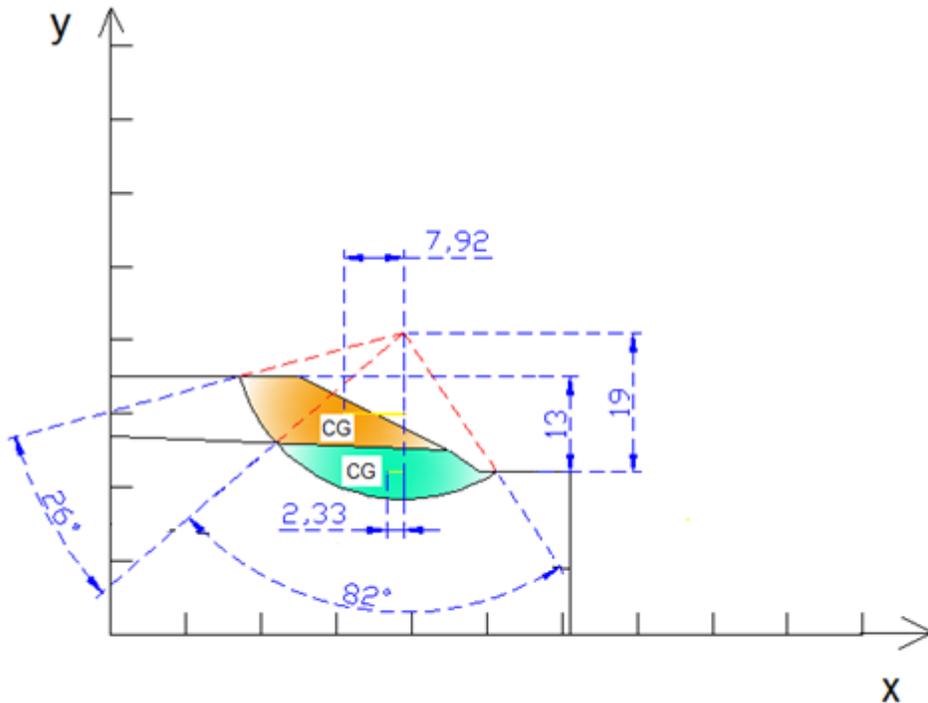


Figure 4-9 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza qui montre tous les paramètres nécessaires pour le calcul manuel

En premier lieu on détermine les surfaces de sol, dans notre talus en 2 couches concernées par le glissement, la première couche est la formation alluvionnaire et l'autre c'est la marne verdâtre pour cette tâche on a le logiciel autocad donne les valeurs facilement sont calculées.

$$S_1 = 143.9035 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 139.2518 \text{ m}^2$$

Avec :

$$W = S \times \gamma$$

$$W_1 = S_1 \times \gamma_1 = 143.9035 \times 20 = 2878.07 \text{ KN/m}$$

$$W_2 = S_2 \times \gamma_2 = 139.2518 \times 19.8 = 2757.18 \text{ KN/m}$$

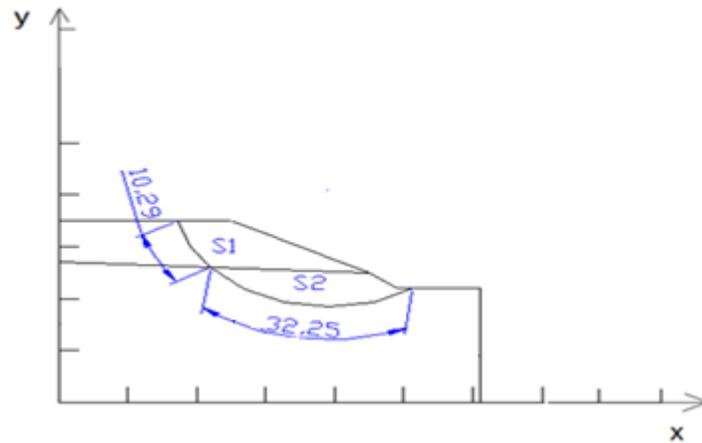


Figure 4-10 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza qui montre les longueurs d'arc pour le calcul manuel

Alors :

$$L_1 = 10.29m$$

$$L_2 = 32.25m$$

On va calculer le moment résistant M_R :

$$M_R = \sum_1^n C_i \times l_i \times R$$

$$M_R = C_1 \times L_1 \times R + C_2 \times L_2 \times R$$

$$M_R = 15 \times 10.29 \times 22.65 + 39 \times 32.25 \times 22.65$$

$$M_R = 31984.065 \text{ KN/m/ml}$$

On va calculer le moment de glissement (M_G) :

$$M_G = \sum_1^n W_i \times x_i$$

La figure suivante montre l'emplacement des charges et surcharges et leurs bras de levier pour le calcul manuel.

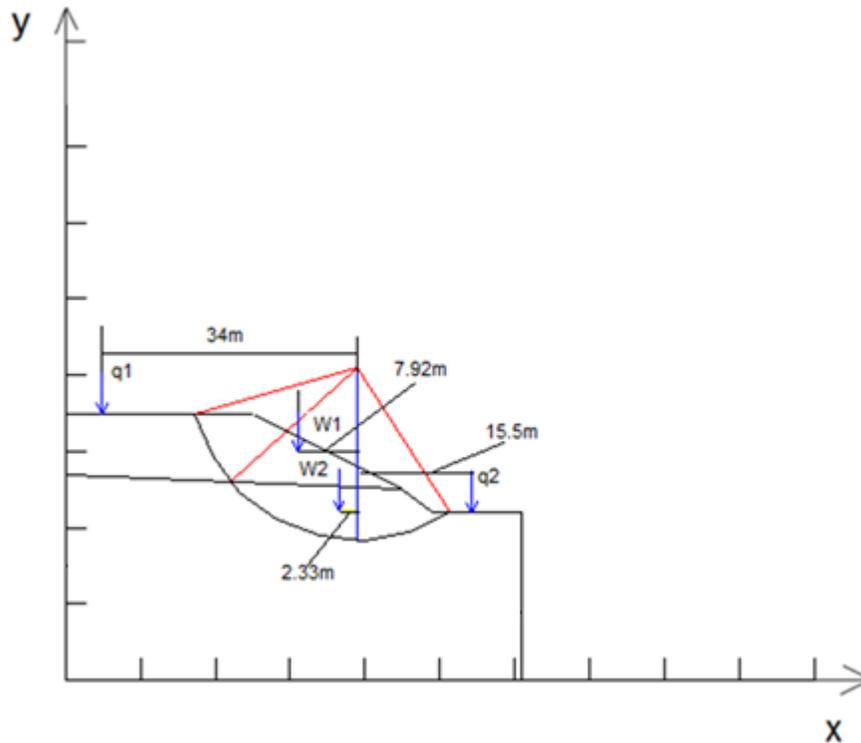


Figure 4-11 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza

Avec :

$q_1 = 50 \text{ KN/m}^3$ (La surcharge des maisons) $q_2 = 30 \text{ KN/m}^3$ (La surcharge de la route) ces valeurs sont prises après une discussion avec les ingénieurs spécialistes dans ce domaine.

$$M_G = W_1 \times x_1 + W_2 \times x_2 + q_1 \times x_3 - q_2 \times x_4$$

$$M_G = 2878.07 \times 7.92 + 2757.18 \times 2.33 + 50 \times 34 - 30 \times 15.5$$

$$M_G = 30453.54 \text{ KN/m/ml}$$

$$FS = \frac{\text{Moment résistant}(M_R)}{\text{Moment de glissement}(M_G)} = \frac{31984.065}{30453.54}$$

FS = 1.05 (Alors le talus est en équilibre limite)

Puisque le talus est en équilibre limite alors on doit le renforcer avec des géogrilles uniaxiales parce que le déplacement possible on a choisi **Géogrille UX1800HS** avec **une force admissible de 74,1 KN/m**. Voici la fiche technique de produit géosynthétique pour plus d'informations.

Product Specification - Structural Geogrid UX1800HS

Tensar International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance.

Product Type: Integrally Formed Structural Geogrid
Polymer: High Density Polyethylene
Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
Recommended Applications: Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls

Product Properties

| Index Properties | Units | MD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|
| ▪ Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 95 (6,510) |
| ▪ Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 210.0 (14,390) |
| ▪ Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 180 (12,340) |
| ▪ Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 9,500,000 |
| Durability | | |
| ▪ Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| ▪ Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| ▪ Maximum Allowable Strength for 120-year Design Life ⁷ | kN/m (lb/ft) | 74.1 (5,080) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| ▪ Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 |
| ▪ Reduction Factor for Creep for 120-year Design Life (RF _{CR}) ⁹ | | 2.7 |
| ▪ Minimum Reduction Factor for Durability (RF _D) | | 1.00 |

Figure 4-12 : La fiche technique géogrille UX 1800 HS (Tensar)

Et maintenant on va ajouter une couche de géogrille et calculer le facteur de sécurité de sol renforcé, et on va ajouter une autre et voir et comme ça jusqu'à attendre la stabilité.

Le facteur de sécurité pour une couche de géogrille à la base du talus :

$$FS_R = \frac{M_R + M_{Re}}{M_G}$$

avec le moment de renforcement $M_{Re} = \sum_1^n T_i \times Y_i$

-Le moment M_G et M_R Sont déjà calculés et $y=19$ pour la couche en bas voir la **Figure 3-7** pour bien comprendre :

Alors on va calculer M_{Re} :

$$M_{Re} = 74.1 \times 19$$

$$M_{Re} = 1407.9 \text{ KN.m}$$

Et :

$$M_R = 31984.065 \text{ KN/m/ml}$$

$$M_G = 30453.54 \text{ KN/m/ml}$$

$$FS_R = \frac{M_R + M_{Re}}{M_G} = \frac{31984.065 + 1407.9}{30453.54}$$

$$FS_R = 1.09$$

Pas stable on continue de placer les couches de géorilles à un espacement vertical de 0,75 m et voir la progression de facteur de sécurité. Pour un espacement de 0,75 m, on peut mettre jusqu'à 17 couches pour notre talus de hauteur de 13 m.

Tableau 4-4 : Un tableau récapitulatif de calcul manuel qui représente les résultats (FS c'est le facteur de sécurité et MR le moment résistant)

| N° de couche | Y | Mr | FS |
|--------------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 19 | 33 391,97 | 1,096 489 |
| 2 | 18,25 | 34 744,29 | 1,140 895 |
| 3 | 17,5 | 36 041,04 | 1,183 476 |
| 4 | 16,75 | 37 282,22 | 1,224 233 |
| 5 | 16 | 38 467,82 | 1,263 164 |
| 6 | 15,25 | 39 597,84 | 1,300 271 |
| 7 | 14,5 | 40 672,29 | 1,335 552 |
| 8 | 13,75 | 41 691,17 | 1,369 009 |
| 9 | 13 | 42 654,47 | 1,400 641 |
| 10 | 12,25 | 43 562,19 | 1,430 447 |
| 11 | 11,5 | 44 414,34 | 1,458 429 |

| | | | |
|----|-------|-----------|-----------|
| 12 | 10,75 | 45 210,92 | 1,484 587 |
| 13 | 10 | 45 951,92 | 1,508 919 |
| 14 | 9,25 | 46 637,34 | 1,531 426 |
| 15 | 8,5 | 47 267,19 | 1,552 108 |
| 16 | 7,75 | 47 841,47 | 1,570 966 |
| 17 | 7 | 48 360,17 | 1,587 998 |
| 18 | 6,25 | 48 823,29 | 1,603 206 |

Alors après calcul à l'aide d'Excel on atteint la stabilité à 13 couches, mais puisqu'il se trouve des maisons sur notre talus on va vers le nombre maximal de couches pour plus de sécurité et la vulnérabilité humaine est importante sinon 13 couches est suffisamment stable pour le talus.

Après avoir le nombre de couches il faut déterminer la longueur d'encastrement des différentes couches de renforcement au-delà de la surface de rupture critique, elle doit être suffisante pour assurer une résistance à l'arrachement adéquat.

On a la loi suivante :

$$2 \times \tau \times L_e \times C_i = T_{allow} \times FS$$

Avec :

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi$$

Et $FS=2$ et $C_i=0,85$ pour les géogrilles (FHWA)

Puisque le glissement concerne deux couches différentes, on va calculer deux longueurs d'encastrement et choisir la plus sûre et stable pour notre cas.

$$\tau_1 = 53.78 \text{ KN/m}^2 \quad \text{et} \quad \tau_2 = 45.9 \text{ KN/m}^2$$

$$L_{e1} = \frac{74.1 \times 2}{2 \times 53.78 \times 0.85} = 1.6m$$

$$L_{e2} = \frac{74.1 \times 2}{2 \times 45.9 \times 0.85} = 1.8m$$

On va prendre $L_{e2} = 1,8$ m pour satisfaire les deux couches contre les forces d'arrachement possibles.

-Voici la représentation graphique sur le logiciel autocad du talus renforcé par des nappes de géogrilles pour bien voir la distribution du renforcement de couches par rapport à la hauteur du talus.

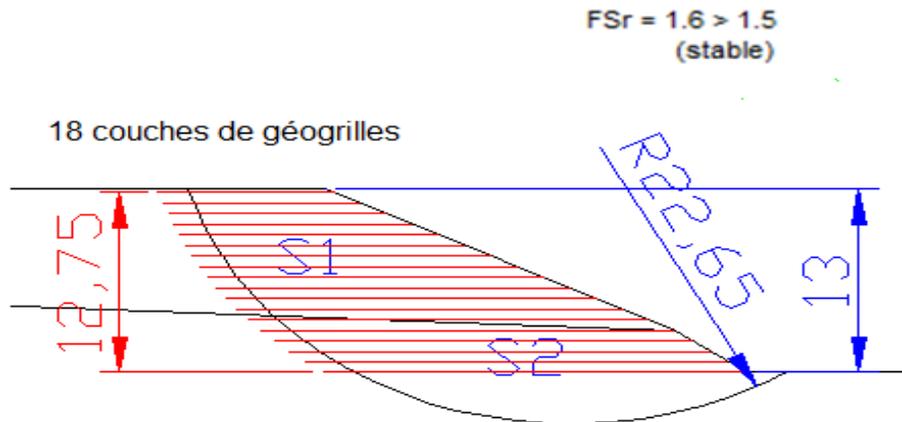


Figure 4-13 : Une représentation graphique par autocad du modèle 1 de Rkiza qui montre la distribution des couches de géogrilles sur le talus

4.5 . La modélisation pour le premier modèle :

Pour mieux vérifier les résultats de calcul manuel, on va faire une analyse de talus renforcé avec geostudio pour avoir notre vue sur le comportement de sol avec et sans renforcement par les géosynthétiques.

4.5.1 . Avant renforcement

La première analyse a été faite sur notre modèle sans tenir compte les nappes de géogrilles de renforcement voici les détails :

La figure suivante montre les matériaux affectés sur le talus pour l'analyse.

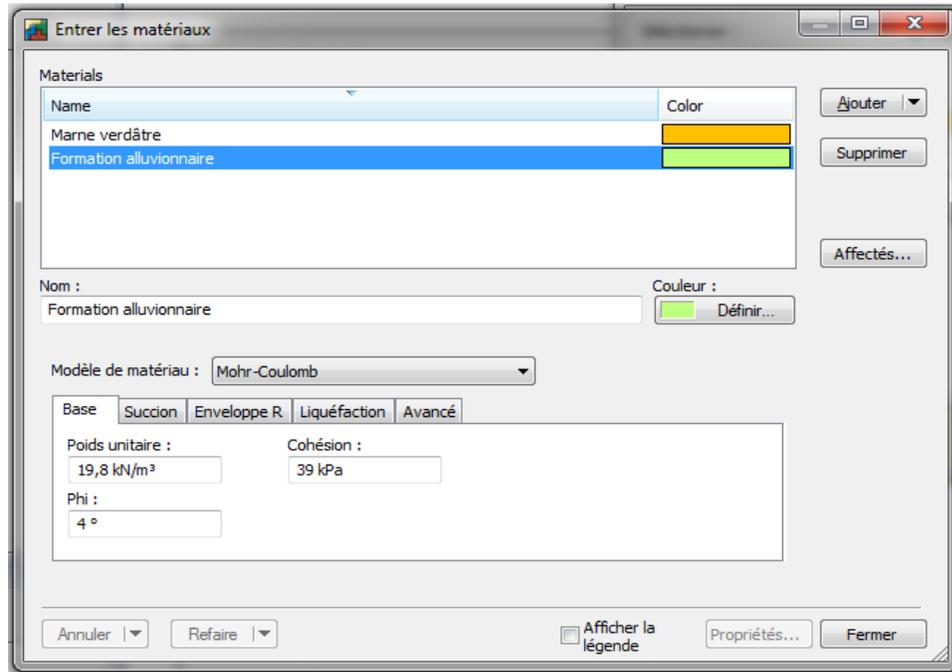


Figure 4-14 : photo montre les matériaux entrés dans l'analyse et leurs propriétés

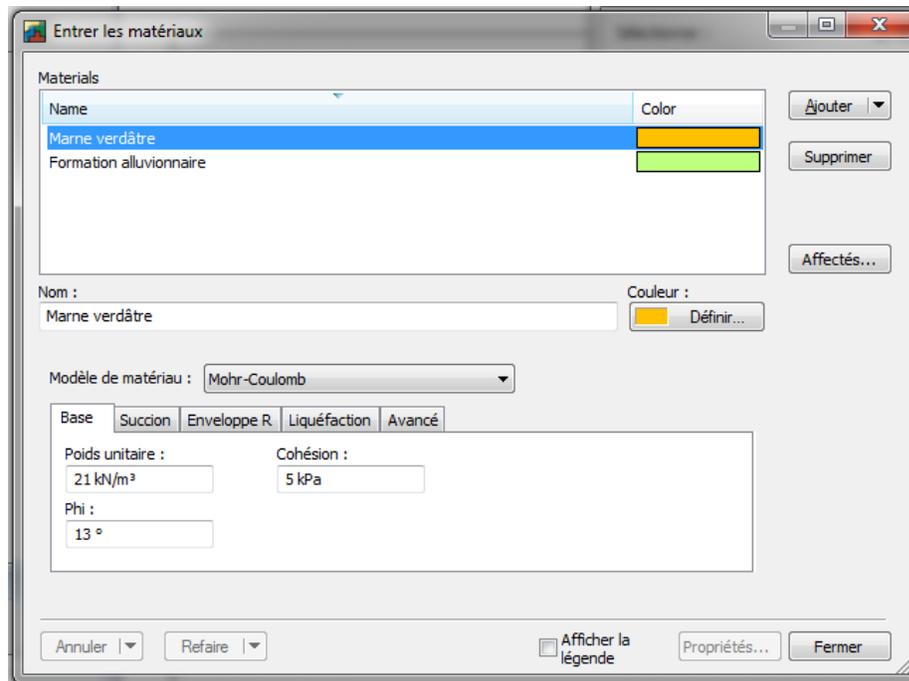


Figure 4-15 : photo montre les matériaux entrés dans l'analyse et leurs propriétés

En fin on lance l'analyse et les résultats dans la figure suivante :

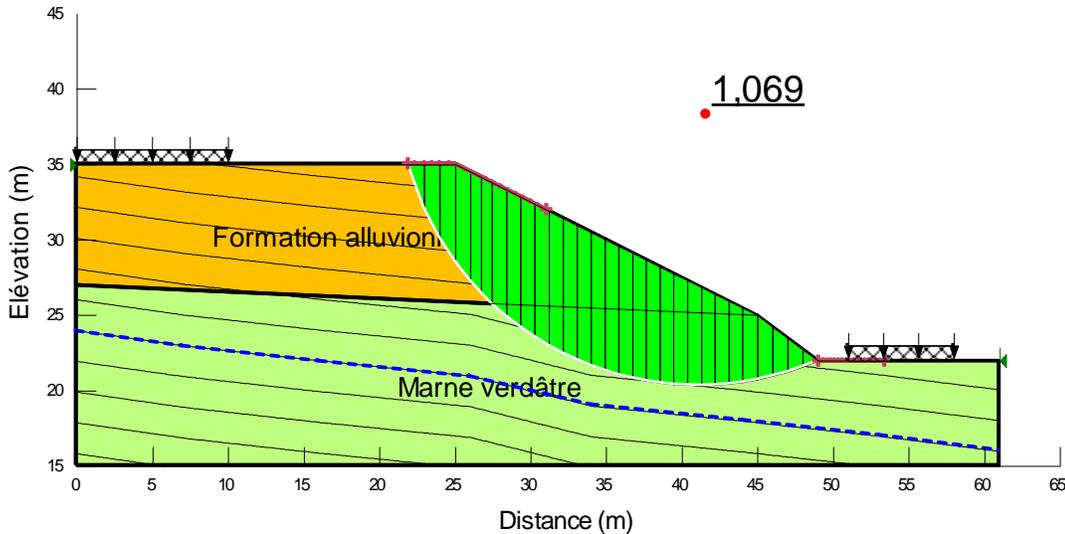


Figure 4-16 : Capture des résultats de l'analyse du talus sans renforcement

Après l'analyse de talus avec geoslope le résultat de facteur de sécurité de sol naturel sans renforcement égal à $1,069 < 1,25$ le talus est en Sécurité contestable il nécessite le renforcement.

4.5.2 . Après renforcement avec les géosynthétiques

On a affecté les nappes de géogrilles d'après les résultats de calcul manuel et les recommandations de la méthode américaine 18 couches avec un espacement vertical de 0,75 m.

Et pour affecter les nappes de géogrilles il faut avoir les propriétés du matériau on a :

- $T_{ult} = 210 \text{ KN/m}$
- $RF_{ID} = 1,05$
- $RF_{CR} = 2,70$
- $RF_D = 1,00$

Avec : $RF = RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \Rightarrow RF = 1.05 \times 2.70 \times 1.00 = 2.835$

La résistance à l'arrachement du renforcement

Il reste une propriété qu'il faut calculer c'est la résistance à l'arrachement.

On a l'équation suivante :

$$P_r = 2 \times C_i(\sigma'_v \tan \varphi_i + C) L_e$$

$$P_r = 2 \times 0.6 \left(19.8 \times \tan\left(4 \times \frac{2}{3}\right) + 39 \right) 1.8$$

$$P_r = 110 \text{ KPa}$$

Après qu'on a tous les paramètres nécessaires pour l'affectation de géogridde dans le talus pour l'analyse

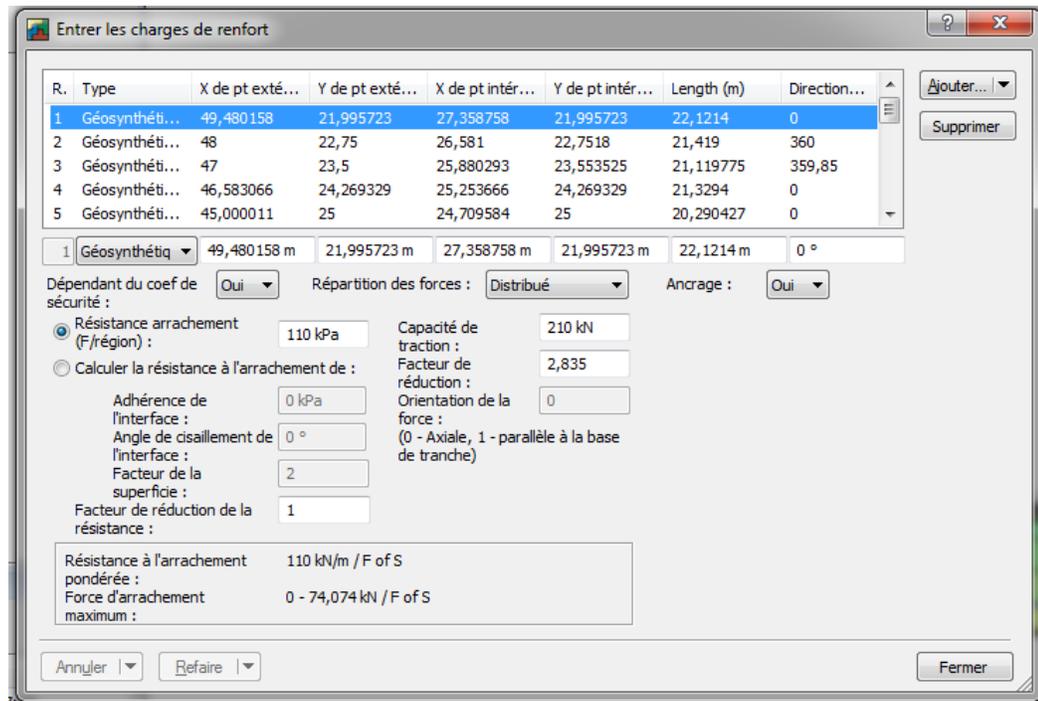


Figure 4-17 : photo qui permet d'affecter les nappes géogrilles et leurs propriétés

On à affecter les géogrilles et la nappe est à 11 m de profondeur voici la distribution finale :

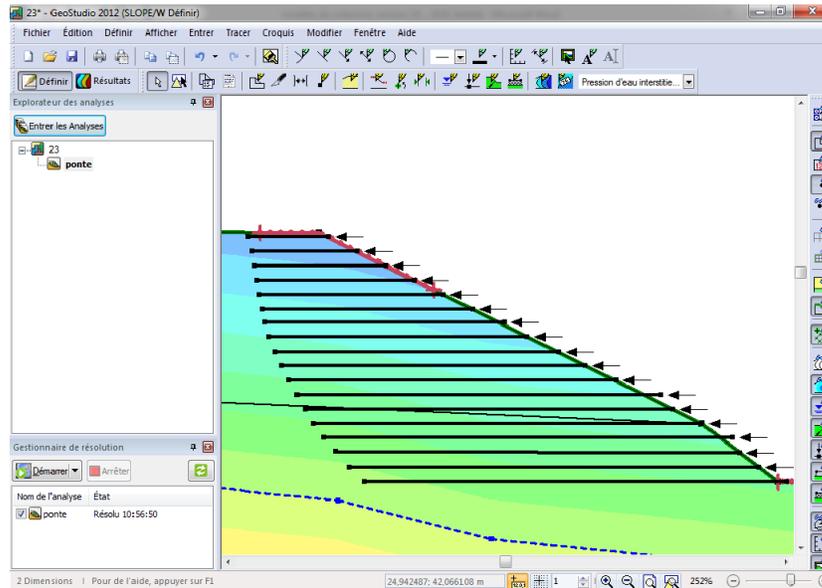


Figure 4-18 : Une capture d'écran agrandie pour bien voir la distribution des nappes géogrilles dans le talus

Enfin on lance l'analyse et les résultats dans la figure suivante :

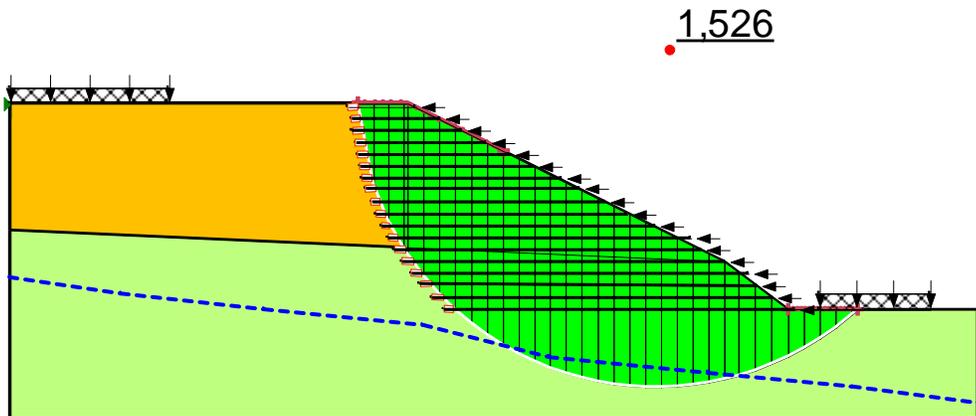


Figure 4-19 : Capture du résultat de l'analyse du talus

Après l'analyse de talus avec les 18 couches le résultat de facteur de sécurité égale à $1.526 > 1.4$ d'après les recommandations voir le **Tableau 4-1** le talus est en Sécurité satisfaisante ce qui montre la puissance de la méthode américaine dans le traitement des talus renforcés par les géosynthétiques.

4.6 . Comparaison des devis quantitatifs et estimatifs entre les deux solutions :

Devis quantitatif et estimatif de mur de soutènement déjà construit sur le tableau ci-dessous :

| Nature | unité | Quantité | prix unitaire | Prix global(DA) |
|--------------------------|----------------|----------|---------------|-----------------|
| Études | F | 1 | 430000 | 430000 |
| Installation de chantier | F | 1 | 1200000 | 1200000 |
| Excavation | m ³ | 540 | 850 | 459000 |
| Pieux | ml | 360 | 55000 | 19800000 |
| Coffrage | m ² | 730 | 1750 | 1277500 |
| semelle filante | m ³ | 140 | 20000 | 2100000 |
| MDS préfabriqué | UN | 30 | 53000 | 2700000 |
| bloc de béton | UN | 16 | 8500 | 136000 |
| Tranchée drainante | m ³ | 540 | 7000 | 3780000 |
| Barbacanes | ml | 80 | 550 | 44000 |
| Filtre drainant | m ³ | 440 | 3000 | 1320000 |
| Tuyau en PVC perforé | ml | 45 | 1500 | 67500 |
| fossé d'eau | ml | 55 | 2500 | 137500 |
| MONTANT EN HORS-TAXES | | | | 33451500 |
| TVA 19 % | | | | 6355785 |
| MONTANT EN TTC | | | | 39807285 |

Devis quantitatif et estimatif de mur en remblai renforcé par géogridde, sur le tableau ci-dessous :

| Nature | unité | Quantité | prix unitaire (DA) | Prix global(DA) |
|------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|
| Études | F | 1 | 30000 | 30000 |
| Déblai en terrain | m ³ | 2100 | 850 | 1785000 |
| Réglage des fouilles | m ² | 1106 | 600 | 1137600 |
| Filtre drainant géocomposite | m ³ | 1896 | 1500 | 2844000 |
| Tuyau en PVC perforé | ml | 50 | 1500 | 75000 |
| Tranchée drainante | m ³ | 7 | 4500 | 31500 |
| Couche de géogrilles | m ² | 5607 | 2000 | 11214000 |
| végétation | m ² | 1485 | 1000 | 1485000 |
| MONTANT EN HORS-TAXES | | | | 18602100 |
| TVA 19 % | | | | 3534399 |
| MONTANT EN TTC | | | | 22136499 |

4.6.1 . Interprétation des résultats

Après les calculs de Devis quantitatif et estimatif de mur de soutènement déjà construit dans le talus de Rkiza situé en côté ouest du village de Hammam Boughrara le coût final du projet a été presque deux fois plus élevé par rapport au coût du remblai renforcé par géogrilles.

C'est-à-dire que le talus renforcé par les nappes de géogrilles est beaucoup plus économique que le mur de soutènement vu que la différence entre les deux coûts a été de 1.7 milliard de dinars, pour le point de vue de stabilité les résultats de notre étude a donné un facteur de sécurité de 1.526 qui est un peu plus élevé par rapport à l'autre de 1.44.

Alors on peut dire qu'on peut atteindre l'objectif de stabilité de talus en économisant 1.7 milliard de dinars en plus de l'aspect esthétique qui est un des avantages de renforcement de sol par les géosynthétiques assuré par la végétation de la face du talus, sans oublier le système de drainage efficace pour drainer l'eau de la surface de glissement avec le fait la possibilité

d'utiliser les matériaux locaux et diminution des volumes de matériaux évacués et des coûts de transport.

La solution déjà construite stable, mais notre solution est bien meilleure et moderne qui a des aspects multiples stabilité, durabilité, environnement et esthétique.

4.7 . Étude de deuxième modèle : (cas village Aïn El Hout)

4.7.1 . Présentation

Le site concerné par la présente étude se situe à environ 8 km au nord du Centre-ville de Tlemcen Plus précisément, au niveau du chemin communal reliant la RN22C au village d'Aïn El Hout.

Le site concerné par la présente étude intéresse la partie effondrée du chemin communal reliant la RN22C au village d'Aïn El Hout se résumant à la demi-chaussée droite donnant sur le talus. (La **Figure 4-20** montre la zone de glissement).

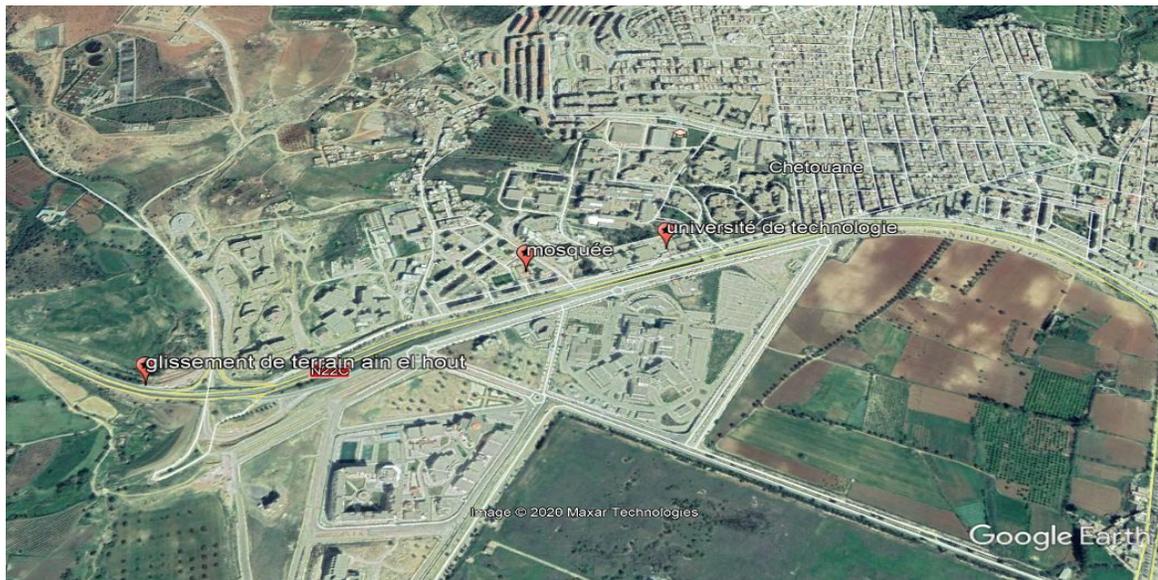


Figure 4-20 : la zone d'étude (Image satellitaire par Google earth)

La **Figure 4-22** qui montre la Localisation du site de glissement étudié.

Photo 01 :



Figure 4-21 : photo montrant mesure de l'angle de la pente sur le site d'étude

Photo 02 :



Figure 4-22 : Photo décrit le site de glissement étudié

4.7.2 . La solution proposée du deuxième modèle

Pour ce deuxième modèle on va proposer une solution de renforcement par géosynthétiques de type géogrille en polyéthylène haute densité (PEHD) Tensar, a été proposée du fait de leur grande souplesse et de la facilité et rapidité de leur mise en œuvre, et de leur bonne résistance par rapport à beaucoup d'autres solutions classiques. Les raisons essentielles de ce choix sont :

- Peut être utilisé avec une large gamme d'options de parement (blocs de béton, panneaux de béton, bois traités de différentes textures et couleurs)
- Permet jusqu'à 60 % de gain de matière et de temps par rapport aux structures conventionnelles en béton armé et gravitaire.
- Haute résistance aux chocs dynamiques et à l'activité sismique.
- Permet l'utilisation du remplissage sur site.
- Construction rapide, simple et économique.
- Résiste au règlement différentiel.
- Capacité de connexion élevée entre le parement et la grille.
- Structure esthétiquement attrayante.
- Réduit les perturbations de la circulation et la fermeture de voie.

4.7.3 . Caractéristiques géométriques du deuxième modèle :

Le profil à analyser est montré sur la **Figure 4-23** et les coordonnées des points sont présentées sur le **Tableau 4-5**.

Tableau 4-5 : Coordonnées des points (modèle 2)

| Point | X [m] | Y [m] |
|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 7 |
| 2 | 10 | 7 |
| 3 | 15 | 2 |
| 4 | 21 | 2 |
| 5 | 21 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |

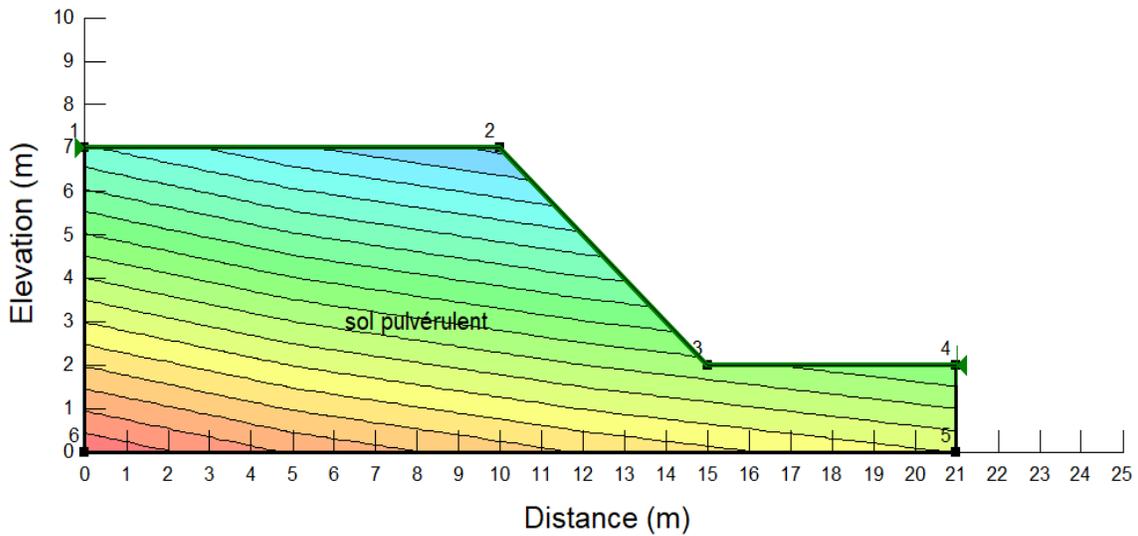


Figure 4-23 : Géométrie du deuxième modèle analysé

La propriété de couche de sol est mentionnée dans le **Tableau 4-6** :

Tableau 4-6 : Les caractéristiques géotechniques (modèle 2)

| Couche | γ (KN/m ³) | C (kPa) | φ (°) |
|-----------------|-------------------------------|---------|---------------|
| Sol pulvérulent | 20 | 0 | 36 |

4.7.4 . Calcul analytique de deuxième modèle :

Calcul de talus Aïn El Hout (deuxième modèle) on appliquant la méthode de (Schmertmann et al. 1987)

Étape 01 : détermination de l'angle de conception du frottement interne (φ')

$$\tan \varphi'_f = \tan \varphi' / V_m$$

$$\tan \varphi'_f = \tan (36) / 1,27$$

$$\varphi'_f = 30^\circ$$

Étape 02 : détermination du coefficient de force de renforcement horizontal (K)

$$\beta = 45^\circ ; \varphi'_f = 30^\circ$$

$$K = 0,09$$

Étape 03 : calcul de la force de traction cumulative maximale requise (T_{max})

$$T_{max} = 0,5 * K * \gamma * (H')^2$$

$$H' = H + q / \gamma$$

$$H' = 5 + 30/20$$

$$H' = 6,5 \text{ m}$$

$$T_{max} = 0,5 * 0,09 * 20 * (6,5^2)$$

$$T_{max} = 38 \text{ KN/m}$$

Étape 04 : répartition de la résistance à la traction cumulative maximale requise dans différentes zones (T_{zone})

$$H = 5 \text{ m} \leq 6 \text{ m (pour deux zones)}$$

$$T_{bas} = \frac{3}{4} T_{max}$$

$$T_{haut} = \frac{1}{4} T_{max}$$

$$T_{bas} = \frac{3}{4} * 38 = 28,5 \text{ KN/m}$$

$$T_{haut} = \frac{1}{4} * 38 = 9,5 \text{ KN/m}$$

Étape 05: calcul de la résistance de conception à long terme (LTDS)

On choisit: geogrid UX 1100 HS

$$T_{ult} = 58 \text{ KN/m}$$

$$LTDS = T_{ult} / RF_{CR} * RF_{ID} * RF_D$$

$$LTDS = 58 / 1,05 * 2,6 * 1$$

$$LTDS = 21,245 \text{ KN/m}$$

Étape 06 : détermination de nombre de couches et l'espacement vertical

$$N = T_{max} (\text{Zone 1}) / LTDS$$

$$N = 28,5 / 21,245$$

$$N = 1,34 = 2 \text{ nappes}$$

$$S_{v(\text{zone 1})} = H_{zone} / N_{zone}$$

$$S_v = 5 / 3 / 2 = 0,8 \text{ m}$$

$$N = 9,5 / 21,245 = 0,447 = 1 \text{ nappe}$$

$$S_{v(\text{zone 2})} = H_{zone} / N_{zone}$$

$$S_v = 5 / 3 / 1 = 1,6 \text{ m}$$

Étape 07 : détermination de la longueur de la couche géogrid en haut (LT)

Et en bas (LB)

$$\frac{LT}{H'} = 0,4 \Leftrightarrow LT = 0,4 * 6,5 = 2,6 \text{ m}$$

$$\frac{LB}{H'} = 0,48 \Leftrightarrow LB = 0,48 * 6,5 = 3,12 \text{ m}$$

$$L_e = \frac{LTDS * FS}{2 * F * \alpha * \sigma'_v}$$

$$\sigma'_v = \gamma * Z + q = 20 * 5 + 30 = 130 \text{ kPa}$$

$$L_e = \frac{21,245 * 1,5}{2 * 0,461 * 0,8 * 130}$$

$$L_e = 0,33 = 1 \text{ m}$$

$$FS_{po} = \frac{2 * L_e * \alpha * \sigma'_v}{LTDS} > 1,5$$

$$FS_{po} = \frac{2 * 1 * 0,461 * 0,8 * 130}{21,245} = 4,513 > 1,5 \text{ (condition vérifiée)}$$

Tableau 4-7 : les résultats obtenus de calcul de la stabilité de talus

| Zone | nombre et espacement des couches de géogrilles | profondeur des couches depuis le haut Z (m) | σ'_v (KN/m ²) | longueur d'encastrement (L_e) m | longueur d'encastrement fournie (L_e) m | FS contre l'arrachement FS_{po} |
|------|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| haut | couche de base | 5 | 130 | 0,33 | 1 | 4,513 |
| | 1 couche de 1,6 m | 3,75 | 105 | 0,411 | 1 | 3,645 |
| bas | 2 couches de 0,8 m | 1,6 | 62 | 0,6968 | 1 | 2,1525 |
| | | 0,8 | 46 | 0,939 | 1 | 1,597 |

- Calcul de résistance à l'arrachement de géosynthétique :

$$P_r = 2 * w_{gsy} * L_e * (\sigma'_v + q) * \tan(\varphi_i)$$

$$\varphi_i = \varphi_{sol-géogrille} = \frac{2}{3} \times (\varphi_{sol})$$

$$\varphi_i = \frac{2}{3} \times (36^\circ)$$

$$\varphi_i = 24^\circ$$

$$P_r = 2.1.0.33. (20 \times 5 + 30). \tan(24) = 38,20 \text{ kPa}$$

4.8 . Modélisation :

Il nous a été judicieux de proposer, pour ce même cas de talus, un renforcement par géosynthétiques et d'analyser sa stabilité avec le code geostudio.

4.8.1 . Avant renforcement :

Cette première analyse a été faite sans l'introduction des géogrilles afin de nous

Vérifier la valeur de coefficient de sécurité.

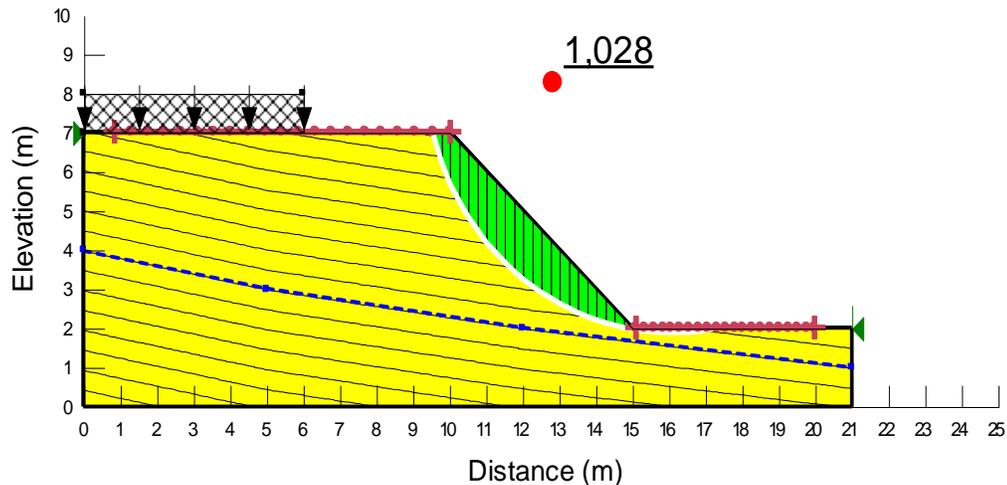


Figure 4-24 : valeur de coefficient de sécurité sans renforcement

- après modélisation du deuxième modèle, on a trouvé :

$F_s = 1,028$ (on est dans l'équilibre limite on doit le renforcer)

Pour ce cas on a utilisé geogrid UX 1100 HS pour plus de détails sur le produit voici la fiche technique.

Product Specification - Structural Geogrid UX1100HS

Tensor International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance.

Product Type: **Integrally Formed Structural Geogrid**
 Polymer: **High Density Polyethylene**
 Load Transfer Mechanism: **Positive Mechanical Interlock**
 Recommended Applications: **Sierra System (Reinforced Slopes), Prism System (Embankments), Temporary Walls**

Product Properties

| Index Properties | Units | MD Values ¹ |
|--|--------------|------------------------|
| ▪ Tensile Strength @ 5% Strain ² | kN/m (lb/ft) | 27 (1,850) |
| ▪ Ultimate Tensile Strength ² | kN/m (lb/ft) | 58 (3,970) |
| ▪ Junction Strength ³ | kN/m (lb/ft) | 54 (3,690) |
| ▪ Flexural Stiffness ⁴ | mg-cm | 500,000 |
| Durability | | |
| ▪ Resistance to Long Term Degradation ⁵ | % | 100 |
| ▪ Resistance to UV Degradation ⁶ | % | 95 |
| Load Capacity | | |
| ▪ Maximum Allowable Strength for 120-year Design Life ⁷ | kN/m (lb/ft) | 21.2 (1,450) |
| Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷ | | |
| ▪ Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸ | | 1.05 |
| ▪ Reduction Factor for Creep for 120-year Design Life (RF _{CR}) ⁹ | | 2.60 |
| ▪ Minimum Reduction Factor for Durability (RF _D) | | 1.00 |

Dimensions and Delivery

The structural geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 1.33 meters (4.36 feet) in width and 76.2 meters (250.0 feet) in length. A typical truckload quantity is 432 rolls.

Figure 4-25 : la fiche technique géogrid UX 1100 HS (Tensor)

Sur cette fiche technique, on peut voir que la résistance à la traction du lit de renforcement est égale à $T_{al} = 21,2$ KN/m; et la force de tension des géogrids

$T_{ult} = 58$ KN/m; avec des facteurs de réduction $RF_{ID} = 1,05$; $RF_{CR} = 2,60$; $RF_D = 1$.

4.8.2 . Après renforcement

Notre solution était de renforcer ce talus avec les géogrids uniaxiales.

Voici la valeur de coefficient de sécurité après renforcement

(Voir la **Figure 4-26**)

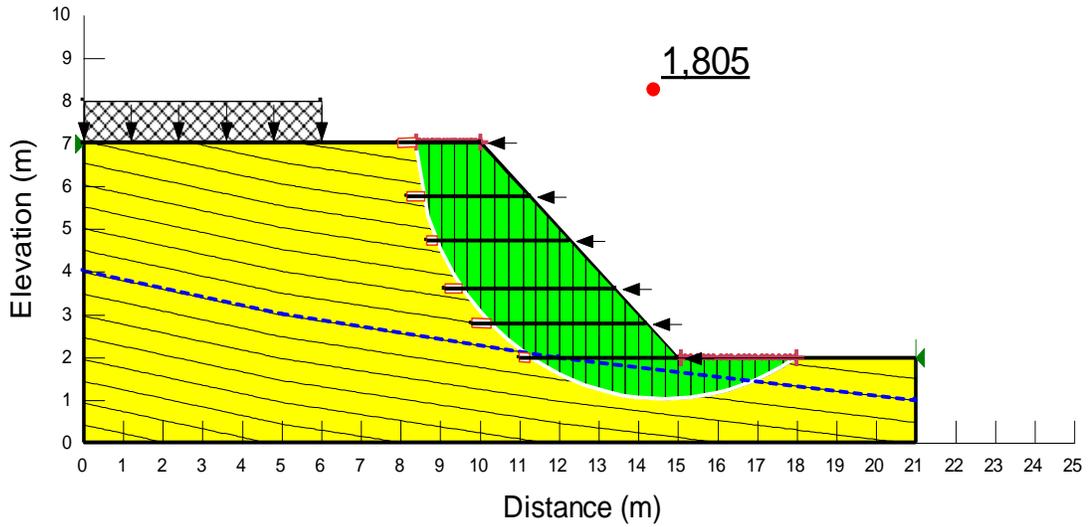


Figure 4-26 : valeur de coefficient de sécurité après renforcement

Tableau 4-8 : résumé des résultats de l'analyse

| Phase | Non renforcée | Renforcée |
|-------------------------|---------------|-----------|
| Coefficient de sécurité | 1,028 | 1,805 |

4.8.3 . Influence de changement de méthodes d'analyse sur le coefficient de sécurité :

L'analyse a été faite en appliquant différentes méthodes d'analyse de stabilité des talus. Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 4-9 : résumé des résultats obtenus

| Méthode d'analyse de stabilité de talus | Coefficient de sécurité | |
|--|--------------------------------|-----------------|
| | Non renforcé | renforcé |
| Ordinaire | 0,902 | 1,602 |
| Morgenstern- Price | 1,028 | 1,805 |
| bishop | 1,021 | 1,804 |

4.8.4 . Interprétation des résultats obtenus

Pour un coefficient de sécurité $F_s=1,805$ ceci vérifie la condition de $F_s > 1,5$
Ça signifie que notre talus est stable. la stabilité de talus en sol renforcé par des géogrilles dépend essentiellement de la vérification du coefficient de sécurité vis-à-vis au glissement.

En faisant l'analyse par les trois méthodes d'équilibre limite (ordinaire ; Morgenstern- Price; bishop) on a remarqué que le coefficient de sécurité varie dans les deux phases (non renforcé, renforcé avec des nappes géogrilles) ça revient sur les hypothèses de chaque méthode à l'aide de sous-programme SLOPE/W qui intègre les différentes méthodes de l'équilibre limite.

En comparant les trois méthodes (ordinaire ; Morgenstern- Price ; bishop) la méthode ordinaire était la plus simple par rapport aux deux méthodes Morgenstern-Price et bishop. la méthode ordinaire donne des valeurs de coefficient de sécurité plus faible par rapport aux deux autres méthodes qui ont été plus complexes.

4.9 . Mise en œuvre de la solution :

Un des avantages de travailler avec des produits géosynthétiques c'est que la mise en œuvre ne nécessite aucun équipement spécial ou un savoir-faire au-delà des compétences traditionnelles de terrassement.

Les étapes de construction sont présentées ci-dessous :

Étape 1. Préparation du matériel

- Code couleur des extrémités des rouleaux Tensar® Geogrid si plus d'un type de géogrille Uniaxiale (UX) est spécifié.
- Coupez les géogrilles Tensar aux longueurs indiquées sur le dessin (de la première côte à la dernière côte). Faire le Coupé à côté de la barre transversale lourde qui enjambe la Largeur du rouleau géogrille. Coupez les géogrilles au ras de la Barre transversale la plus proche au-delà de la longueur mesurée.
- Au fur et à mesure que les longueurs de géogrille sont coupées, marquez-les et identifiez-les à la longueur et au type, puis stockez-les pour utilisation ultérieure.

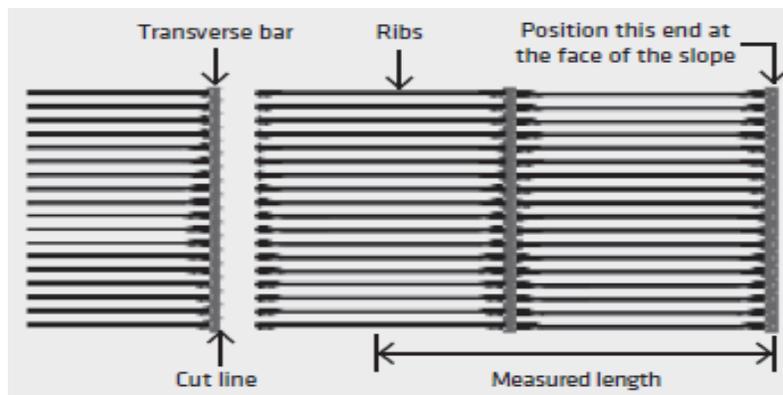


Figure 4-27 : Longueur mesurée et ligne de coupe pour les géogrilles UX (Tensar®)

Étape 2. Classement initial, fondation préparation et drainage

- Excaver aux lignes et aux pentes indiquées sur les dessins ou selon les directives de l'ingénieur.
- La plate-forme doit être approuvée par le propriétaire Ingénieur avant de procéder à la construction de la pente. Tout sol jugé inapproprié par l'ingénieur doit être traité d'une manière approuvée par l'ingénieur.
- Dans les situations de coupe, il est recommandé que la coupe arrière Les remblais doivent être étalés dans un sol ou une roche compétente. La séquence et/ou la conception des bancs doivent être dictées par l'ingénieur du propriétaire.
 - Installer le composite de drainage et/ou le système de drainage comme Spécifier dans les dessins et installer le système de drainage conformément aux documents contractuels.



Figure 4-28 : Champ coupant la géogrille UX

Voici les premières taches de réalisation de talus présenté dans la figure suivante :

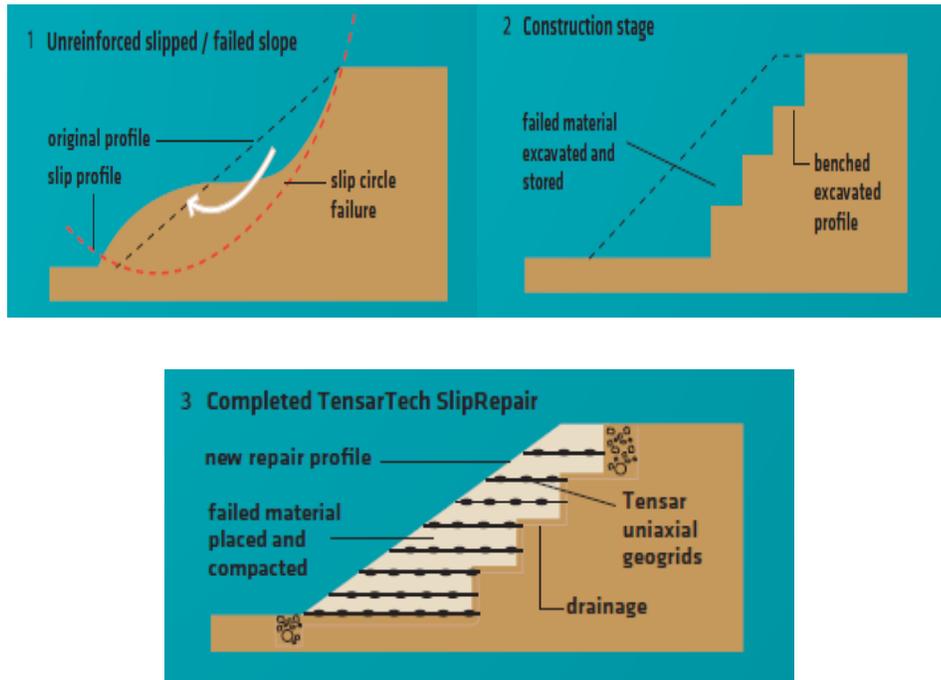


Figure 4-29 : une section typique à travers une réparation de glissement TENSARTECH®

Étape 3. Installer la première couche de renfort primaire

- Les géogrilles Tensar® UX sont le plus souvent utilisées comme « Principales » Renfort et les géogrilles Tensar® BX sont généralement utilisés comme renfort « secondaire » ou « superficiel ». Les géogrilles UX sont fournies avec des largeurs de rouleau de 1,3 m.
- Placez les géogrilles UX perpendiculairement à la pente avec L'extrémité de barre transversale de la géogrille à la face de la pente.
 - Les géogrilles UX doivent remonter de la face de la pente à la distance d'ancrage spécifiée sur les dessins et doivent être placées aux élévations indiquées sur les dessins.
 - Les géogrilles UX adjacentes doivent être assemblées côte à côte. Côté sans chevauchement sauf si un espace entre le rouleau Largeurs est spécifiée (appelée couverture partielle).
 - Des longueurs plus courtes de géogrilles UX peut être épissées ensemble en utilisant barres plates en polymère « Bodkin » disponible

auprès de Tensar. Typiquement il n'y a qu'une seule connexion Bodkin autorisée par longueur d'imbrication de la géogridde, ou comme spécifiée dans le dessin. La pièce de géogridde épissée de chaque côté de la connexion Bodkin doit mesurer au moins 1,8 m de long sauf si la géogridde se termine par une connexion fixe.



Figure 4-30 : Installation de la première couche d'une géogridde UX perpendiculairement à la face de la pente

Étape 4. Placement de remplissage

- Le remplissage peut être placé et étalé directement sur les géogriddes avec un Équipement fatigué de caoutchouc. Gardez les vitesses lentes et évitez tourne et s'arrête sur les géogriddes. Si nécessaire, les géogriddes peuvent être fixées en place pour empêcher tout mouvement pendant placement de remplissage. Utilisez des épingles, des agrafes, des sacs de sable, de petits tas du sol, etc. comme ancrés.
- Étalez et nivelez le sol. Ne pas opérer suivi équipement sur les géogriddes exposées.

Le remblai doit être placé et étalé à l'écart ou parallèlement à la face de la pente.

Photo 01 :



Photo 02 :



Figure 4-31 : photo montre le processus de renforcement de talus par les géogrilles

Étape 5. Compactage

- Compacter le sol à la densité et remblayer spécifiés soulever l'épaisseur à l'aide de l'équipement de compactage requis et procédures. Une épaisseur de levage minimale de 15 cm est nécessaire pour s'assurer que l'équipement suivi ne viendra pas en contact direct avec la géogrille.
 - Pour les faces de pente courbes, les géogrilles principales aboutent Bord à bord sur la face de la pente (sauf indication contraire sur les dessins) et soit déplier, soit se chevaucher dans le remplissage.
- L'équipement de compactage lourd doit être maintenu à au moins 3 pieds du front de la pente.



Figure 4-32 : photo montre L'équipement de compactage lourd

Étape 6. Renforcement secondaire

- Les géogrilles BX assurent la stabilité de la surface de la pente. Généralement, les géogrilles BX seront déroulées parallèlement à la face de la pente, sauf indication contraire sur les dessins. Les géogrilles Tensar® BX sont fournies dans des largeurs de rouleau de 3 m ou 4 m, mais peut être coupées aux largeurs requises avant de dérouler.
- Le remplissage peut être étalé directement sur les géogrilles.
- Étalez et nivelez le remplissage. Ne pas opérer suivi équipement directement sur les géogrilles exposées.
- Les géogrilles BX peuvent être coupées périodiquement pour se conformer Courbes horizontales. La coupe doit être faite perpendiculairement à la face de la pente assez souvent pour permettre à la géogrille de se poser à plat sur le sol.

Les géogrilles Tensar BX utilisées pour le renforcement secondaire sont généralement déployées parallèles à la face de la pente.



Figure 4-33 : Les géogrilles Tensar BX utilisées pour le renforcement secondaire

Étape 7. Répétez les étapes 3 à 6 selon les dessins

Procédure de fin de journée de travail

À la fin de chaque journée de travail et à la fin de la pente, niveler le haut de la pente terminée pour s'assurer que l'eau de ruissellement est dirigé loin de la face de la nouvelle pente. Un drainage positif doit être fourni afin que l'eau ne recueille au-dessus ou derrière le sol renforcé.

Avantages du système TensarTech GreenSlope

Le système TensarTech GreenSlope offre de nombreux avantages par rapport à structures traditionnelles en béton et une solution plus attrayante que des gabions ou des murs de berceau ainsi qu'une solution rentable à vos projets de conservation de la terre.

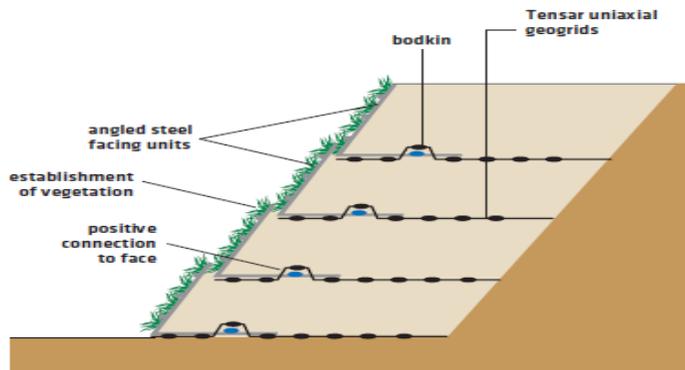


Figure 4-34 : Une coupe typique du système TensarTech GreenSlope illustré avec une face pour aider à l'irrigation de la végétation

Mise en œuvre du parement type gabion

Parmi les exigences de sécurité Tensar® on cite les liaisons mécaniques Tensar :

Raccord aux éléments de grille en acier/gabions

La liaison des géogrilles Tensar® avec des éléments de parement en treillis métalliques ou en gabions s'effectue en plaçant des tiges en acier galvanisé dans les ouvertures des géogrilles au niveau des nervures à travers les œillets, prévus à cet effet, des treillis métalliques ou des cages de gabions.

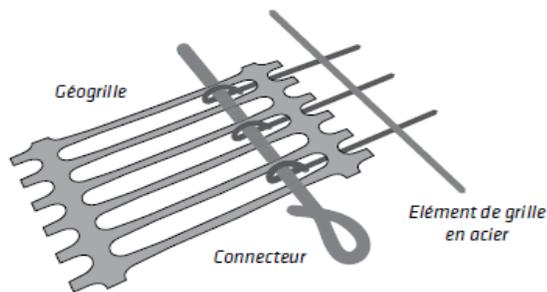


Figure 4-35 : Élément de connexion

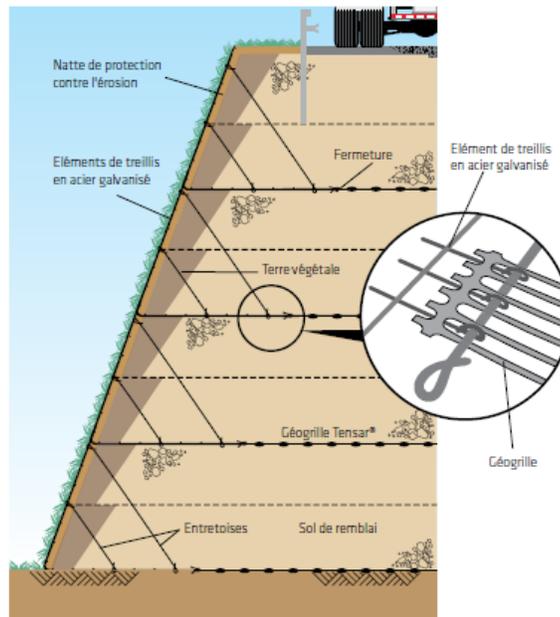


Figure 4-36 : Les systèmes de pentes abruptes Tensar® (inclinaison de la pente entre 45° à 70°)

4.10. Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié deux cas le premier cas a été plus sensible que l'autre due la présence d'habitation proche de glissement, pour cette raison la solution qui a été prise par le bureau d'étude qui est le soutènement rigide du talus et même ajouté une fondation profonde et lourde une semelle filante de 55m avec des pieux de 18 m de longueur sans oublier le système de drainage important tout ça pour éliminer tous les doutes et les instabilités et les aléas possibles au future.

D'autre part on a fait une analyse de stabilité de talus par les géosynthétiques qui a donné une solution efficace et contrairement aux soutènements rigides le renforcement du sol par des géogrilles donne beaucoup d'avantages en point de vue stabilité on peut atteindre le facteur de sécurité idéal pour la conception et le système de drainage moderne plus efficace, en point de vue d'environnemental avec la végétation on protège la face de talus de l'érosion et en même temps donne un bon aspect esthétique enfin le projet avec notre solution économise 1.7 milliard de dinars.

Pour le deuxième cas d'étude un petit projet la solution proposée règle le problème de glissement définitivement en plus un système de drainage pour éviter l'infiltration d'eau au future ce qui assure la bonne circulation de véhicule puisque cette région de Aïn El Hout est une région industrielle qui est un point stratégique qu'il faut le régler rapidement et définitivement.

Conclusion générale

La classification des glissements de terrain et les méthodes de leur analyse ont causé l'attention de plusieurs auteurs et différents critères et hypothèses ont été pris en considération d'où la différence dans la classification et les méthodes d'analyse des terrains en pente. Mais, il faut noter que le but est exactement le même c'est-à-dire que, quelle que soit la manière de les classer et de les analyser, le plus important est de donner les meilleures solutions à chaque problème séparément.

La technique géosynthétique pour le traitement de certains glissements de terrain constitue une réelle alternance innovante et économique par rapport aux solutions classiques de soutènement. Les principaux avantages de cette technique représentent dans la grande souplesse des massifs renforcés par géosynthétiques, l'utilisation des matériaux locaux et l'intégration des ouvrages dans leurs environnements.

Dans notre travail qui nous a permis de traiter deux cas réels de glissement de terrain, de les analyser et de proposer une stabilisation par un système de Renforcement avec les géogrilles en utilisant la simulation numérique avec le logiciel geostudio, ainsi de justifier le choix le plus économique après les résultats obtenus par le calcul numérique.

Le premier exemple a été déjà traité et reconstruit avec une solution très complexe qui revient excessivement chère. Notre choix d'étude vise à remplacer la solution qui a été proposée lors de l'élaboration de ce projet qui consiste à changer la méthode traditionnelle d'un mur de soutènement par la méthode d'inclusion de bandes en géogrilles pour but d'optimiser l'aspect économique.

Le deuxième modèle traité par simulation numérique avec le logiciel géostudio qui a permis de faciliter notre tâche ; la solution de renforcement par géogrilles nous a paru plus raisonnable, et après analyse numérique avec le logiciel géostudio et les résultats obtenus, notre choix a été justifié et un grand gain de temps et d'argent aurait pu être réalisé.

Bibliographie

Burroughs, et al. 1976. *Slope stability in road construction*. Portland, : Portland, Or. : U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Land Management, Oregon State Office, 1976.

AFNOR. 2015. AFNOR (2015) NF EN ISO 10318-1 :. *Géosynthétiques - Partie 1 : termes et définitions*. 2015, Vol. 8 p.

ANGADI, SRINIVAS. Role of geosynthetics in infrastructure projects. [En ligne] M Tech JNTU College of Engineering Hyderabad. <https://www.slideshare.net>.

Bathurst, R.J. 2018. Classification des géosynthétiques. *Geosynthetics International is an official journal of the International Geosynthetics Society (IGS)*. International Geosynthetics Society (IGS). s.l. : Best Geosynthetics International Paper for 2018, 2018.

Delmas, Laurent Briançon and Philippe. 10. les géosynthétiques de renforcement . [En ligne] 2017 avr 10. <https://www.techniques-ingenieur.fr>).

Eddine, BAAZIZ Salah. 02/05/2012. *Modélisation numérique des ouvrages de soutènement en sol renforcé* . Biskra : Magister en Génie civil, 02/05/2012. Université Mohamed Khider .

July 2018. *Guide to the Specification of Geosynthetics 2018*. United States : IGS Secretariat, July 2018.

Jean, Costet et Guy , Sanglerat. 1927. *Cours pratique de mécanique des sols - calcul des ouvrages tome 2*. RUE ST SULPICE 30 : Paris Dunod 1983 Paris impr. Jouve , 1927. 2-04-010804-1.

Jones, Colin J. F. P. December 2002. *GUIDE TO REINFORCED FILL STRUCTURE AND SLOPE DESIGN.. GEOGUIDE 6*. s.l. : The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, December 2002.

K.Collins, Thomas. 2007. Debris flows caused by failure of fill slopes: early detection, warning, and loss prevention. [En ligne] 23 November 2007. <https://naldc.nal.usda.gov>.

Khaled, Professeur: M. LAHLOU. 2018. *charouani mohamed & bakri Hamza. s.l. : cour p 7-9, 2018.* <https://slideplayer.fr/slide/13326105/>.

Messaoud ZERMANI, Said TABTI. 27-Jun-2017. *LES GÉOSYNTHÉTIQUES FONCTIONS ET APPLICATIONS ET RETOUR D'EXPÉRIENCE EN ALGÉRIE. ALGÉRIE : GÉOSYNTHÉTIQUES, 27-Jun-2017.*

Ministry of Water Resources, River Development & Ganga Rejuvenation. 2019. *Practice Manual for Use of Technical Textiles.* India : R&D Division, Room No. 1, Wing 4, 1st Floor, West Block I, R.K.Puram, New Delhi, 2019.

Nathalie, Touze-Foltz, et al. 10 avril 2015. *mise en œuvre et dimensionnement des géosynthétiques.* s.l. : cahier élaboré par le comité français des géosynthétiques (CFG), 10 avril 2015. www.cfg.asso.fr.

NIPPON KOEI CO., LTD. June 2007. *Classification of Slope Disaster Types.* Republic of the Philippines : The Study on Risk Management for Sediment-Related Disaster on Final Report Guide II, June 2007.

Peter , Bobrowsky et Lynn , Highland. 2008. *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides.* U.S. Geological Survey, Reston, Virginia : Mary Kidd-Designed and prepared by Margo VanAlstine, 2008. 978-141132226-4.

Robert D. Holtz, Ph.D., P.E. et Barry R. Christopher, Ph.D., P.E. April 1998. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines.* USA Woodbury : National Highway Institute, April 1998.

S.A., Ibréca. *étanchiété de barrages.* San Celoni-Espana : Carretera del Montnegre.

Shukla, Sanjay Kumar. 12 July 2017. *An Introduction to Geosynthetic Engineering.* London : CRC Press, 12 July 2017. 9780429255403.

STILGER-SZYDLO, E. 2006. Rupture des remblais routiers causés par l'infiltratio de l'eau. Institut de géotechniqueet hydrotechnique Université technique de Wroclaw, 2006, Vol. N° 117, Pologne wybrzeże wyspiańskiego 27.

TANO, Bekoin Francis Guillaume. 23 novembre 2016.. « *Etude analytique, numérique et expérimentale du comportement mécanique des systèmes géosynthétiques : application au*

cas des barrières de sécurité des extensions d'ISDND ». université de grenoble alpes, : thèse de doctorat,, 23 novembre 2016.

varnes, Dj. 1978. *Slope Movement Types and Processes*. Washington : National Research Council (U.S.). Highway Research Board. Committee on Landslide Investigations, 1978.

w.delleur, Jacques. 1998. *The handbook of ground water engineering* . s.l. : second edition, 1998.

Yin, Sanjay Kumar Shukla and Jian-Hua. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. London, UK : Group Taylor & Francis Ed, 2006.

Yoo-Jae Kim 1, *, Ashley Russell Kotwal 1, Bum-Yean Cho 2, JamesWilde 1 and Byung Hee You. 16 May 2019. *Geosynthetic Reinforced Steep Slopes: Current Technology in the United States*. United States : Department of Civil Engineering and Building Technology, 16 May 2019.

Webographie

- <http://mdevmd.accesmad.org> (talus naturel des terres ; consulté le 03/03/2020)
- <https://www.grandviewreserach.com> (consulté le 06/03/2020)
- <https://fr.m.wikipedia.org> (consulté le 20/03/2020)
- <https://www2.gov.bc.ca> (geosynthetic material) (consulté le 21/03/2020)
- <https://trid.trb.org> (consulté le 26/03/2020)
- [https://www.fibromat.com.my /products/](https://www.fibromat.com.my/products/) (consulté le 15/04/2020)
- <http://m.yingfangeo.com> (consulté le 24/04/2020)
- [https://m.indiamart.com /proddetail/hdpe-geomembrane-liners](https://m.indiamart.com/proddetail/hdpe-geomembrane-liners) (consulté le 06/07/2020)
- <https://www.naue.fr> (consulté le 06/07/2020)
- <https://fr.calameo.com> (consulté le 15/08/2020)
- <http://www.afag.asso.fr> (consulté le 15/08/2020)
- <https://www.tensarcorp.com/systems-and-products/Tensar-uniaxial-UX-geogrids> (Consulté le 15/09/2020)

- <https://www.titanenviro.com/products/geogrids/slope-reinforcement-geogrid/>
(consulté le 20/10/2020)
- <https://www.geofabrics.co> (**TENSARTECH®** EARTH RETAINING SYSTEMS
Bridge abutments, retaining walls and steep slopes; consulté le 24/10/2020)
- <https://www.buildsite.com> (**SIERRA®** **SLOPE** RETENTION SYSTEM
installation guide ; consulté le 24/10/2020)
- <http://www.tensar.fr> (**TensarTech®** SYSTEMES EN SOLS RENFORCES
pentes abruptes, murs de soutènement et culées de ponts ; consulté le
24/10/2020)