

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID-TLEMCEN



FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie civil

Mémoire pour l'obtention du diplôme de

Master

en

Infrastructure de Base et Géotechnique

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DU RENFORCEMENT DES
TALUS INSTABLES PAR LES GEOSYNTHETIQUES**

Présenté par

CHAFI Samir

Le 03 juillet 2012, devant le jury composé de

ABOUBEKR N.	Président
ALLAL M A.	Encadreur
MELOUKA S.	Encadreur
BOUCIF N.	Examinatrice
KHELIFI Z.	Examinatrice

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir comblé de ses faveurs.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé à la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université Abou-Bekr BELKAÏD de Tlemcen, sous la direction de Dr ALLAL Mohammed Amine, Maître de Conférences au département de Génie Civil.

Je tiens à exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur MOHAMED AMINE ALLAL, maître de conférences à l'université de TLEMCEM, pour sa confiance, sa disponibilité et le grand intérêt qu'il m'a toujours manifesté durant ma formation et la préparation de ce mémoire. j'adresse mes remerciements à Monsieur SMAÏN MELOUKA chargé de cours à l'université de TLEMCEM, pour son encadrement, son soutien et son aide qui nous ont été forts précieux.

Je remercie Monsieur ABOUBEKR NABIL, Maître de Conférences au département de Génie Civil à l'Université Abou-Bekr BELKAÏD de Tlemcen qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury.

Que Madame BOUCIF NESRINE et Mademoiselle KHELIFI ZAKIA, reçoivent l'expression de mes profondes reconnaissances pour avoir bien voulu accepter d'être examinateurs de ce mémoire.

Ma reconnaissance va à toute ma famille qui m'a soutenu durant cette période. Enfin, j'associe à cet hommage, tous mes collègues et tous mes amis.

Que chacun trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Tlemcen, juillet 2012

CHAFI Samir

RESUME

Ce travail constitue une contribution à la compréhension et à l'analyse du renforcement des talus instables en utilisant un code de calcul bidimensionnel nommé PLAXIS, basé sur la méthode des éléments finies.

Après un bref aperçu sur les différents systèmes de parade, nous avons présenté l'utilisation de matériaux synthétiques dans le domaine du génie civil, ainsi qu'on a essayé de présenter quelques méthodes d'utilisation des géosynthétiques pour le renforcement des talus avec la mise en œuvre.

Ensuite, nous avons procédé à l'application du renforcement par les géotextiles pour la stabilité des deux modèles réels. Enfin chaque modèle est suivi par une étude paramétrique, qui peut justifier le choix le plus économique.

Mots clés :

Remblai, sol renforcé, glissement de terrain, géotextiles, PLAXIS 8.2 (2D).

ABSTRACT

This work constitutes a contribution to the comprehension and the analysis of the reinforcement of the unstable slopes by using a two-dimensional computer code named PLAXIS, based on the finite element method.

After a short outline on the various systems of parade, we presented the use of synthetic materials in the field of the civil engineer, as one tested presented some methods of use of geosynthetic for the reinforcement, implemented.

Then, we carried out the application of the reinforcement by the geotextile ones for the stability of the two real models. Finally each model is followed by a parametric study, which cans justifiele the most economic choice.

Key words:

Fill, reforced sol, landslide, geotextile, PLAXIS 8.2 (2D).

ملخص

هذا العمل يشكل إسهاما في تحقيق الفهم, وتحليل بناء المنحدر الغير مستقرة باستخدام مدونة حساب ثنائية الأبعاد المسماة بلاكسيس اللذي يستند إلى نهج العناصر متناهية الإبعاد.

بعد بيان موجز عن مختلف نظم الحماية, قدمنا استخدام المواد الاصطناعية في مجال الهندسة المدنية, كما حاولنا عرض بعض أساليب استخدامها بالإضافة إلى تقديم بعض طرق تنفيذها.

وبعد ذلك, بدأنا في تنفيذ بناء من اجل تحقيق الاستقرار عن طريق التغطية الأرضية للنموذجين الحقيقيين. وأخيرا كل نموذج ملحق بدراسة بارامترية, التي يمكن أن تبرر الاختيار الأكثر اقتصادا.

الكلمات المفتاحية:

ردم, تعزيز التربة, الانهيارات الأرضية, التغطية الأرضية, بلاكسيس.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

I. FIGURES

Figure 1.1 Procédé général d'étude de la stabilité des talus (Bedr, 2008).....	5
Figure 1.2 Systèmes de parades (Bedr, 2008).....	6
Figure 1.3 Systèmes de parades par approche douce (Bedr, 2008)	7
Figure 1.4 Exemple de Drainage.....	8
Figure 1.5. Exemple de Végétation	8
Figure 1.6 Systèmes de parade par approche dure.....	10
Figure 1.7 Renforcement par géosynthétiques.....	11
Figure 1.8 Renforcement par pneu sol.....	12
Figure 1.9 Renforcement par ancrage.....	12
Figure 1.10. Renforcement par pieux.....	15
Figure 1.11. Facteurs de choix des systemes de parades (Bedr, 2008).....	15
Figure 2.1 Rôles principaux des matériaux géosynthétiques (Briançon, 2001)....	18
Figure 2.2 géotextile non tissé.....	19
Figure 2.3 Géotextile tissés	19
Figure 2.4 Géotextile tricoté	20
Figure 2.5 géogrilles uniaxiale et biaxiale	21
Figure 2.6 Géocomposites.....	21
Figure 2.7 Exemple d'utilisation de géomembrane (Briançon, 2001)	23
Figure 2.8 Talus renforcés par géosynthétique. (MAMEN ; 2010).....	24
Figure 2.9 Murs en terre renforcée par géosynthétique. (MAMEN ; 2010)	25
Figure 2.10 Vue d'un remblai reposant sur une plate-forme de transfert de charge. (MAMEN ; 2010).....	26
Figure 2.11 Remblais renforcés par géogrilles. (MAMEN ; 2010).....	26

Figure 2.12 Renforcement direct du ballast. (MAMEN ; 2010)	27
Figure 2.13 Augmentation de la capacité portante de la couche porteuse. (MAMEN ; 2010)	27
Figure 2.14 stockage de déchets avec le revêtement géocomposite. (Terram;2008).....	28
Figure 2.15 Protection des digues. (Terram ; 2008)	29
Figure 2.16 Voies permanentes (Fibertex, 2008).....	29
Figure 2.17 Voies temporaires (Fiberte, 2008)	30
Figure 2.18 Aires de parking (Fiberte, 2008).....	30
Figure 2.19 Elargissement de routes (Fiberte, 2008).....	30
Figure 2.20 Rénovation de l'asphalte (Fiberte, 2008).....	31
Figure 2.21 Aéroports (Fiberte, 2008)	31
Figure 2.22 Voies ferrées (Fiberte, 2008)	32
Figure 2.23 Fondation (Fiberte, 2008).....	32
Figure 2.24 Dalles en béton (Fiberte, 2008)	32
Figure 2.25 Suppression de l'impact sonore (Fiberte, 2008).....	33
Figure 2.26 Toiture (Fiberte, 2008).....	33
Figure 2.27 Toits de terrasse de jardin (Fiberte, 2008).....	34
Figure 2.28 Tuyaux et tranchées (Fiberte, 2008)	34
Figure 2.29 Aires de stockage (Fiberte, 2008).....	34
Figure 2.30 Aires de sport (Fiberte, 2008)	35
Figure 2.31 Talus (Fiberte, 2008).....	35
Figure 2.32 Drains enrobés (Fiberte, 2008).....	36
Figure 2.33 Tranchées drainantes (Fiberte, 2008)	36
Figure 2.34 Surfaces drainantes (Fiberte, 2008)	36
Figure 2.35 Drains de construction (Fiberte, 2008).....	37

Figure 2.36 Protection des côtes (Fiberte, 2008)	37
Figure 2.37 Digue (Fiberte, 2008)	38
Figure 2.38 Construction de ports (Fiberte, 2008).....	38
Figure 2.39 Berges des rivières et des fleuves (Fiberte, 2008).....	38
Figure 2.40 Lacs artificiels (Fiberte, 2008).....	39
Figure 2.41 Réservoirs d'eau (Fiberte, 2008).....	39
Figure 2.42 Centres d'enfouissement technique (Fiberte, 2008).....	39
Figure 2.43 Centres d'enfouissement technique (Fiberte, 2008).....	40
Figure 2.44 Bassins de purification biologique (Fiberte, 2008)	40
Figure 3.1 Vue du dessus - cas d'une nappe ($D < 2B$) (LCPC, 2003)	44
Figure 3.2 Ouvrage en remblais renforcé par nappe de géotextile a parement verticaux et indépendants (LCPC, 2003)	45
Figure 3.3 Ouvrage en remblais renforcé par nappe de géotextile a parement incliné (LCPC, 2003).....	45
Figure 3.4 Stabilité interne et externe des ouvrages en remblai renforcé. (LCPC, 2003)	46
Figure 3.5 Principe des murs en remblai renforcé par nappes avec retournement simple en parement. (LCPC, 2003).....	50
Figure 3.6 Principe d'un ouvrage en remblai renforcé avec parement incliné et végétalisé.....	50
Figure 3.7 Protection de talus avec un dispositif de stockage alvéolaire. (LCPC, 2003).....	51
Figure 3.8 Ouvrage renforcé EBAL-LCPC l'Hospice de France-vue de parement. (LCPC, 2003).....	51
Figure 3.9 Principe d'un ouvrage EBAL - LCPC avec parement dissocié.(LCPC, 2003).....	52
Figure 3.10 Principe de parement minéral de type gabion. (LCPC, 2003).....	52

Figure 3.11 Exemple de parement avec empilement d'éléments cellulaires et de nappes pincées. (LCPC, 2003).....	53
Figure 3.12 Principe des ouvrages en remblai renforcé par bandes géosynthétiques. (LCPC, 2003)	54
Figure 3.13 Abaque de dimensionnement d'un remblai sur tourbe construit avec $B_{max} = 0,34$ (Rowe, 2002)	55
Figure 3.14 Diminution de la résistance par fluage pour les renforcements géosynthétiques (Abramanto et al, 2002).....	56
Figure 3.15 Renforcements apportés par la géogridde dans le cadre de la méthode GRM (Imanishi et al, 2002)	57
Figure 3.16 Renforcements apportés par la géogridde dans le cadre de la méthode GFM (Imanishi et al, 2002).....	57
Figure 3.17 Influence du sens de remblaiement sur l'ordre de recouvrement des nappes.....	59
(CFDGEG, 1990)	59
Figure 3.18 Mise en prétention des nappes. (CFDGEG, 1990)	60
Figure 3.19 Cas des talus de faible pente $tg \beta < 1/2$. (CFDGEG, 1990).....	61
Figure 3.20 Cas des talus de pente moyenne $tg \beta \sim 1$. (CFDGEG, 1990)	62
Figure 3.21 Procédés de coffrage perdu par gabions géotextiles. (CFDGEG, 1990)	62
Figure 3.22 Procédés de coffrage perdu par un merlon de matériau sol-fibre. (CFDGEG, 1990)	63
Figure 3.23 Procédés de coffrage perdu par des éléments rigides. (CFDGEG, 1990)	63
Figure 3.24 Procédés de coffrage rigide amovible. (CFDGEG, 1990).....	64
Figure 3.25 Procédés de coffrage à un treillis métallique. (CFDGEG, 1990)	64
Figure 3.26 Procédés de coffrage rigide (< 2 m). (CFDGEG, 1990)	65
Figure 3.27 Procédés de coffrage rigide (> 2 m). (CFDGEG, 1990)	65

Figure 3.28 Procédés de coffrage rigide (> à 2 m). (CFDGEG, 1990)	66
Figure 4.1 Vue sur la zone du remblai.....	69
Figure 4.2 Géométrie du model analysé.....	70
Figure 4.3 Valeur du coefficient de sécurité.....	72
Figure 4.4 Déformation du massif après rupture	72
Figure 4.5 Masse susceptible au glissement.....	73
Figure 4.6 Valeur du coefficient de sécurité (kH=0,1).....	74
Figure 4.7 Déformation du massif après rupture	74
Figure 4.8 Disposition des nappes géotextiles (espacement = 1m)	75
Figure 4.9 Valeur du coefficient de sécurité.....	76
Figure 4.10 Déformation du massif après rupture.....	76
Figure 4.11 Masse susceptible au glissement indiquée par les contours des déplacements horizontaux (kH=0,1).....	77
Figure 4.12 Disposition des nappes géotextiles (espacement = 0,8m).....	77
Figure 4.13 Valeur du coefficient de sécurité	78
Figure 4.14 Déformation du massif après rupture.....	78
Figure 4.15 Disposition des nappes géotextiles (espacement = 0,5m).....	79
Figure 4.16 Valeur du coefficient de sécurité	79
Figure 4.17 Déformation du massif après rupture.....	80
Figure 4.18 Disposition des nappes géotextiles	81
Figure 4.19 Valeur du coefficient de sécurité (après renforcement).....	81
Figure 4.20 Déformation du massif après rupture.....	82
Figure 4.21 Masse susceptible au glissement indiquée par les contours des déplacements horizontaux (kH=0,1).....	82
Figure 4.22 Vue sur la zone de glissement.....	83
Figure 4.23 Photo de satellite de la zone de glissement	84

Figure 4.24 Série de pieux forés	85
Figure 4.25 Ouvrage achevé	85
Figure 4.26 Géométrie du model analysé	86
Figure 4.27 Valeur du coefficient de sécurité	87
Figure 4.28 Déformation du massif après rupture.....	88
Figure 4.29 Masse susceptible au glissement.....	88
Figure 4.30 Disposition des nappes géotextiles (espacement=0,5m)	89
Figure 4.31 Valeur du coefficient de sécurité	90
Figure 4.32 Déformation du massif après rupture.....	90
Figure 4.33 Masse susceptible au glissement.....	91
Figure 4.34 Influence du module de Young sur le coefficient de sécurité.....	92

II. TABLEAUX

Tableau 1.1 Méthodes d'évaluation quantitative de la stabilité des talus (Melouka, 2003).....	6
Tableau 1.2 Avantages et inconvénients des différentes techniques suivant l'approche douce (Nordine, 2010).....	9
Tableau 1.3. Avantages et inconvénients des différentes techniques suivant l'approche dure (Nordine, 2010)	14
Tableau 2.1 : Adéquation des produits de renforcement à l'utilisation de sols à forte granularité (GOTTELAND, 2000).....	22
Tableau 4.1 Coordonnées des points (modèle 1)	70
Tableau 4.2 Les caractéristiques géotechniques (modèle 1)	71
Tableau 4.3 Coordonnées des points (modèle 2)	86
Tableau 4.4 Les caractéristiques géotechniques (modèle 2)	87

INTRODUCTION GENERALE

Depuis le début des années 70, les géosynthétiques sont utilisés de plus en plus dans les infrastructures et les ouvrages en terre. Au début, sont utilisés comme éléments de drainage et comme couches de protection pour les voies ferrées, dans des fonctions de filtration et de séparation, puis sont développés par la suite des géosynthétiques pour protéger, stabiliser, renforcer et étanchéifier les sols dans différentes situations et pour différents projets.

En Algérie, une partie assez importante des routes, qui se trouvent dans des régions montagneuses, est souvent menacée par les mouvements de pentes et des systèmes de parade deviennent nécessaires. Parfois, le manque d'espace et de temps font que la stabilisation par renforcement, soit la solution la plus judicieuse.

La voie express Bou Ismail- Cherchell, d'une longueur de 48 km, présente plusieurs cas de remblai en pente, notre attention a été attiré par un cas, parmi eux, d'où la hauteur de ce cas de remblai fait que sa stabilité n'est pas assurée et qu'un renforcement doit être assuré. Aussi, la partie effondrée sur 31 mètres linéaires du chemin communal reliant la RN11 au Nord de la ville de Mostaganem, se résumant à la demi-chaussée droite donnant sur le talus.

Dans ce mémoire, on va traiter pour le premier modèle, la stabilité du remblai est la mise en œuvre de ce remblai armé par des nappes de géotextiles, par simulation numérique, et d'estimer l'impact du renforcement sur sa stabilisation en utilisant le code de calcul PLAXIS. On cherchera donc l'influence des espacements des nappes de géotextiles avec l'introduction de l'effet sismique. Ce qui concerne le deuxième modèle, on propose de traiter ce cas d'effondrement et reconstruire la chaussée avec la solution d'un massif renforcé par géotextiles. On étudiera donc ce choix, avec simulation numérique, et de justifier ce dernier dans le contexte économique.

Notre travail est composé de quatre chapitres résumés comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur les différents systèmes de parade avec les avantages et les inconvénients pour chaque type.

Le second chapitre, donne un bref aperçu sur les géosynthétiques les plus courants, leurs principales propriétés avec les modes d'application permettant de les caractériser, ainsi que leur application dans le domaine de Génie civil.

Dans le troisième chapitre, quelques méthodes d'utilisation des géosynthétiques pour le renforcement, la mise en œuvre et leur maintenance sont présentées.

En fin, le quatrième chapitre présente une analyse numérique bidimensionnelle par PLAXIS de deux modèles de pentes réels en incluant un système de renforcement par géosynthétiques.

Chapitre 1

LES SYSTEMES DE PARADES DANS LES TALUS INSTABLES

1. INTRODUCTION

L'étude d'un talus comporte l'identification du phénomène, la reconnaissance du site et le choix des caractéristiques mécaniques des sols, un calcul de stabilité pour déterminer d'une part la courbe de rupture le long de laquelle le risque de glissement est le plus élevé, d'autre part la valeur correspondante du coefficient de sécurité, puis choisir le moyen le plus adéquat pour résoudre le problème posé.

Les systèmes de parade pour éviter les mouvements des terrains en pente ou les stabiliser sont divers. Ce chapitre donne un petit aperçu sur ces différents systèmes, leurs rôles au niveau des talus instables, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

2. ÉTUDE DU PHENOMENE

Les problèmes de la stabilité des talus sont perçus différemment selon les caractéristiques géologiques et climatiques locales, ainsi que les causes et les mécanismes conduisant à la rupture. Dans un cas critique la recherche d'un bon système de parade, devient la préoccupation principale. Plusieurs procédés sont utilisées pour mener à terme une étude de la stabilité d'un talus, malgré leur diversité, il est possible de faire rentrer une grande majorité dans un organigramme général (figure 1.1).

2.1 Évaluation qualitative de la stabilité

Par observation, sur la base d'expériences acquise par les ingénieurs, une évaluation qualitative de la stabilité peut être faite. Il peut en être déduit que le talus est stable, instable ou peut être instable. Dans ce dernier cas, il faut procéder à une investigation géotechnique, si cela n'a pas déjà été fait, préciser le régime hydrologique par mesures et la détermination du réseau d'écoulement.

2.2 Évaluation quantitative de la stabilité

L'analyse quantitative est faite, afin de donner dans tous les cas marginaux, une réponse d'ingénieur chiffrée en termes de coefficient de sécurité, de contraintes et de déformations.

La valeur du coefficient de sécurité adoptée est fonction des situations. Pour les ouvrages en génie civil, la valeur utilisée est rarement inférieure à 1.5, elle peut être de 2 ; pour certains sites particuliers le coefficient de sécurité peut être réduit à 1.2 ou 1.3.

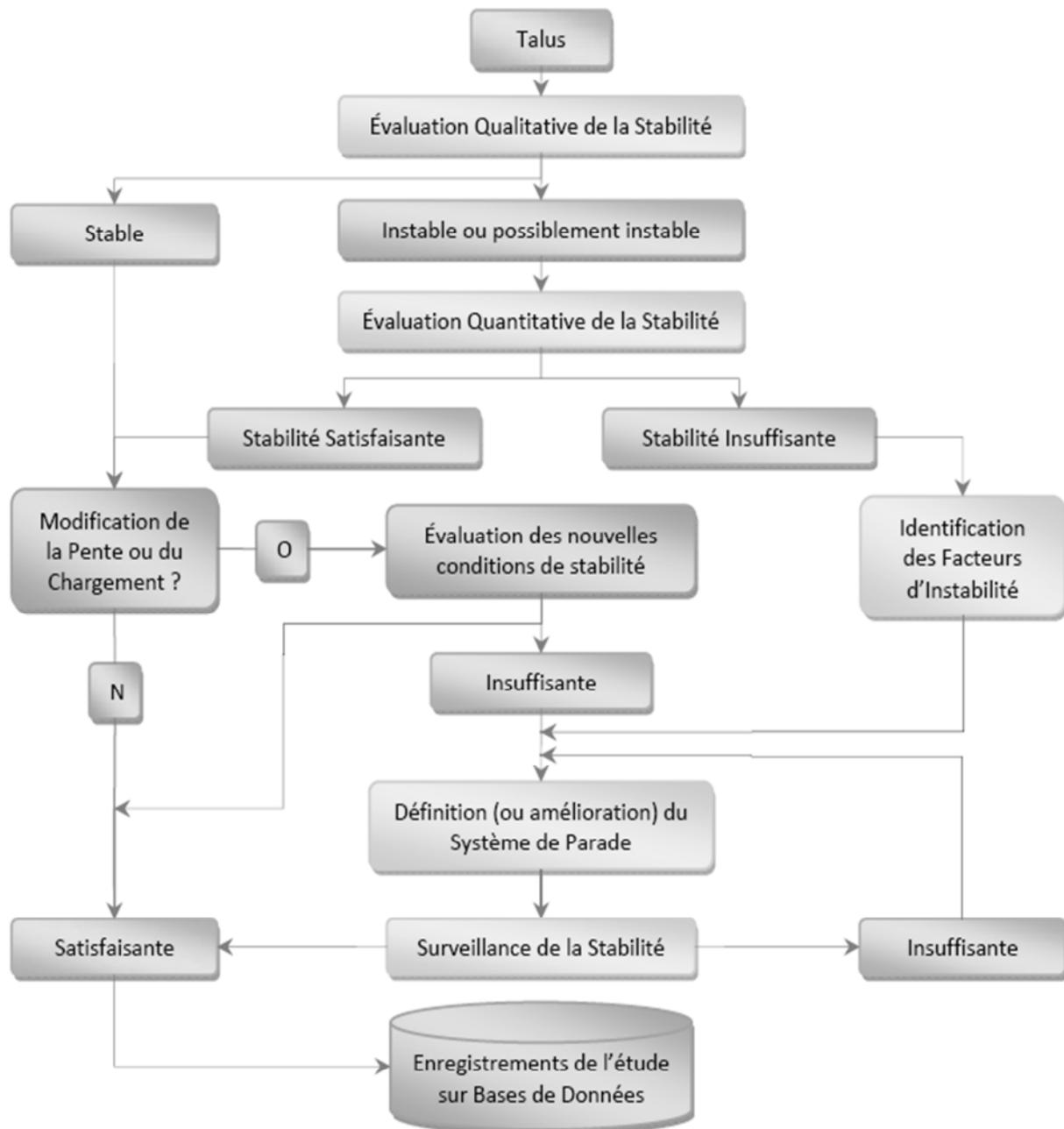


Figure 1.1 Procédé général d'étude de la stabilité des talus (Bedr, 2008)

Pour l'analyse de la stabilité, le choix peut porter sur les méthodes d'équilibre limite, de discrétisation et probabilistes (tableau 1.1). Ces méthodes sont présentées plus en détail par Melouka (2003). Les méthodes d'équilibre limite peuvent être rapides et efficaces, dans certains cas, en utilisant les abaques et tableaux de Taylor, Bishop, Morgenstern, Spencer, etc.

Tableau 1.1 Méthodes d'évaluation quantitative de la stabilité des talus (Melouka, 2003)

METHODES D'EQUILIBRE LIMITE	METHODES PROBABILISTES	METHODES DE DISCRETISATION
<ul style="list-style-type: none"> • Culmann, 1886 • Pente infinie, 1910 • Fellenius, 1927 • Cercle de frottement, 1937 • Bishop, 1954 • Jambu, 1956 • Bishop et Morgenstern, 1960 • Morgenstern et Price, 1965 • Ligne spirale logarithmique, 1969 • Méthode de Sarma, 1973 • Méthode des Perturbations, 1974 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation de MONTE-CARLO • Evaluation du point • Analyse statique 	<ul style="list-style-type: none"> • Eléments finis, 1967 • Différences finies • Eléments distincts • Eléments de frontières

3. SYSTEMES DE PARADES

On distingue, comme le montre la figure 1.2, deux types :

- **Approche douce** : définie par l'utilisation des méthodes naturelles qui s'attaquent directement aux facteurs d'instabilités ;
- **Approche dure** : cette technique ne s'attaque pas à la cause des mouvements mais vise à réduire ou à arrêter les déformations. Elles sont intéressantes dans le cas où l'approche douce ne peut pas être mise en œuvre.

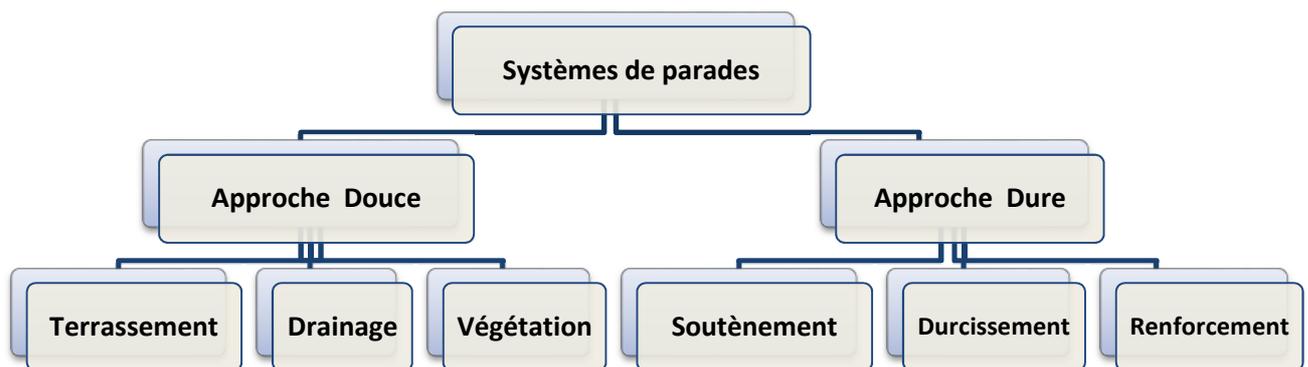


Figure 1.2 Systèmes de parades (Bedr, 2008)

3.1. Approche douce

Une approche douce se définit par l'utilisation de méthodes naturelles, esthétiques, et qui s'attaquent directement aux facteurs d'instabilités. Les systèmes de parades qui utilisent cette approche sont représentés sur la figure 1.3.

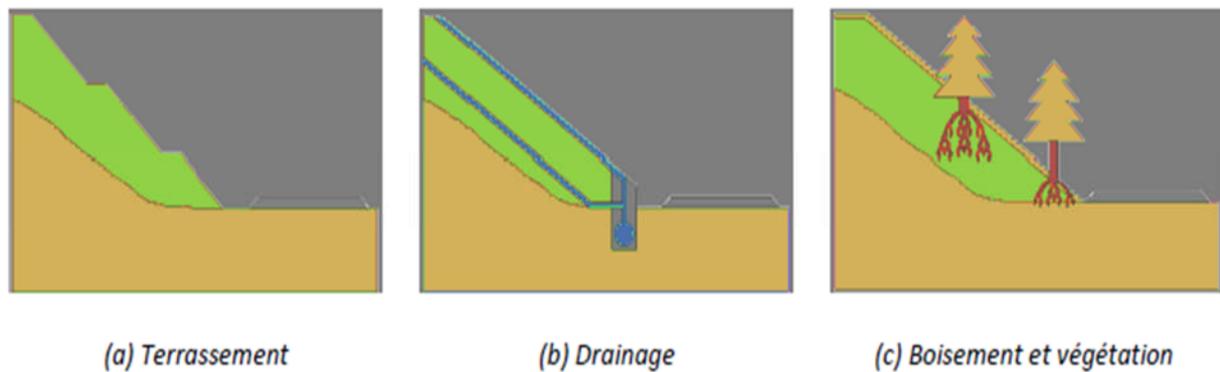


Figure 1.3 Systèmes de parades par approche douce

3.1.1. Terrassement

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

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

3.1.2. Drainage

L'eau joue un rôle moteur déterminant. Aussi utilise-t-on couramment les techniques de drainage, qui ont pour but de réduire les pressions interstitielles, au niveau de la surface de rupture lorsque celle-ci existe. Les différentes techniques qui peuvent être mises en œuvre pour atteindre cet objectif relèvent de deux options fondamentales :

- éviter l'alimentation en eau du site ;
- expulser l'eau présente dans le massif instable.

De nombreux paramètres conditionnent l'efficacité d'un système de drainage, en particulier la nature et l'hétérogénéité des terrains, la géométrie des couches aquifères, la perméabilité et l'anisotropie des sols, les alimentations et les exutoires. De ce fait, et compte tenu des difficultés de détermination de l'ensemble de ces éléments, le dimensionnement d'un système de drainage est fait en prenant un coefficient de sécurité plus élevé que celui pris pour d'autres techniques.



Figure 1.4 Exemple de Drainage

3.1.3. Végétation

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

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



Figure 1.5 Exemple de Végétation

Tableau 1.2 Avantages et inconvénients des différentes techniques suivant l'approche douce (Nordine, 2010)

TECHNIQUES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrages de captage, collecte et évacuation 	<ul style="list-style-type: none"> • coût modéré • une mise en œuvre simple 	<ul style="list-style-type: none"> • les drains doivent rester efficaces
<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrages de drainage superficiel 	<ul style="list-style-type: none"> • elles peuvent se résumer à une excavation, pouvant aller jusqu'à 56m, comblée de matériaux drainants avec éventuellement un collecteur 	<ul style="list-style-type: none"> • les difficultés se situent dans leur conception afin de leur assurer une bonne pérennité et dans leur mise en œuvre car en général les travaux se déroulent dans des conditions particulièrement délicates. Les tranchées drainantes (drains en pierres anciens, tranchées ouvertes, fermées, avec géocomposites) représentent la majeure partie des techniques de drainage superficiel
<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrages de drainage profond 	<ul style="list-style-type: none"> • le drainage profond est le remède le plus qu'il agit au niveau de la surface de glissement en captant un maximum d'eau nuisible 	<ul style="list-style-type: none"> • le coût très élevé • Ce sont des techniques complexes à concevoir et à mettre en œuvre • elles nécessitent systématiquement une étude préalable importante et l'intervention d'entreprises spécialisées
<ul style="list-style-type: none"> • Terrassement 	<ul style="list-style-type: none"> • utilisation sur de longues distances dans le cas des voies de communication (routes, chemin de fer) 	<ul style="list-style-type: none"> • ne pas pouvoir l'utiliser sur des versants de grandes hauteurs
<ul style="list-style-type: none"> • Végétation 	<ul style="list-style-type: none"> • le feuillage intercepte la pluie • les racines et les tiges augmentent la perméabilité et participent à une plus forte infiltration • par les racines, les arbres pressions interstitielles dans le sol • les racines vivantes renforcent le sol et augmentent sa cohésion 	<ul style="list-style-type: none"> • en situation de sécheresse, les arbres diminuent encore la teneur en eau du sol • la végétation exposée au vent transmet des efforts dynamiques

3.2. Approche dure

Dans le domaine de la stabilisation des talus, l'utilisation d'une approche dure s'impose régulièrement comme une méthode pertinente, car les délais d'exécution sont réduits en regard des méthodes utilisées selon l'approche douce. Cette approche s'attaque au problème en modifiant, d'une manière directe, les propriétés, mécanique, physique ou chimique du sol. Les systèmes de parades qui utilisent cette approche sont représentés par la figure 1.6.

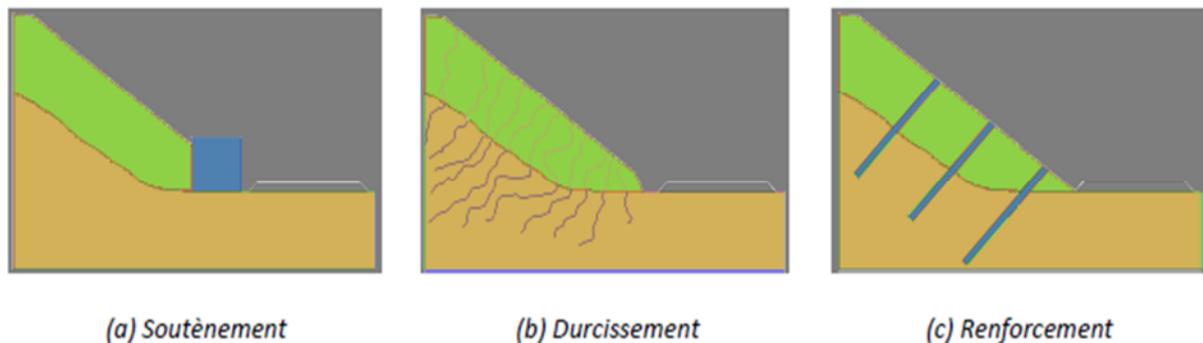


Figure 1.6 Systèmes de parade par approche dure

3.2.1. Durcissement

Le durcissement consiste à modifier les propriétés physico-chimiques du talus. L'utilisation de cette dernière est très pratique, et cela dans certaines situations qui peuvent être difficiles pour l'utilisation des autres systèmes de parades. Parmi ces techniques on cite :

- Sol mélangé avec le ciment ;
- L'électro-osmose ;
- Traitement thermique ;
- Injection (chaux,...) ;
- Pré consolidation.

3.2.2. Soutènement

Le soutènement consiste à s'opposer au mouvement des talus en y apportant une résistance mécanique, par utilisation d'ouvrages souples ou rigides

- **Les ouvrages souples** : pour lesquels la surface de contact est déformable, sont des structures obtenues à partir de gabions, de murs cellulaires, ou de sol renforcé par fils, par armatures synthétiques ou métalliques, par nappes de géotextiles, par grilles métalliques ou synthétiques ;
- **Les ouvrages rigides** : pour lesquels la surface en contact avec le terrain est indéformable. Les murs de soutènement classiques sont les ouvrages les plus

courants de cette catégorie. Ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des glissements de terrain, du fait de leur incompatibilité avec toute déformation ; en outre, le poids des terres participe à la stabilité de l'ouvrage par l'intermédiaire de la semelle.

3.2.3. Renforcement

3.2.3.1. Renforcement par géosynthétiques

Les géosynthétiques ont connu un essor considérable dans les domaines de la géotechnique et du génie civil durant ces trente dernières années. De nos jours, ils sont présents dans la plupart des ouvrages géotechniques et leurs domaines d'application ne cessent de s'accroître. Le chapitre qui suivra donne plus de détails sur cette technique.



Figure 1.7 Renforcement par géosynthétiques

3.2.3.2 Technique Pneusol

Le Pneusol est une méthode qui utilise les vieux pneus d'automobiles sous forme d'inclusions dans la masse de sol au lieu de l'armature métallique ou non métallique.

Cette technique est maintenant largement utilisée en France. Selon Long (1990), les ingénieurs français ont construit plus de 200 structures avec le renfort de pneumatiques en France et 12 en Algérie. La recherche sur le renforcement sous forme de pneus entiers, les flancs, ou bandes de roulement placé sur le bord ou aplatie a été réalisée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en France.



Figure 1.8 Renforcement par pneu sol

3.2.3.3. Tirants d'ancrages

Le principe consiste à réduire les forces actives du glissement et à accroître les contraintes normales effectives sur la surface de rupture. Pour ce faire, on ancre des tirants constitués de câbles d'acier multi torons dans le terrain stable situé sous la surface de rupture, et on applique en tête un effort de traction. Cet effort peut être réparti sur la surface du terrain par l'intermédiaire de plaques ou de petits massifs en béton armé. Dans de nombreux cas, les tirants sont combinés à un mur ou à des longrines.



Figure 1.9 Renforcement par ancrage

3.2.3.4. Le clouage

Le clouage sert à transférer les efforts déstabilisateurs, poids de la masse qui glisse, vers la partie stable du sol par un mécanisme d'accrochage. Une masse solidaire et importante de sol est ainsi créée, dont la stabilité est assurée.

Deux types de clouage existent, le clouage passif où la présence seule du clou assure le transfert des efforts et le clouage actif où le clou est préalablement mis en tension.

3.2.3.5 Colonnes de pieux

Les colonnes de pieux peuvent être utilisés pour stabiliser ou prévenir les glissements de terrain (Aboshi et Al, 1979; Goughnour et Al, 1990.). Cette technique d'amélioration des sols augmente la résistance au cisaillement moyenne du sol le long d'une surface de glissement potentiel par le remplacement ou le déplacement du sol avec une série très rapprochées des colonnes de grand diamètre compactée. En outre, les colonnes de pieux fonctionnent comme des drains de gravier efficace en fournissant un chemin pour le soulagement des pressions interstitielles, augmentant ainsi la résistance des sols.

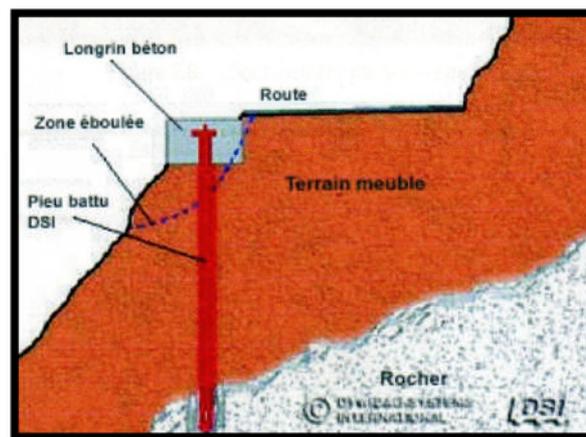


Figure 1.10 Renforcement par pieux

Tableau 1.3. Avantages et inconvénients des différentes techniques suivant l'approche dure
(Nordine, 2010)

TECHNIQUES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Géotextiles 	<ul style="list-style-type: none"> • bonne résistance à la rupture • mobiliser le frottement du sol 	<ul style="list-style-type: none"> • lorsqu'on utilise des sols grossiers (particulièrement pour les matériaux provenant d'éboulements), il peut subsister des branches, des blocs anguleux qui poinçonnent le géotextile
<ul style="list-style-type: none"> • Géogrilles 	<ul style="list-style-type: none"> • bonne résistance à l'endommagement • excellente perméabilité (colmatage impossible) 	<ul style="list-style-type: none"> • peu de souplesse en flexion • recouvrement important conseillé (Tensar préconise 1,5 m)
<ul style="list-style-type: none"> • Pneusol 	<ul style="list-style-type: none"> • bonne résistance à l'endommagement • cout compétitif 	-
<ul style="list-style-type: none"> • Ancrage 	<ul style="list-style-type: none"> • excellent moyen surtout pour massif rocheux 	<ul style="list-style-type: none"> • sensibilité à la corrosion • difficulté de mise en œuvre • fissuration de la gaine de protection en coulis de ciment car mouvements du sol • perte de tension dans le temps
<ul style="list-style-type: none"> • Clous 	-	<ul style="list-style-type: none"> • limitation aux petits glissements • déconseillé en terrain meuble • onéreux et peu efficace
<ul style="list-style-type: none"> • Pieux 	-	<ul style="list-style-type: none"> • risque de déstabilisation du versant dans certains cas de sols lors de la mise en œuvre • fluage entre les pieux
<ul style="list-style-type: none"> • Durcissement 	<ul style="list-style-type: none"> • augmentation de la résistance au cisaillement 	<ul style="list-style-type: none"> • modification de l'écoulement de la nappe

4. CHOIX DES SYSTEMES DE PARADES

Le choix d'une méthode de stabilisation résulte de la prise en compte des conditions techniques et les contraintes comme il est montré dans la figure 1.11.

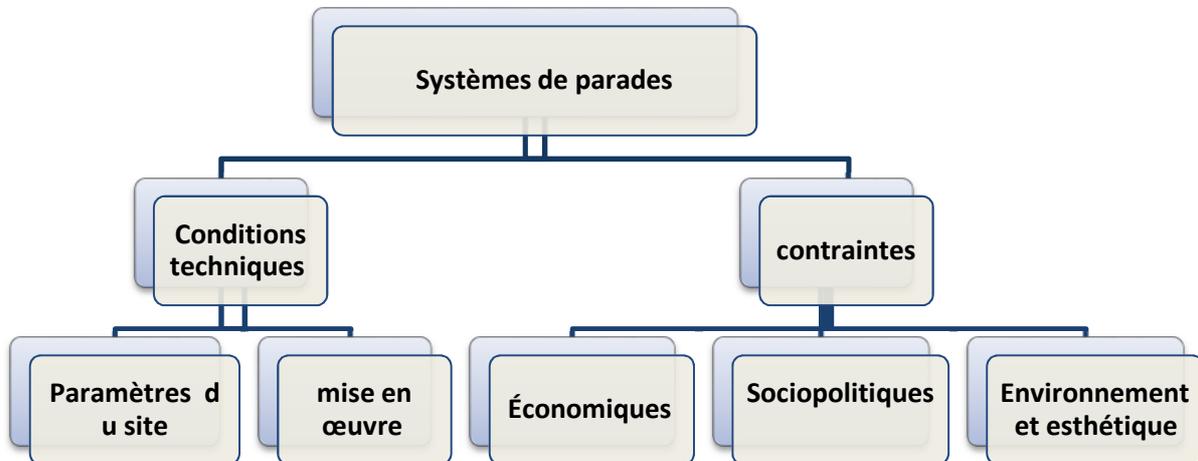


Figure 1.11 Facteurs de choix des systèmes de parades (Bedr, 2008)

Le renforcement a été largement employé durant les dernières années comme une technique de stabilisation des talus ; tout spécialement ceux qui sont au voisinage des voies de communication (routes, chemins de fer, etc.). Il consiste, dans son principe, à fixer le talus sous la surface de rupture, en l'associant à des éléments résistants de manière à former un matériau composite.

5. CONCLUSION

Dans certains cas, le choix du renforcement comme système de parade s'avère indispensable pour remédier l'instabilité des talus. Les techniques de renforcement sont diverses et nécessitent un développement afin de cerner les principales méthodes utilisés, ainsi que leurs limites.

Pour la stabilisation des talus, une première approche se définit par l'utilisation de méthodes naturelles qui s'attaque directement aux facteurs d'instabilités. Si les délais de stabilisation sont réduits, l'utilisation d'une approche dure s'impose comme une solution pertinente. Celle-ci remédie au problème en modifiant les propriétés mécaniques, physiques ou chimiques du sol.

Chapitre 2

LES GEOSYNTHETIQUES DANS LE GENIE CIVIL

1. INTRODUCTION

Depuis plus de trente ans, l'utilisation de matériaux synthétiques sous forme de nappes résistantes s'est développée dans le domaine du génie civil.

L'utilisation des matériaux géosynthétiques sous forme de nappes résistantes, soit tissées ou non tissées mais perméables, soit en membrane étanche s'est largement développée dans le domaine du génie civil. Grâce à leur facilité de mise en œuvre, à leur prix compétitif et leur rôle multifonctionnel, l'usage de ces nappes se multiplie sur chantier et s'étend mondialement. En particulier, les dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques sur pentes (DEG) remplacent de plus en plus les solutions traditionnelles pour assurer l'étanchéité d'un ouvrage.

Les dispositifs comportant des géosynthétiques sont mis en place en fond et sur les pentes des ouvrages. Ils doivent supporter les nombreuses contraintes mécaniques et hydrauliques appliquées lors de la mise en œuvre et lorsque l'ouvrage est en service. Pour des raisons d'ordre économique et spatial, la tendance est à un raidissement des pentes des ouvrages et c'est sur ces parties pentues où les contraintes sont les plus importantes que des problèmes de stabilité se posent.

2. HISTORIQUE

La première application d'un géotextile, un épais tissé en coton, dans la construction de routes a été réalisée en 1926 (Beckham et Mills, 1935) par le département de la recherche routière en Caroline du Sud. Jusqu'à la détérioration du tissé, la route était en bon état et l'utilisation du géotextile a considérablement réduit les fissures et les ruptures localisées de la chaussée. Un géotextile de fibres synthétiques avec des fonctions de filtration et de protection contre l'érosion des côtes a été utilisé en 1950 en Floride (Barret, 1966). Cette application contre l'érosion s'est ensuite largement développée dans les années 1960. En Europe, les premières applications de matériaux géotextiles ont été réalisées au début des années 1960 dans la construction et la rénovation des grands remblais et des digues pour la protection des terres basses le long de la côte de la mer du Nord aux Pays-Bas, après les grandes inondations de l'hiver 1953 (Gicot et Perfetti, 1982). En Algérie Les géosynthétiques ont connu un développement considérable dans les domaines de la géotechnique et de génie civil ces trente dernières années. Actuellement, ils sont présents dans la plus part des ouvrages géotechniques et leurs domaines d'applications ne cessent des accroître.

Durant les quatre dernières années, de nombreux ouvrages géotechniques incluant des géosynthétiques ont été construits.

3. MATERIAUX GEOSYNTHETIQUES

3.1. Notions générales

Les géosynthétiques ne font pas partie au sein strict de la famille des géomatériaux, qui sont généralement des matériaux naturels comme le sol, la roche... Les géosynthétiques sont fabriqués dans des usines, et à base de polymères dans la plupart des cas. On les appelle "géosynthétiques" car ces matériaux synthétiques sont souvent utilisés conjointement avec le sol ou la roche.

L'idée n'est pas nouvelle d'utiliser les géosynthétiques, mais il faut attendre les années soixante pour voir leur développement s'accélérer. Les nappes perméables sont généralement regroupées sous le nom générique de géotextile (GTX) et les membranes étanches sous celui de géomembrane (GMB). Dans le même temps d'autres produits spécifiques (géoespaceur, géogrille) font leur apparition et sont classés dans une troisième catégorie dénommée " produits apparentés aux géotextiles".

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

- **Séparation** Prévention contre le mélange des deux matériaux de natures différentes par l'emploi d'un géotextile.
- **Renforcement** Utilisation de la capacité de résistance d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles afin d'améliorer les propriétés mécaniques des sols.
- **Protection** Fonction consistant à empêcher les endommagements localisés concernant un matériau donné en utilisant le géotextile, en général une géomembrane.
- **Étanchéité** Contrôle de la migration de gaz ou de liquide.
- **Filtration** Maintien du sol ou d'autres particules soumis à des forces hydrauliques en permettant le passage de fluides à travers ou dans un géotextile.
- **Drainage** Collecte et transport des eaux pluviales, souterraines ou d'autres liquides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles.

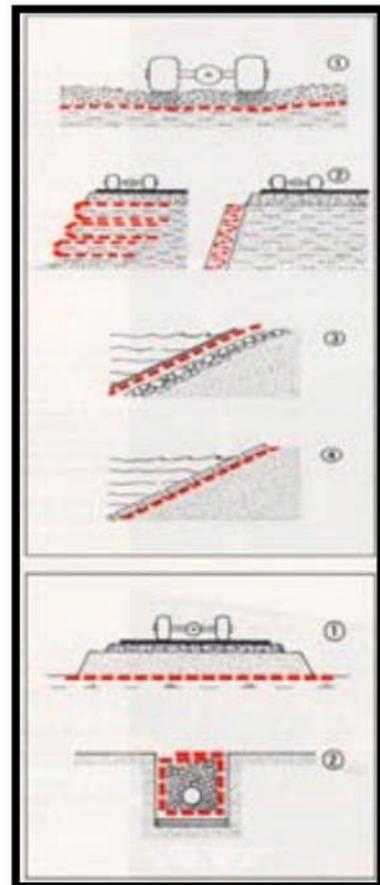


Figure 2.1 Rôles principaux des matériaux géosynthétiques (Briançon, 2001)

3.2. Classification des géosynthétiques

Les géosynthétiques peuvent être généralement classés en catégories selon le mode de fabrication.

3.2.1. 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.

- **Un non tissé** est un géotextile se présentant sous forme d'une feuille manufacturée, constituée d'un voile ou d'une nappe de fibres, orientées selon une direction ou distribuées aléatoirement (Fig. 2.2)

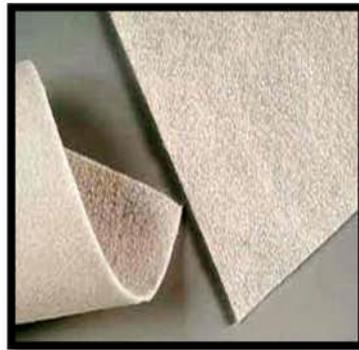


Figure 2.2 géotextile non tissé

- **Un tissé** est constitué de séries de fils perpendiculaires combinés de façon systématique (exemple : des tissus utilisés pour des chemises, des voiles de bateaux, les bâches). (Fig. 2.3)



Figure 2.3 Géotextile tissés

- **Un tricoté** est un géotextile produit par assemblage de deux nappes de fils parallèles au moyen d'un fil de liaison, de façon à obtenir la répartition géométrique désirée. (Fig. 2.4)



Figure 2.4 Géotextile tricoté

3.2.2. Géogrilles

Les géogrilles sont des géosynthétiques dont la fonction est le renforcement des sols.

Une géogrille est une structure plane à base de polymère, constituée par un réseau ouvert et régulier d'éléments résistants à la traction et pouvant être assemblés par extrusion, par collage ou par entrelacement, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants et permettant le confinement du sol.

La grandeur des mailles varie généralement de 1 et 10 cm pour permettre la pénétration des gros éléments du sol, et la création d'un effet d'imbrication de ces constituants dans la géogrille. Pour obtenir l'effet de renforcement il est nécessaire que les gros éléments s'imbriquent de la moitié de leur volume dans la maille.

Les géogrilles sont le plus souvent utilisées pour le renforcement de sols peu cohérents avec un squelette de granulométrie élevés.

On distingue des géogrilles mono-axiales et bi-axiales:(Fig. 2.5)

- **Mono-axiale** la résistance à la traction est plus importante dans un sens (longitudinal ou transversal) que dans l'autre.
- **Bi-axiale** la résistance à la traction est sensiblement équivalente dans le sens longitudinal et transversal.

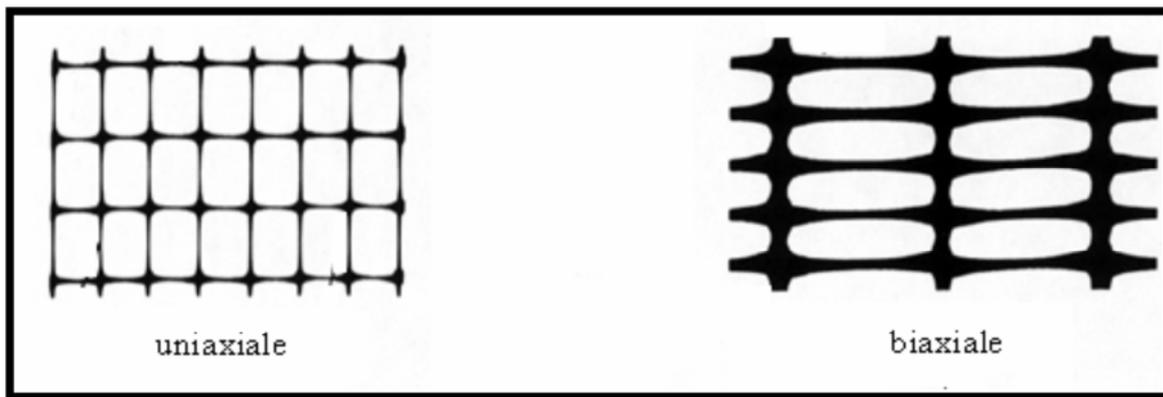


Figure 2.5 géogrilles uniaxiale et biaxiale

3.2.3. Géocomposites

Un géocomposite est un assemblage manufacturé de matériaux dont au moins l'un des composants est un produit géosynthétique, par exemple une géogrille complexée avec un géotextile non-tissé. Il peut être utilisé, soit en géotechnique (fonctions de séparation et renforcement), soit pour les couches de roulement (fonction de renforcement, particulièrement en réfection).

Un géocomposite de renforcement apporte en une pose, les avantages du géotextile non-tissé et ceux d'un géosynthétique de renforcement, géotextile tissé, tricoté ou géogrille. Les différents composants peuvent être assemblés liés par couture ou soudure thermique.

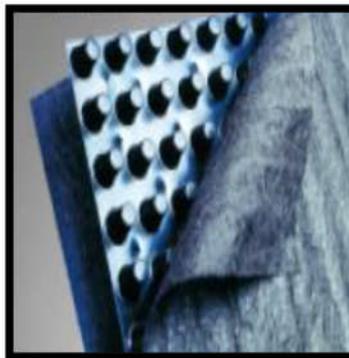


Figure 2.6 Géocomposites

4. AVANTAGES-INCONVENIENTS DES TECHNIQUES DE RENFORCEMENT PAR GEOSYNTHETIQUES

De manière générale, l'avantage des techniques de renforcement des sols dans un contexte d'ouvrages de protection contre les risques naturels réside essentiellement dans la réduction de l'emprise au sol des ouvrages et la possibilité d'utiliser les matériaux du site. Les inconvénients et lacunes relatives restent cependant la méconnaissance du comportement des sols (à forte granularité) et la modification

et dégradation des caractéristiques d'interface inclusions géosynthétiques/sols grossiers. Le tableau ci-dessous (Tableau 2.1) propose une première analyse de l'adéquation des produits géosynthétiques ou grillage au contexte des sols à forte granule.

Tableau 2.1 Adéquation des produits de renforcement à l'utilisation de sols à forte granularité (GOTTELAND, 2000)

TYPE	AVANTAGES (+)	INCONVENIENTS (-)
<ul style="list-style-type: none"> • non-tissés aiguilletés 	<ul style="list-style-type: none"> • Souplesse, adaptation à une granulométrie grossière 	<ul style="list-style-type: none"> • peu adaptés au contexte de renforcement des sols (sensibilité au poinçonnement, fort allongement) • durabilité ?
<ul style="list-style-type: none"> • Géocomposite (non-tissé et tissé) 	<ul style="list-style-type: none"> • Allongement plus faible • Rôle de séparation joué par le géotextile non-tissé support 	<ul style="list-style-type: none"> • Endommagement (risque d'arrachement des fibres de renforts) • Durabilité ?
<ul style="list-style-type: none"> • tissés 	<ul style="list-style-type: none"> • + ou - ? effet de la perforation sans perte de matière (répartition de part et d'autre des blocs mais réduction de la surface de contact fibres sols) 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Forte résistance mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité à l'endommagement • durabilité
<ul style="list-style-type: none"> • géogrilles 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte résistance mécanique • Mobilisation de la pseudo-Cohésion (imbrication grains/grille) 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidité • Mécanismes et caractérisation de la mobilisation du frottement et/ou de la pseudo-cohésion mal connue

5. APPLICATIONS DES GEOSYNTHETIQUES

Les retours d'expérience et les recherches entreprises contribuent au développement des applications de ces produits géosynthétiques.

La géomembrane trouve sa place dans de nombreux domaines de construction. Elle est utilisée dans le milieu hydraulique pour la réalisation de canaux ou de bassins, que ce soit pour l'irrigation, l'alimentation en eau potable ou le lagunage des eaux usées. Ce domaine s'étend à l'ensemble des applications concernant l'eau telle que les masques étanches de digues et de barrages ou les canaux navigables.

La géomembrane est aussi employée pour l'étanchéité des stockages de déchets ménagers ou industriels, qu'ils soient d'origine animale, végétale ou chimique. En effet le manque de site naturellement étanche et la réglementation actuelle entraîne l'utilisation de géomembrane.



Figure 2.7 Exemple d'utilisation de géomembrane (Briançon, 2001)

L'utilisation des géotextiles et des produits apparentés aux géotextiles dépend des besoins de l'ouvrage dans lequel ils sont disposés. Les géotextiles offrent une large étendue de résistance en traction et de raideur, ils peuvent être employés en renforcement de sols comme dans les murs renforcés par exemple.

La route a été le premier domaine d'emploi où les géotextiles ont été utilisés en quantités importantes ; les géotextiles sont employés pour les routes et les pistes comme séparateurs, renforts, filtres, drains et pour lutter contre l'érosion des talus. Pour la réalisation des aménagements en bordure de mer (épis, digues défenses de côtes), les géotextiles peuvent remplacer avantageusement des techniques comme celles des tapis filtrants ou des farfouilles.

Les géotextiles sont particulièrement intéressants dans les travaux hydrauliques, car ils permettent la réalisation d'interfaces continus, perméables, filtrants. Ils sont donc utilisés, soit en addition à une structure classique, pour renforcer la sécurité de l'ouvrage, soit le plus souvent, en substitution de matériaux naturels.

Dans ce cas, ils permettent des économies car ils remplacent des matériaux généralement calibrés et onéreux; de plus leur mise en œuvre est beaucoup plus facile pour la réalisation d'interfaces inclinées ou verticales.

5.1. Renforcement des talus

Le bon fonctionnement du renforcement des talus (Figure 2.8) exige de la part du géosynthétique, un faible allongement sous sollicitation, et un choix judicieux doit être réalisé en fonction du type de sol. Pour des sols graveleux et non cohésifs (par exemple sables et graviers), les géogrilles conviennent mieux, tandis que les

géotextiles tissés et les géocomposites sont plus adaptés aux sols fins et homogènes (terres, argiles).

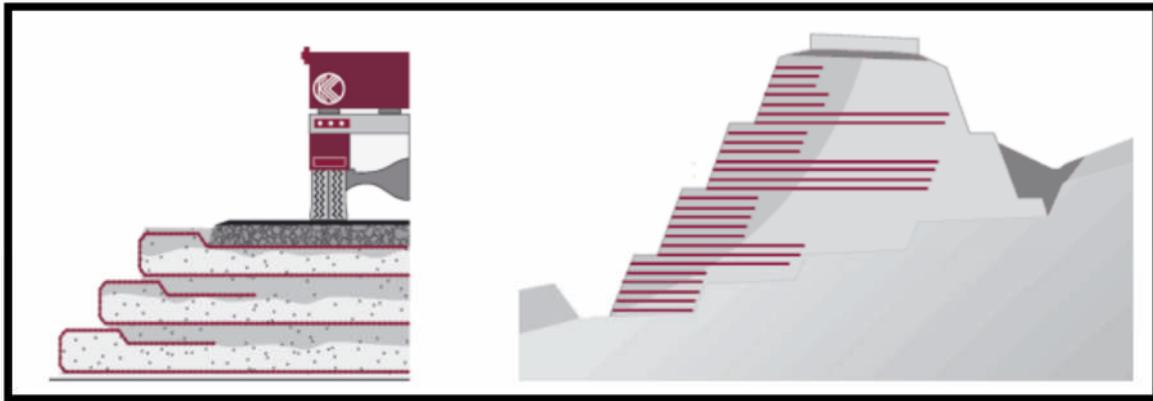


Figure 2.8 Talus renforcés par géosynthétique. (MAMEN ; 2010)

Avantages de l'utilisation de géosynthétiques pour le renforcement des talus:

- amélioration des caractéristiques mécaniques des sols;
- diminution des mouvements de terre;
- diminution des exigences de transfert de matériau;
- modification des structures routières et ferroviaires pour en augmenter les capacités;
- réduction des délais de construction (possibilité de travailler pendant la période hivernale);
- augmentation de la sécurité et de la stabilité des remblais;
- préservation de l'aspect naturel du paysage;
- optimisation des coûts de construction.

5.2. Murs en terre renforcée par géosynthétique

En cas de construction de talus, soutènements ou berges dont la pente doit excéder le talus naturel, il est possible de raidir les pentes pour obtenir l'angle souhaité, grâce à l'inclusion de nappes de géosynthétiques (géogrilles ou géotextiles) installés en lits horizontaux entre chaque passe de compactage.

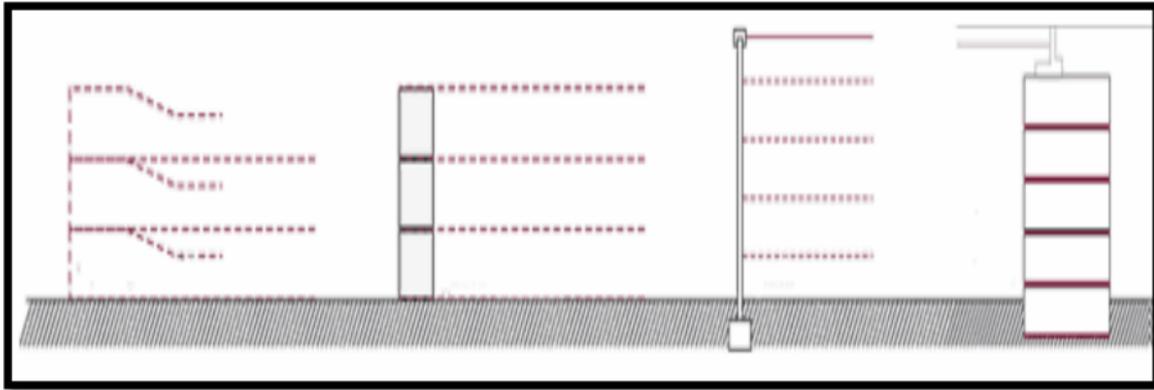


Figure 2.9 Murs en terre renforcée par géosynthétique. (MAMEN ; 2010)

Le parement de l'ouvrage peut être réalisé au moyen de gabion ou éléments béton (éléments préfabriqués ou panneaux en L), le géosynthétique servant d'armature horizontale. Dans le cas où l'angle de frottement interne du remblai est peu différent de l'angle du talus raidi, il n'est pas nécessaire de renforcer le parement du remblai. Il suffit d'envelopper totalement le remblai avec le géosynthétique.

Dans ce cas, la face de l'ouvrage est formée par le géosynthétique lui-même avec ajout de géotextile non-tissé ou d'une géogrille anti-érosion recouvert d'une faible couche de terre végétale entre les mailles de la géogrille. La surface de parement doit toutefois être protégée contre l'érosion, par exemple par un géogrille anti-érosion.

5.3. Fondations sur pieux

Lorsque nous devons construire un remblai ou une plate-forme et que nous ne pouvons pas avoir recours au tassement, une fondation profonde est la solution la plus envisageable, à l'aide de pieux de type Vibro Concrete Columns (VCC), résistant aux couches inférieures plus rigides.

Pour ce genre de fondations profondes, une plate-forme de transfert de charge peut être utilisée afin de répartir la charge de remblai de façon efficace sur la série de pieux ou de colonnes. Cette plate-forme permet de faire l'économie d'un radier en béton, de fondations continues. La solution la plus rentable consiste souvent à créer une plate-forme à partir d'un remblai granulaire de bonne qualité renforcé à l'aide de plusieurs nappes de géogrilles biaxiale.

Les avantages d'une plate-forme de transfert de charge :

- Nous n'avons pas besoin d'utiliser un radier en béton, des casques de battage ou des fondations continues,
- Peut être utilisée sous des dalles de soutien afin d'éviter ou de minimiser la flexion.



Figure 2.10 Vue d'un remblai reposant sur une plate-forme de transfert de charge. (MAMEN ; 2010)

5.4. Augmentation de la portance des remblais routiers et des constructions routières et ferroviaires

L'utilisation des géosynthétiques est un des procédés les plus efficaces pour augmenter la portance, particulièrement là où les caractéristiques mécaniques du terrain ne peuvent garantir le niveau espéré de stabilité et de portance.

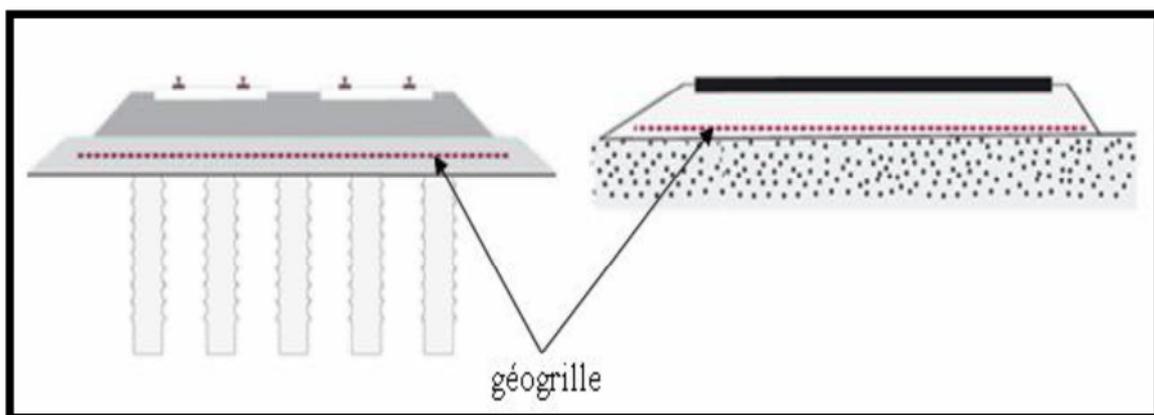


Figure 2.11 Remblais renforcés par géogrilles. (MAMEN ; 2010)

Les géogrilles sont utilisées dans la construction routière ou similaire pour éviter les affaissements, reprendre les forces dues au chargement et aussi réduire les épaisseurs de matériau granulaire souvent coûteux. Les géosynthétiques (particulièrement les géogrilles) se lient avec les matériaux granulaires, constituant un complexe efficace même avec des terrains tels que des tourbes ou des alluvions insuffisamment portantes.

Les principaux avantages des géogrilles dans les constructions routières et ferroviaires:

- emplacement de la construction même sur des terrains à faible portance;
- diminution de la déformation du corps de remblai;

- séparation du matériau à gros grain des couches inférieures;
- utilisation de terrains inconvenables;
- possibilité de vitesses supérieures sur les voies de communication.

5.6. Support de ballast de voies de chemin de fer

Les géogrilles biaxiales constituent une solution extrêmement rentable pour le renforcement du ballast sur une plate-forme de voie souple. Elles offrent des avantages non négligeables pour l'ingénieur des chemins de fer. Il existe deux modes de renforcement :

- Renforcement direct du ballast en vue de diminuer la vitesse de tassement de la voie, et donc de diminuer les cycles d'entretien (Figure 2.12).

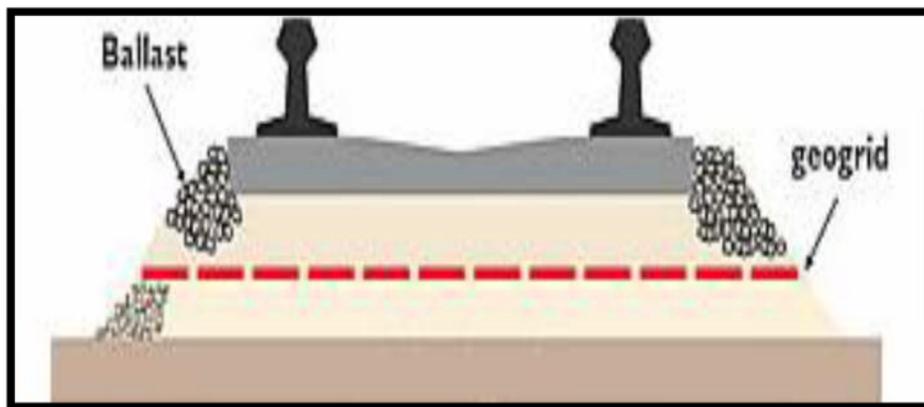


Figure 2.12 Renforcement direct du ballast. (MAMEN ; 2010)

- Renforcement de la couche granulaire de la fondation inférieure située sous le ballast de chemin de fer, en vue d'augmenter les qualités de la couche porteuse de la voie (Figure 2.13).

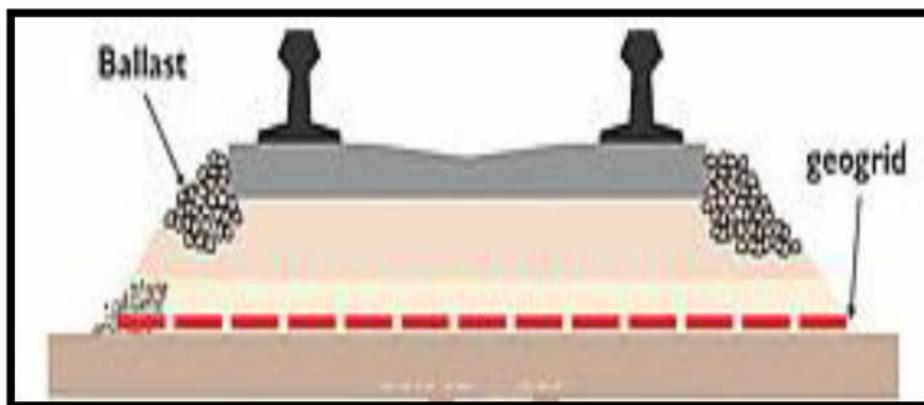


Figure 2.13 Augmentation de la capacité portante de la couche porteuse. (MAMEN ; 2010)

5.7. Construction de centres de stockage de déchets

La gestion des déchets est un environnement exigeant pour les systèmes de géocomposite de drainage. Outre les exigences de drainage standard pour la gestion des déchets, le système de drainage doit être capable de vidanger les liquides corrosifs et d'évacuer les gaz volatils. La résistance des polymères aux attaques chimique et bactérienne est une exigence fondamentale.

Les géocomposites offrent des solutions aussi bien pour les applications de surfacage que de revêtement pour les centres de stockage de déchets, qui remplacent efficacement les couches de drainage « traditionnelles » en pierres.



Figure 2.14 stockage de déchets avec le revêtement géocomposite. (Terram ; 2008)

5.8. Protection des berges, rives et digues

Les forces de la marée peuvent causer des dégâts importants aux digues et aux constructions en pleine mer. Des constructions pour protéger ces structures sont réalisées en employant des géotextiles filtrants entre le sol et les enrochements de manière à éviter une érosion du sol.

Pour résister aux sollicitations mécaniques dues à la pose des enrochements, l'application de géotextiles tissés lourds (SG) et non-tissés (VNW) avec des résistances élevées au poinçonnement est appropriée.

Les types SG sont disponibles avec des boucles incorporées pour faciliter le placement, et pour la fixation d'un ballast ou des bois, sans endommager le tissu et/ou sans modifier ses caractéristiques mécaniques ou hydrauliques.

Dans les projets de protection des berges et des digues, souvent les éléments en béton préfabriqués sont employés comme protection primaire. Les géotextiles tissés sont développés spécialement comme sous-couche filtrante pour empêcher l'érosion du sous-sol et afin de pouvoir garantir la perméabilité des éléments en béton à long termes.

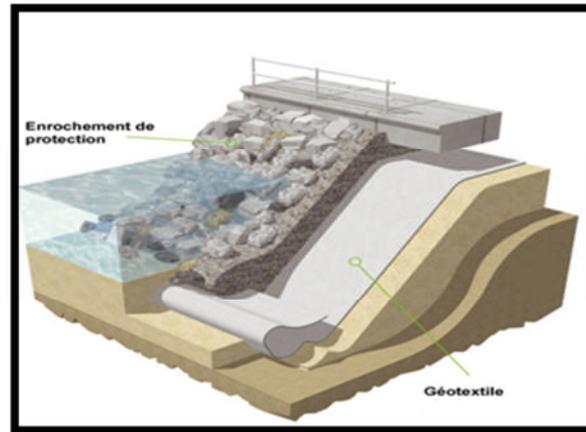


Figure 2.15 Protection des digues. (Terram ; 2008)

6. EXEMPLES D'UTILISATION DES GEOTEXTILES DANS LE GENIE CIVIL

6.1. Travaux routiers

6.1.1. Voies permanentes

Les Géotextiles, en séparant les différentes couches de matériaux, stabilisent les chaussées qui sont conçues pour résister aux contraintes dynamiques et statiques.



Figure 2.16 Voies permanentes (Fibertex, 2008)

6.1.2. Voies temporaires

Placés sous le revêtement constitué de gravillons, augmentent la portance de la route et lui permettent ainsi de résister aux charges permanentes d'un trafic intense. Aucune voiture, aucun tracteur ni autres véhicules ne restent collés aux gravillons.

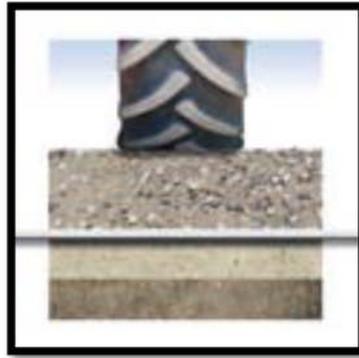


Figure 2.17 Voies temporaires (Fiberte, 2008)

6.1.3. Aires de parking

Les aires soumises à des charges statiques considérables exigent une couche de base stable, ce qui est assuré par les Géotextiles, qui, en séparant les différentes couches de matériaux, jouent un rôle essentiel pour maintenir la portance



Figure 2.18 Aires de parking (Fiberte, 2008)

6.1.4. Elargissement de routes

Les Géotextiles assurent la séparation et la stabilité entre le sous-sol et les matériaux d'apport destinés à la construction de la route.



Figure 2.19 Elargissement de routes (Fiberte, 2008)

6.1.5. Rénovation de l'asphalte

La nappe AM2 saturée de bitume, en empêchant l'eau de surface de pénétrer dans la couche de base, évite le lessivage des fines et réduit considérablement l'apparition de fissures et de crevasses.



Figure 2.20 Rénovation de l'asphalte (Fiberte, 2008)

6.1.6. Aéroports

Dans les ouvrages où la surface est soumise à de très fortes sollicitations, les Géotextiles stabilisent les fondations leur permettant ainsi de résister aux charges dynamiques



Figure 2.21 Aéroports (Fiberte, 2008)

6.1.7. Voies ferrées

La rapidité et le poids sans cesse croissants des trains soumettent la couche de base à des sollicitations extrêmement importantes.

Les Géotextiles stabilisent les fondations leur permettant ainsi de résister aux charges dynamiques



Figure 2.22 Voies ferrées (Fiberte, 2008)

6.2. Travaux de construction

6.2.1. Fondations

Quand ils sont placés sous les fondations, les Géotextiles remplacent la couche anticontaminante. C'est simple, efficace et économique

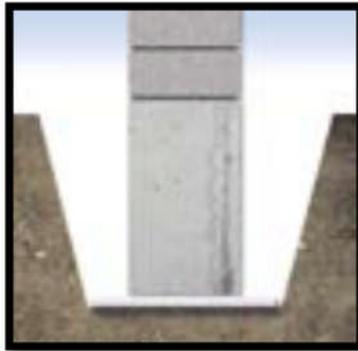


Figure 2.23 Fondation (Fiberte, 2008)

6.2.2. Dalles en béton

Au-dessous des dalles en béton, le Géotextile perméable protège la couche drainante contre la contamination du béton et du sous-sol.

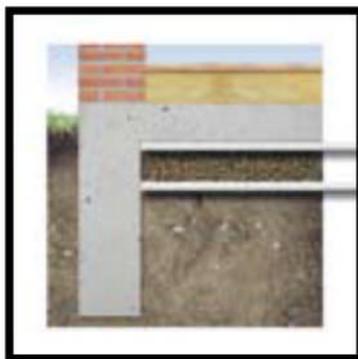


Figure 2.24 Dalles en béton (Fiberte, 2008)

6.2.3. Suppression de l'impact sonore

Dans les immeubles, les Géotextiles sont utilisés dans le but de réduire le bruit d'impact.



Figure 2.25 Suppression de l'impact sonore (Fiberte, 2008)

6.2.4. Toitures

Les Géotextiles sont utilisés comme couche anti usure et couche de protection mécanique des membranes du toit ainsi que comme filtre afin de protéger toute couche drainante.

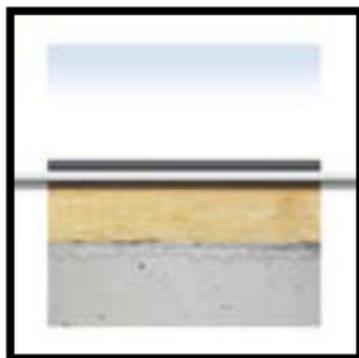


Figure 2.26 Toiture (Fiberte, 2008)

6.2.5. Toits de terrasse de jardin

Les Géotextiles sont utilisés comme couche de séparation, de protection mécanique des membranes du toit ainsi que comme filtre pour protéger toute couche drainante.

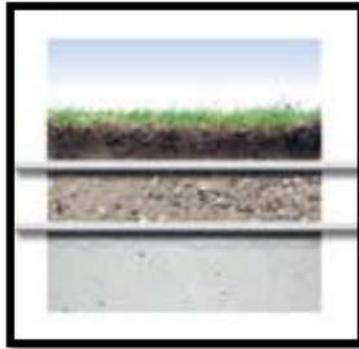


Figure 2.27 Toits de terrasse de jardin (Fiberte, 2008)

6.3. Terrassements

6.3.1. Tuyaux et tranchées

Un Géotextile placé au fond d'une tranchée augmente la portance considérablement



Figure 2.28 Tuyaux et tranchées (Fiberte, 2008)

6.3.2. Aires de stockage

L'utilisation de Géotextiles permet d'éviter la migration ou la perte des fines particules dans les couches de base ainsi que le colmatage de la couche drainante.

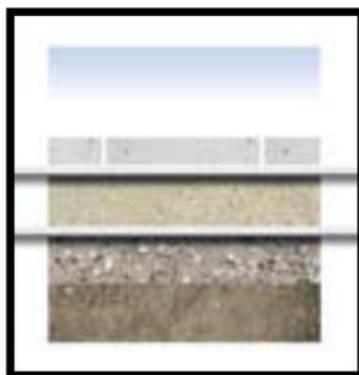


Figure 2.29 Aires de stockage (Fiberte, 2008)

6.3.3. Aires de sport

Le gazon, les cendrées et pistes/terrains gravillonnés sont stabilisés au moyen des Géotextiles grâce à un drainage efficace qui assure une surface plane.



Figure 2.30 Aires de sport (Fiberte, 2008)

6.3.4. Talus

Grâce à la mise en place des Géotextiles sous la couche de couverture, le talus pourra résister aux eaux souterraines, eaux de pluie et de fonte qui, autrement, lessiveraient les fines particules.



Figure 2.31 Talus (Fiberte, 2008)

6.4. Drainage/filtration

6.4.1. Drains enrobés

Les Géotextiles perméables enveloppent les tuyaux et assurent un système de drainage efficace de longue durée sans risque de colmatage.



Figure 2.32 Drains enrobés (Fiberte, 2008)

6.4.2. Tranchées drainantes

Les Géotextiles protègent le système de drainage en empêchant la migration des fines.



Figure 2.33 Tranchées drainantes (Fiberte, 2008)

6.4.3 Surfaces drainantes

Les drains de surface risquent d'être colmatés par le sol environnant. Les Géotextiles maintiennent les fines séparées de la couche drainante et assurent ainsi l'efficacité du système de drainage.



Figure 2.34 Surfaces drainantes (Fiberte, 2008)

6.4.4. Drains de construction

Dans la réalisation de fondations et de murs de soubassement, les Géotextiles assurent un drainage périphérique propre et efficace, ce qui permet d'éviter, par ex., des détériorations dues à l'humidité.



Figure 2.35 Drains de construction (Fiberte, 2008)

6.5. Travaux hydrauliques

6.5.1. Protection des côtes

Les Géotextiles protègent la ligne de côte. En effet, en raison de leur souplesse et de leur perméabilité, ils résistent à l'emprise des vagues et des courants et évitent ainsi l'érosion et le lessivage des fines



Figure 2.36 Protection des côtes (Fiberte, 2008)

6.5.2. Dignes

Les digues et jetées artificielles doivent être renforcées de matériaux solides afin de résister aux forces de la nature. Les Géotextiles stabilisent et évitent le lessivage des fines.



Figure 2.37 Dignes (Fiberte, 2008)

6.5.3. Construction de ports

Placés derrière le mur de soutènement, les Géotextiles assurent la propreté à la couche drainante, ce qui réduit la pression hydraulique sur le mur.

Placés devant le mur de soutènement, les Géotextiles empêchent l'affouillement du lit de la mer.



Figure 2.38 Construction de ports (Fiberte, 2008)

6.5.4. Berges des rivières et des fleuves

Les Géotextiles protègent les berges des rivières et des canaux d'une façon efficace et respectueuse de l'environnement.



Figure 2.39 Berges des rivières et des fleuves (Fiberte, 2008)

6.5.5. Lacs artificiels

Les Géotextiles protègent la membrane imperméable contre la perforation.



Figure 2.40 Lacs artificiels (Fiberte, 2008)

6.5.6. Réservoirs d'eau

Les Géotextiles protègent la membrane imperméable contre la perforation.

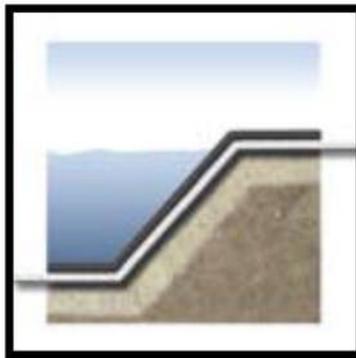


Figure 2.41 Réservoirs d'eau (Fiberte, 2008)

6.6. Centres d'enfouissement techniques

6.6.1. Centres d'enfouissement techniques (couches de surface)

Dans les sites de stockage de déchets sous surveillance, les Géotextiles disposés de part et d'autre des membranes protègent celles-ci contre la perforation. De plus, les Géotextiles jouent le rôle de filtre afin de protéger les couches drainantes.

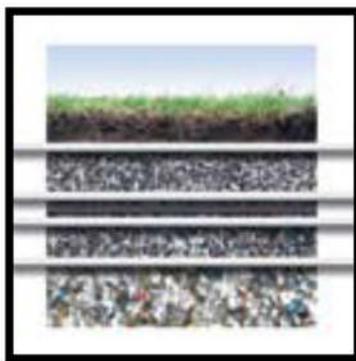


Figure 2.42 Centres d'enfouissement technique (Fiberte, 2008)

6.6.2. Centres d'enfouissement techniques (couches de fond)

Comme décrits ci-dessus, les Géotextiles, disposés de part et d'autre des membranes, protègent celles-ci contre la perforation.

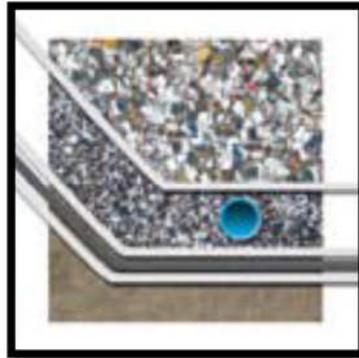


Figure 2.43 Centres d'enfouissement techniques (Fiberte, 2008)

6.6.3. Bassins de purification biologique

Les Géotextiles, disposés de part et d'autre de la membrane, protègent celle-ci contre la perforation.

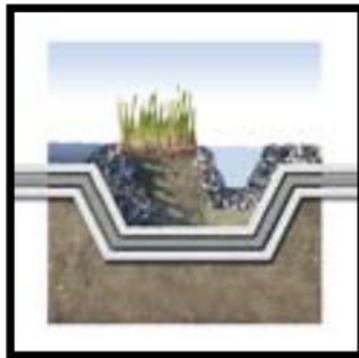


Figure 2.44 Bassins de purification biologique (Fiberte, 2008)

7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, les géosynthétiques les plus courants, leurs principales propriétés ainsi que les modes d'application permettant de les caractériser ont été brièvement présentés. Les polymères et différents additifs utilisés pour la fabrication des géosynthétiques permettent de résoudre des problèmes particuliers. On voit de plus en plus apparaître et utiliser de géosynthétiques dits "multifonctions", pour lesquels deux et même plusieurs fonctions (renforcement, séparation, drainage, filtration, etc.) sont assurées par un seul produit.

L'application des géosynthétiques dans le domaine de Génie civil présente peu de développements nouveaux. On peut retenir les nouveaux développements dans l'utilisation des géocomposites à plusieurs fonctions combinées et des géotextiles ou

des géogrilles performantes dans le domaine de Génie civil. Des résultats de mesures très intéressants issus des essais sur des structures instrumentées sont également à noter.

Chapitre 3

LES GEOSYNTHETIQUES DANS LE RENFORCEMENT DES TALUS

1. INTRODUCTION

La fonction de renforcement d'un géosynthétique est caractérisée par son aptitude à limiter les déformations du sol de fondation sous une charge donnée ou à augmenter sa capacité de chargement, en particulier dans le cas où de grands déplacements sont prévus.

Le géosynthétique permet également d'améliorer la résistance au cisaillement dans un remblai. Le renforcement des sols par géosynthétiques trouve ainsi son application dans les chaussées non revêtues, les remblais sur sols mous, les talus et remblais, les ouvrages de soutènements.

L'objectif de ce chapitre est de présenter quelques méthodes d'utilisation des géosynthétiques pour le renforcement, la mise en œuvre et leurs maintenances.

2. RENFORCEMENT DU SOL

Les méthodes traditionnelles pour la stabilisation et le renforcement du sol dans la construction des remblais raides ou des parois verticales (avec ou sans mur de soutènement) sont souvent très chères et très complexes. Les géotextiles offrent des solutions économiques pour ces constructions.

Par la résistance exceptionnelle, le module d'élasticité élevé, le retrait très limité, et la haute résistance aux rayons, les géotextiles de renforcement sont la meilleure garantie pour une construction fiable et durable.

La construction d'une digue (remblai) sur un sol compressible et peu perméable peut poser des problèmes de stabilité et peut causer un risque de glissement de l'ensemble.

Les délais de construction seront prolongés par l'obligation de laisser consolider le sol, ou par les travaux d'amélioration du sol. L'emploi du géotextile est une alternatif économique.

3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES GEOSYNTHETIQUES EN REMBLAI

3.1. Principe de fonctionnement

Les ouvrages de soutènement en remblai renforcé par inclusions géosynthétiques sont constitués d'un massif de remblai mis en place par couches successives compactées, entre lesquelles sont disposés des éléments de renforcement géosynthétiques : les nappes de géotextile, de géogrille ou bandes.

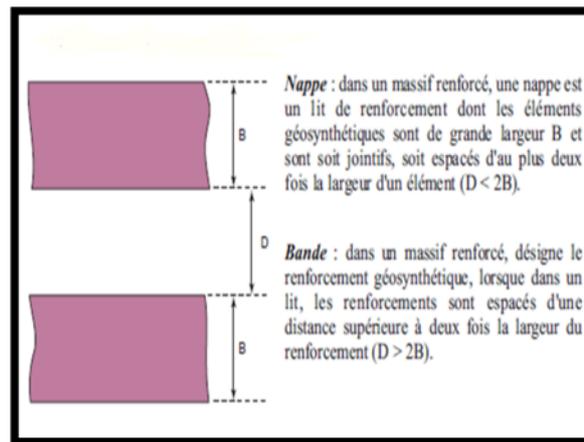


Figure 3.1 Vue du dessus - cas d'une nappe ($D < 2B$) (LCPC, 2003)

Les longueurs des éléments de renforcement (bandes ou nappes) et les espacements verticaux entre lits ne sont pas forcément constants sur toute la hauteur de l'ouvrage.

Les éléments de renforcement sont disposés horizontalement. De plus, la pente longitudinale doit être nulle, ou quasiment nulle.

Comme le montrent les figures (3.2) et (3.3) le parement aval peut être vertical ou assez fortement incliné et de nature très variée selon les procédés de construction. Différentes technologies peuvent être utilisées pour constituer le parement. On peut mettre en place, par exemple :

- Un parement constitué de panneaux de pleine hauteur, généralement non liaisonnés aux éléments de renforcements géosynthétiques et servant uniquement de protection (Fig. 3.2);
- Un parement constitué d'écailles où sont fixés les éléments de renforcement (bandes géosynthétiques) ;
- Un parement cellulaire, constitué d'éléments empilés (généralement, des blocs préfabriqués). Les renforcements sont fixés au parement par un dispositif d'accrochage ou simplement pincés entre deux blocs ;
- Une protection par végétalisation (Fig. 3.3).

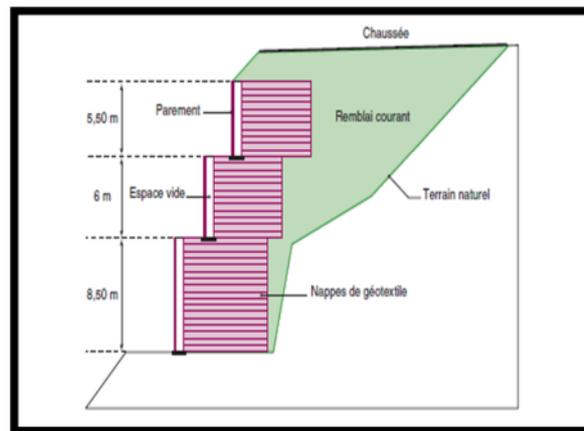


Figure 3.2 Ouvrage en remblai renforcé par nappes de géotextile à parement verticaux et indépendants (LCPC, 2003)

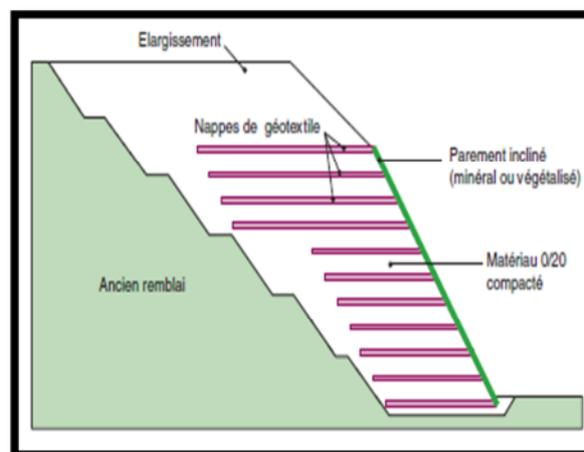


Figure 3.3 Ouvrage en remblai renforcé par nappes de géotextile à parement incliné (LCPC, 2003)

3.2. Fonctionnement interne

La stabilité des ouvrages en remblai renforcé par éléments géosynthétiques est assurée, comme pour les ouvrages en remblai renforcé par armatures peu extensibles (Terre Armée, etc.), par le frottement entre le sol et les éléments de renforcement géosynthétiques, capables de supporter des efforts de traction.

Le remblai transmet par frottement aux inclusions géosynthétiques les efforts qui se développent dans la masse ; ces inclusions se mettent alors en tension et tout se passe comme si le remblai possédait, dans les directions où sont placés les éléments de renforcement, une résistance à la traction dont la valeur est directement proportionnelle aux efforts repris par les nappes ou les bandes.

Celles-ci reportent les efforts de la zone active, à l'aval (zone où le remblai a tendance à entraîner les nappes ou les bandes), vers la zone d'ancrage à l'arrière du massif (zone où le remblai a tendance à retenir ces nappes).

La figure (3.4) schématise les principes de base de ce fonctionnement. Le calcul de stabilité interne consiste à vérifier pour les surfaces potentielles de rupture les plus critiques que, d'une part, les longueurs d'ancrage sont suffisantes pour reprendre les efforts par frottement et, d'autre part, tous les éléments géosynthétiques (nappes ou bandes) ont une résistance suffisante pour reprendre ces efforts.

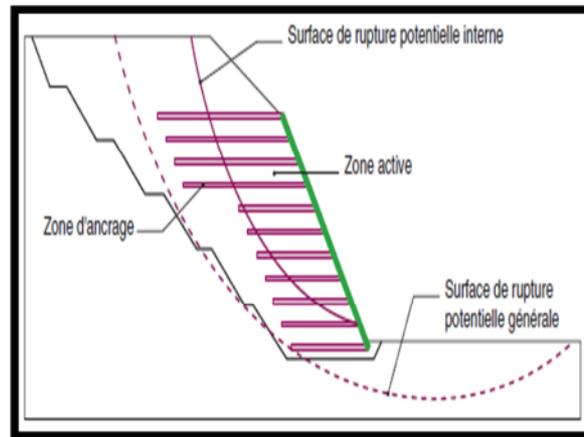


Figure 3.4 Stabilité interne et externe des ouvrages en remblai renforcé. (LCPC, 2003)

La stabilité interne fait aussi intervenir d'autres critères, tels que la résistance au cisaillement du sol et la résistance à l'ancrage des géosynthétiques, fonction du frottement relatif sol - géosynthétique et de leur résistance ultime.

Selon le type de parement, le géosynthétique peut être libre ou accroché au parement, ce qui correspond à un fonctionnement mécanique différent dont il est tenu compte dans les méthodes de calcul.

Dans le cas d'un accrochage au parement, il existe une tension de liaison dont il faudra contrôler la pérennité.

Si la liaison est libre, le parement n'intervient pas directement dans la stabilité générale ; toutefois, il faut vérifier la stabilité propre du parement, dont la dégradation peut avoir des conséquences préjudiciables (érosion régressive, perte de matériau, etc.), difficiles à évaluer, même si, théoriquement, seule l'esthétique de l'ouvrage renforcé est concernée.

On notera que dans tous les cas il existe un parement, dont la fonction est, en particulier, d'assurer la stabilité locale du talus, dont la pente est généralement plus forte que la pente naturelle du matériau de remblai.

3.3. Fonctionnement externe

3.3.1. Stabilité externe

En tant qu'ouvrage de soutènement des terres situées à l'arrière, ces ouvrages ont un fonctionnement du type « mur-poids ».

Le fonctionnement externe de ces ouvrages en remblai renforcé ne diffère donc pas de celui des ouvrages de soutènement les plus classiques, de type mur-poids en maçonnerie ou en béton. Il repose sur la portance du sol de fondation et sur la résistance au glissement de l'ouvrage à son interface avec le sol de fondation. S'agissant d'un ouvrage souple et de grande largeur à la base, le problème du renversement ne se pose généralement pas.

3.3.2. Stabilité globale

La stabilité globale est vérifiée vis-à-vis du grand glissement selon une surface enveloppe du massif renforcé (Fig. 3.4). Les calculs de stabilité globale sont souvent déterminants dans le dimensionnement de ces ouvrages (emprises, longueur des nappes).

4. LES ELEMENTS DE RENFORCEMENT GEOSYNTHETIQUES

Les géosynthétiques, qui ont un rôle essentiel dans la stabilité des ouvrages, sont choisis en fonction de plusieurs critères :

- Leur résistance à la traction à long terme (tenant compte des effets du fluage, du vieillissement et de l'endommagement) ; (LCPC, 2003)
- Le coefficient d'interaction par frottement à l'interface avec le matériau de remblai ; (LCPC, 2003)
- La nature du polymère dont ils sont constitués, qui doit être compatible en termes de vieillissement avec le matériau de remblai et, le cas échéant, avec le parement. (LCPC, 2003)

La longueur des différents lits de géosynthétiques peut varier à l'intérieur d'un ouvrage.

- Pour les nappes continues, l'espacement vertical entre lits est compris entre 0,20 et 0,80 m (exceptionnellement 1 m avec des parements minéraux), pour permettre de garder au massif son caractère de matériau composite. (LCPC, 2003)
- S'agissant des bandes, l'espacement vertical entre lits est également compris entre 0,20 et 0,80 m ; l'espacement horizontal entre-axes est inférieur à deux fois l'espacement vertical pour permettre de garder au massif son caractère de matériau composite. (LCPC, 2003)

Les principaux processus de vieillissement des éléments de renforcement sont (liste non exhaustive) :

- La photo-dégradation (ou photo-oxydation ou vieillissement climatique), phénomène initié par le rayonnement ultraviolet et accéléré par la température, qui n'intéresse que les géosynthétiques en parement ; (LCPC, 2003)
- L'oxydation (ou thermo-oxydation), dont la cinétique est influencée par la température et la pression partielle de l'oxygène (dans le cas de géosynthétiques enterrés, l'oxygène provient de l'air et de l'eau d'infiltration ; la vitesse de la réaction est généralement faible) ; (LCPC, 2003)
- La dégradation chimique (dont l'hydrolyse interne), qui est fortement influencée par la température et le pH. On notera en particulier que les polyesters ne peuvent pas être utilisés à long terme dans un environnement dont le pH est supérieur à 9, ce qui exclut cette fibre dans le cas d'un matériau traité à la chaux ; (LCPC, 2003)
- La dissolution/gonflement au contact de produits chimiques tels que les hydrocarbures (sols pollués, infiltrations depuis la chaussée, etc.). (LCPC, 2003)

5. LE REMBLAI

Le matériau de remblai participe directement à la résistance des ouvrages en remblai renforcé ; ses caractéristiques revêtent donc une importance toute particulière.

Nous n'allons pas, dans ce chapitre, énumérer l'ensemble des spécifications imposées au choix de ce matériau, qui portent notamment sur leur identification géotechnique, d'une part, et sur leurs caractéristiques mécaniques de résistance au cisaillement, d'autre part.

Il doit satisfaire à la fois :

- aux critères généraux définis par le Guide des Terrassements Routiers, avec en particulier la restriction que les matériaux utilisables appartiennent aux familles de sols pour lesquels il n'y a pas de limite de hauteur pour leur usage en remblai courant, ce qui exclut en particulier les matériaux évolutifs, les sols gonflants, etc. ;
- à des critères relatifs à la situation de l'ouvrage et à son environnement (exposition au gel, aux inondations, etc.) ;
- à des critères spécifiques aux ouvrages en remblais renforcés par géosynthétiques qui, outre l'aspect mécanique (pourcentage de fines,

diamètre maximal conforme à la règle d'un $D_{max} < 2/3$ de l'épaisseur de la couche, etc.), doivent inclure la nécessité de ne pas détériorer les éléments géosynthétiques durant la mise en œuvre (matériaux non anguleux, etc.) ;

- aux spécifications relatives au vieillissement des géosynthétiques (compatibilité entre le géosynthétique et le matériau du remblai - risque d'agressions chimiques, alcaline, microbiologique, etc.).

Le recours au traitement des sols (chaux, ciment, laitier, etc.) devra, pour sa part, faire l'objet d'une attention particulière, vis-à-vis des contraintes de durabilité des géosynthétiques. En effet, le matériau traité constitue un milieu dont le PH est généralement élevé, et peut, de ce fait, provoquer une accélération du vieillissement des éléments de renforcement

6. STABILITE DES REMBLAIS PAR INCLUSIONS GEOSYNTHETIQUE

6.1 Description générale

On peut distinguer deux familles types, les ouvrages en remblai renforcé par des nappes (généralement continues) et les systèmes par bandes, comme pour la Terre Armée.

6.2. Remblai renforcé par nappes géosynthétiques

Ce système correspond à l'utilisation de nappes (généralement continues) de géotextiles ou bien de géogrilles. Outre la nature des nappes, la grande variété de ces ouvrages est principalement liée à la conception du parement.

6.2.1. Nappes retournées en parement

Pour les premières applications, la technologie consistait à empiler des nappes simplement retournées en bord de talus, avec un recouvrement de la nappe supérieure comme le montre le croquis de la figure 3.5. Le retournement peut être fait sur la couche supérieure ou sur la couche inférieure. Le parement était donc constitué de « boudins » plus ou moins réguliers, sans protection, avec d'inévitables problèmes d'esthétique.

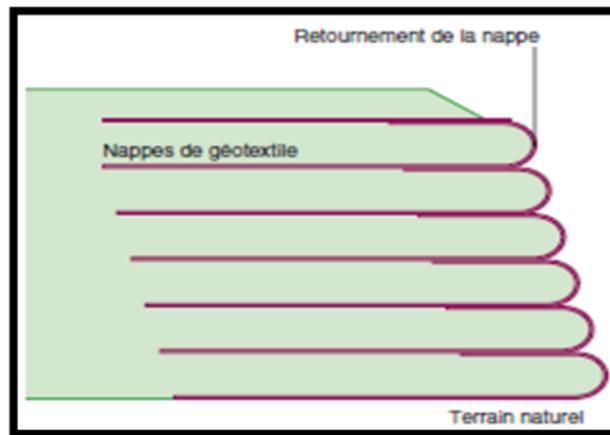


Figure 3.5 Principe des murs en remblai renforcé par nappes avec retournement simple en parement. (LCPC, 2003)

6.2.2. Parement incliné avec dispositif de retenue de terre végétale

Il s'agit du même type de soutènement que précédemment mais, afin d'obtenir une meilleure intégration dans les sites, des dispositifs de retenue de terre végétale sont prévus et l'inclinaison maximale des parements est limitée entre 65 et 70 degrés, pour permettre l'implantation d'une végétation pérenne.

Pour retenir la terre végétale, de nombreux procédés ont été développés. On peut les classer en deux catégories.

Dans une première catégorie (Fig. 3.6), les nappes de géotextiles assurant le renforcement ne sont pas retournées et le parement est constitué d'une géogrille dont la seule fonction est de retenir la terre végétale et permettre l'ensemencement du talus.

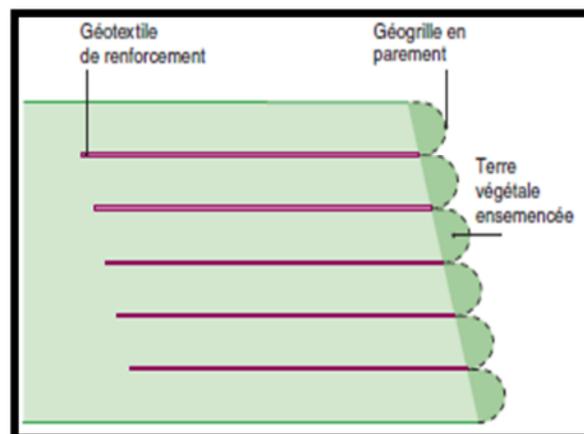


Figure 3.6 Principe d'un ouvrage en remblai renforcé avec parement incliné et végétalisé. (LCPC, 2003)

Une deuxième catégorie prévoit un retournement des nappes et l'accrochage d'un parement (généralement de type cellulaire) rempli de terre végétale (Fig. 3.7).

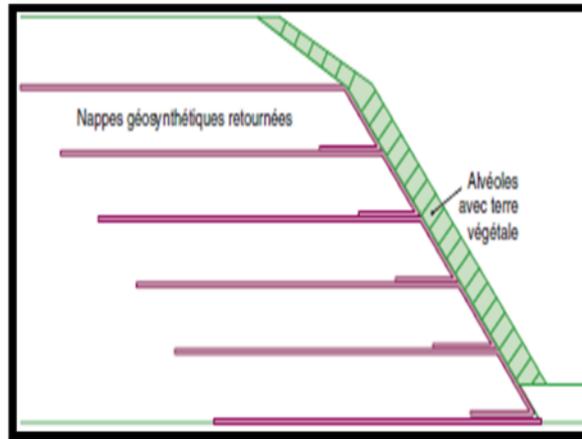


Figure 3.7 Protection de talus avec un dispositif de stockage alvéolaire. (LCPC, 2003)

6.2.3. Avec parement indépendant

Pour résoudre les problèmes d'esthétique et protéger les nappes des agressions externes, en particulier les rayons ultraviolets, la technique EBAL (brevet EBAL - LCPC) qui consiste à mettre en place, à l'avant des nappes géotextiles, des murs préfabriqués en béton armé, a été développée dans les années 1980.

Le premier ouvrage important de ce type a été construit en 1985, sur la route de l'Hospice de France, près de Bagnères-de-Luchon (département de la Haute-Garonne). La figure 3.8 donne une vue du parement et la figure 3.9 rappelle le principe de conception de cet ouvrage.



Figure 3.8 Ouvrage renforcé EBAL-LCPC l'Hospice de France-vue de parement. (LCPC, 2003)

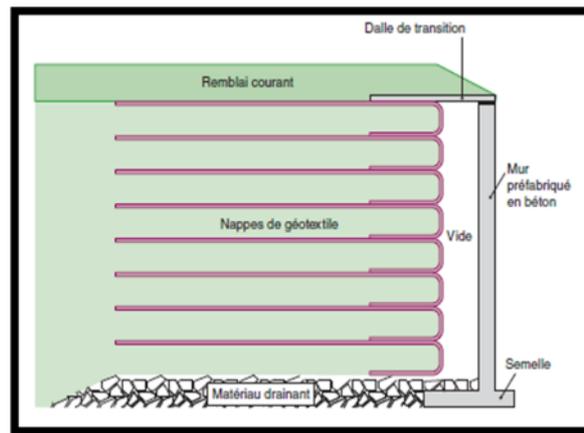


Figure 3.9 Principe d'un ouvrage EBAL - LCPC avec parement dissocié. (LCPC, 2003)

6.2.4. Parement minéral

Le parement minéral le plus fréquent est constitué de gabions. La figure 3.10 rappelle le principe du procédé.

Il existe également d'autres techniques, comme le « Texomur minéral », dont le système de montage permet d'emprisonner de petits blocs rocheux dans une grille métallique galvanisée, disposée en bout des boudins de renforcement.

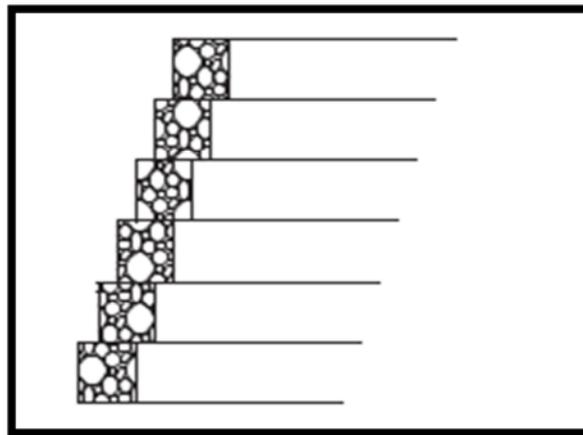


Figure 3.10 Principe de parement minéral de type gabion. (LCPC, 2003)

6.2.5. Parement cellulaire

Le parement est constitué d'un empilement d'éléments préfabriqués en béton. Les nappes sont généralement « pincées » au niveau du parement (Fig. 3.11). Différents procédés de ce type existent et selon les techniques, le fruit du parement varie de 50 à 85 degrés.

Les éléments préfabriqués peuvent être creux et remplis de terre végétale, pour permettre une végétalisation.

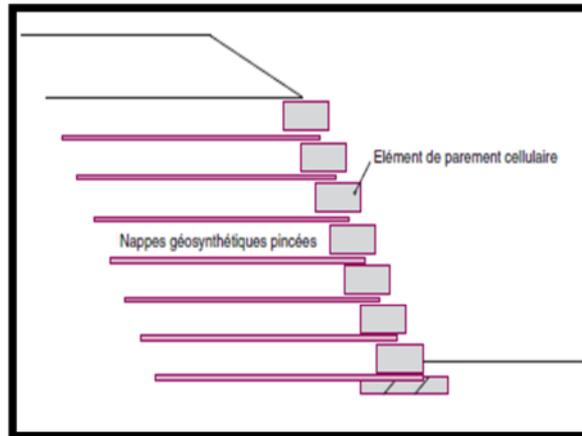


Figure 3.11 Exemple de parement avec empilement d'éléments cellulaires et de nappes pincées. (LCPC, 2003)

6.2.6. Autres parements

Divers parements peuvent également être associés à ce type d'ouvrage, dans le cas des renforcements par nappes.

Il s'agit, par exemple :

- De treillis métalliques,
- De béton projeté,
- D'écaillés en béton (par exemple, procédé Tensar où des géogrilles en géosynthétiques sont accrochées à des écaillés en béton),
- De panneaux de béton de même hauteur que l'ouvrage renforcé, etc.

6.3. Remblai renforcé par bandes géosynthétiques

6.3.1. Parement type écaillés béton

La conception de ce renforcement est assez proche de celle des murs en remblais renforcés par éléments métalliques. Les armatures métalliques sont remplacées par des bandes de polymères constituées de faisceaux de fils de polyester à haute résistance, enrobés dans du polyéthylène qui les protège contre d'éventuels agents agressifs (brevet Freyssisol). Le principal avantage de ce procédé par rapport aux renforcements par éléments métalliques est l'utilisation de matériaux non corrodables.

La figure 3.12 donne un schéma de principe décrivant la disposition de la bande de renforcement.

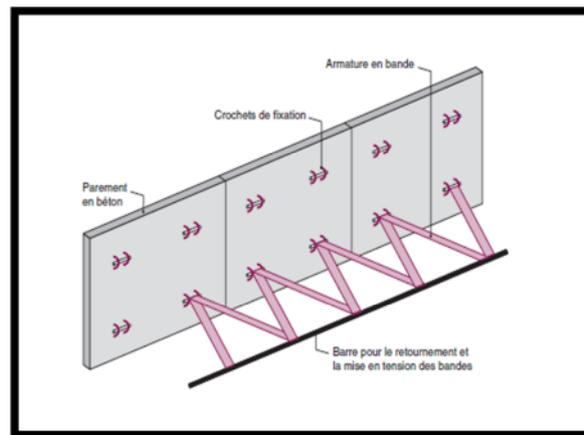


Figure 3.12 Principe des ouvrages en remblai renforcé par bandes géosynthétiques.
(LCPC, 2003)

Le parement est constitué d'écailles préfabriquées en béton armé, généralement en forme de « T », liaisonnées entre elles à l'aide de goujons.

La liaison entre les écailles est assurée par des joints en mousse.

Les bandes géosynthétiques sont liaisonnées au parement par un système de boucles et de goupilles, galvanisées et protégées également par une couche de polyéthylène

6.3.2. Autres parements

Divers parements peuvent également être associés à ce type d'ouvrage, avec renforcements par bandes.

Il s'agit, par exemple :

- Des éléments préfabriqués, végétalisables ou non,
- De panneaux de béton de même hauteur que l'ouvrage renforcé .

7. REMBLAIS SUR SOLS COMPRESSIBLES

La construction de remblais sur sols compressibles constitue un enjeu majeur. Dans ce contexte, l'utilisation de nappes géosynthétiques pour améliorer la stabilité de ces remblais est une des techniques de renforcement de sol parmi les plus efficaces et largement éprouvée.

La mise en œuvre de géosynthétiques choisis à la base des remblais permet de construire des ouvrages dans des conditions géotechniques difficiles :

- sols sensibles [Rowe, 2002] ;
- sols argileux dont la teneur en eau est supérieure à la limite de liquidité [Imanishi et al. 2002] ;

- sols organiques ou tourbeux [Rowe, 2002 ; Herle et Herle, 2002].

7.1. Principales observations réalisées sur des remblais renforcés par géosynthétiques

7.1.1. Hauteur de remblai

Le renforcement par géosynthétique de la base des remblais permet de réaliser des remblais de hauteur supérieure à la hauteur de rupture sans renforcement [Rowe, 2002]. Effet de la vitesse de construction du remblai

Rowe (2002) recommande de ne pas dépasser $B_{max} = 0,34$, où B_{max} est le rapport de la surpression interstitielle Δu à l'augmentation de contrainte $\Delta \sigma$ qui la crée. Une étude aux éléments finis a dès lors permis à Rowe et Soderman (1985, 1986) de définir des abaques comme celui présenté en Figure.3.2 qui permet, dans le cas d'une couche de tourbe d'épaisseur donnée reposant sur un substratum ferme, de déterminer rapidement la raideur minimale nécessaire pour le renforcement permettant de réaliser un remblai de hauteur h et de poids volumique γ .

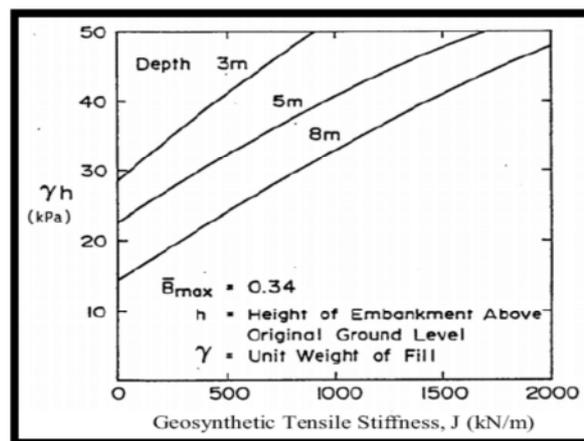


Figure 3.13 Abaque de dimensionnement d'un remblai sur tourbe construit avec $B_{max} = 0,34$ (Rowe, 2002)

7.1.2. Efforts mesurés dans le renforcement

En cours de construction, les efforts mesurés en place dans le renforcement sont généralement faibles par rapport aux résultats du dimensionnement [Rowe, 2002].

A long terme par contre, après la fin de la construction, la traction admissible dans le géotextile diminue généralement du fait du fluage du produit. Abramanto et al. (2002) ont considéré un renforcement par géosynthétique polyester ou polyoléfine (c'est-à-dire toute matière sauf polyester). Leur étude a montré que la diminution des caractéristiques du géosynthétique du fait du fluage était plus faible dans le cas du polyester que dans tous les autres cas (Fig. 3.14).

D'autres causes de la diminution de la résistance du géotextile à long terme sont plus difficiles à prendre en compte : endommagement à la pose du géosynthétique, attaques chimiques ou biologiques (cités par [Abramento et al, 2002 ; Rowe, 2002]).

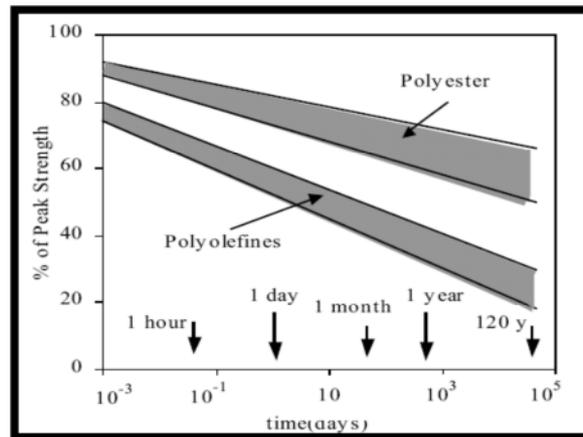


Figure 3.14 Diminution de la résistance par fluage pour les renforcements géosynthétiques (Abramento et al, 2002)

7.1.3. Déformations mesurées dans le renforcement

Les différents auteurs s'accordent par ailleurs sur le fait que les déformations dans le renforcement pendant la construction du remblai restent très faibles par rapport aux valeurs données par les calculs [Rowe, 2002 ; Heber, 2002].

Dans le cas du remblai de Strazny et Heber (2002) donnent un allongement mesuré de 0,2 %, alors que le géotextile était dimensionné pour un allongement de 5 % à l'effort de traction maximal.

Pour expliquer ces écarts, Rowe (2002) évoque des méthodes de calcul conservatrices, une mauvaise représentativité de la valeur de la cohésion non drainée ou encore les coefficients de sécurité. Après la fin de la construction, les déformations dans le renforcement augmentent du fait du fluage du géosynthétique ou du sol de fondation. Le fluage du géosynthétique dépend évidemment de la matière qui le constitue.

7.1.4. Mode de pose du géosynthétique

Rowe (2002) a montré que le renforcement de la base d'un remblai par deux nappes géosynthétiques peu espacées est équivalent à la mise en œuvre d'une seule nappe de raideur double. En outre, la présence d'une croûte sur consolidée en surface nécessite l'augmentation de la raideur du renforcement.

Imanishi et al. (2002) évoquent les modes de pose des géogrilles. Outre la pose classique (désignée par EMG pour Embankment Method on very soft ground with Geogrid) qui consiste à mettre en œuvre le remblai sableux en couches minces, ils

proposent deux méthodes originales appliquées pour des voies temporaires sur des argiles très molles :

- Mise en place d'une poche de sable par poinçonnement à l'intérieur d'une poche formée par la géogrille (Fig. 3.15), notée GRM (pour Geogrid Replacement Method) ;
- Pose flottante de la géogrille (Fig. 3.16), notée GFM (pour Geogrid Floating Method).

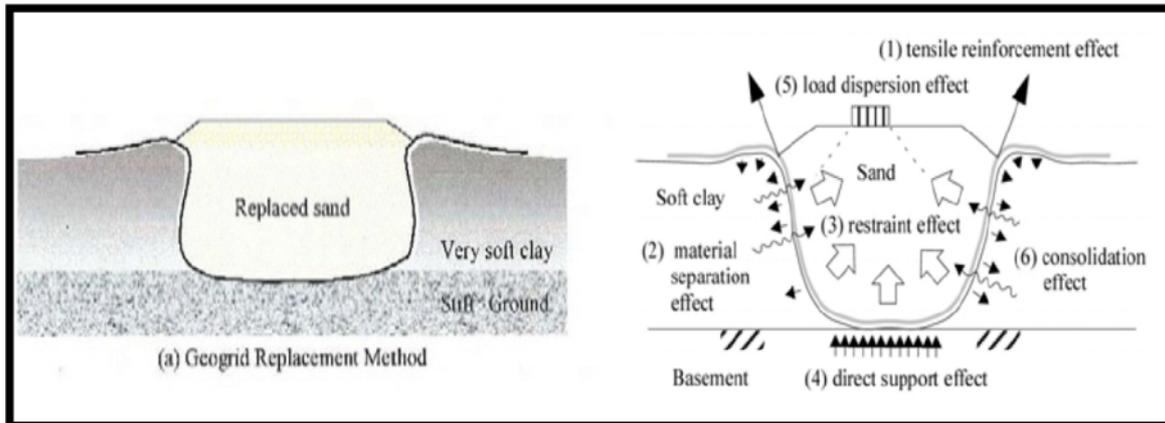


Figure 3.15 Renforcements apportés par la géogrille dans le cadre de la méthode GRM (Imanishi et al, 2002)

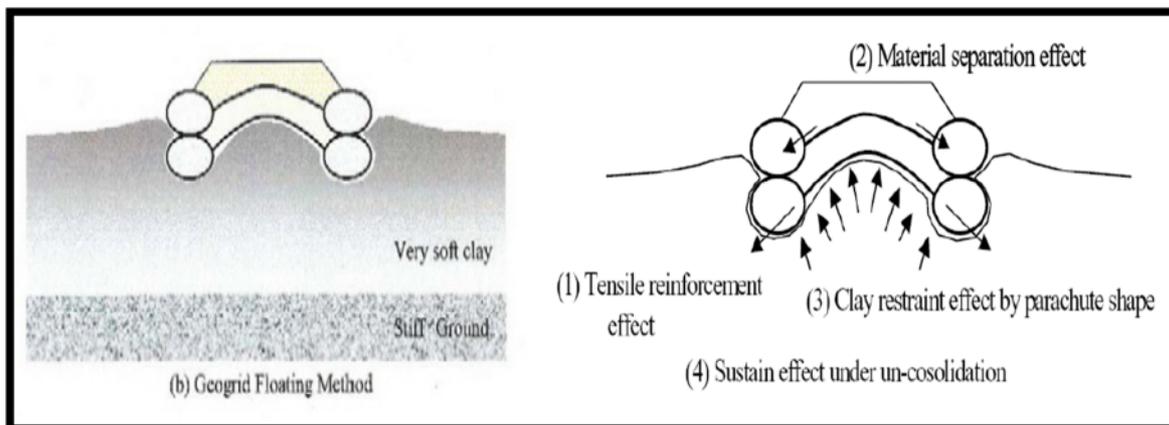


Figure 3.16 Renforcements apportés par la géogrille dans le cadre de la méthode GFM (Imanishi et al, 2002)

Le phasage de réalisation du remblai est le suivant dans le cadre de la méthode GRM :

- Mise en œuvre manuelle de la géogrille ;
- Attache de différentes bandes ;
- Remblaiement de sable sur la géogrille. Le sable chasse alors sous son poids propre l'argile et forme peu à peu une poche à l'intérieur de la géogrille,

jusqu'au sol ferme. Cela finit donc par créer une substitution complète des sols compressibles dans l'emprise du remblai.

- La méthode GFM se met en place comme suit :
- La géogridde et deux contrepoids constitués par des sacs de sable ou de boue sont posés sur le sol compressible ;
- Lorsque la stabilité est atteinte, le tassement des contrepoids provoque le développement d'un effet parachute par la géogridde. On met alors en œuvre le remblai par couches fines. Une nouvelle nappe de géogridde avec contrepoids est éventuellement disposée si une instabilité apparaît.

Dans le cas où le renforcement géosynthétique seul est insuffisant, le renforcement par inclusions rigides et plate-forme de transfert de charge peut être utilisé. Des pieux préfabriqués ou une technique d'amélioration des sols peuvent être employés.

8. MISE EN ŒUVRE

8.1. Principes généraux

Les particularités et notamment le mode de fonctionnement des massifs renforcés par des nappes géotextiles impliquent de manière générale :

- Une mise en prétension des nappes au moment de leur recouvrement par les matériaux de remblai
- Un compactage soigné du matériau de remblai et tout particulièrement à proximité du talus et du parement.
- La protection et, si nécessaire, l'aménagement décoratif de la partie visible des nappes sur les talus par tout procédé approprié.
- La mise en œuvre de dispositions constructives particulières permettant d'assurer le respect de la géométrie des talus avec celle définie dans les plans d'exécution.

8.2. Règle pratique de mise en œuvre

Les principes généraux applicables à l'ensemble des massifs renforcés par nappes de géotextiles se traduisent en un certain nombre de règles pratiques de mise en œuvre, dont les principales sont énoncées ci-après.

8.2.1. Pose et raccordement des nappes

Les plates-formes recevant les nappes doivent être compactées, nivelées et débarrassées de tout élément susceptible d'endommager les nappes (par poinçonnement ou déchirure) lors de leur étalement, positionnement et prétention.

Les nappes sont étalées sur la plate-forme par déroulement des rouleaux, découpées à la longueur (ou éventuellement par déploiement de panneaux pré-cousus) en vérifiant systématiquement la conformité au plan de pose de la mise en place réelle. Un soin particulier sera apporté à la vérification du sens de traction effective du géotextile, et à son accord avec le dimensionnement.

Lorsque la géométrie du massif renforcé est telle que les tensions induites dans les nappes peuvent être considérées comme unidirectionnelles, le raccordement entre deux nappes adjacentes -disposées parallèlement à la direction des tensions peut se faire:

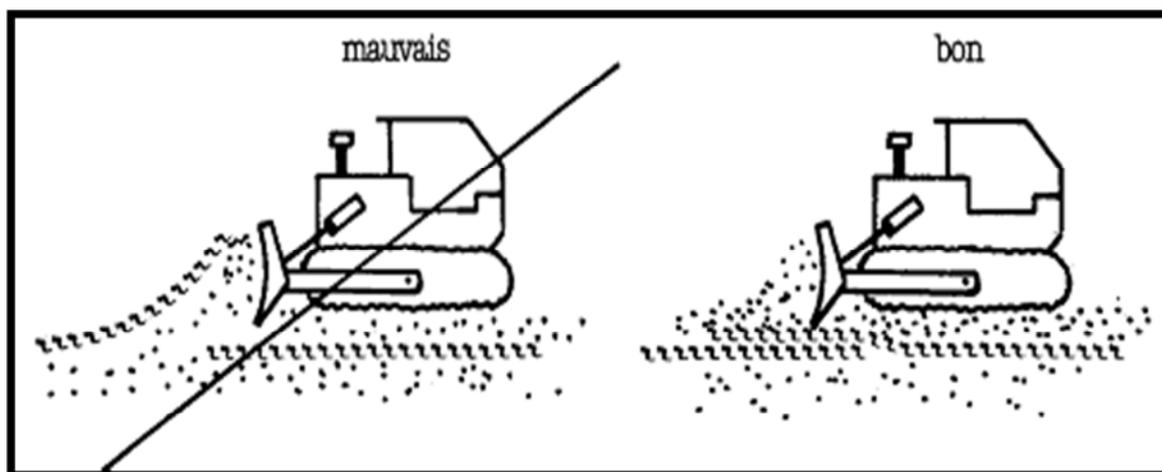


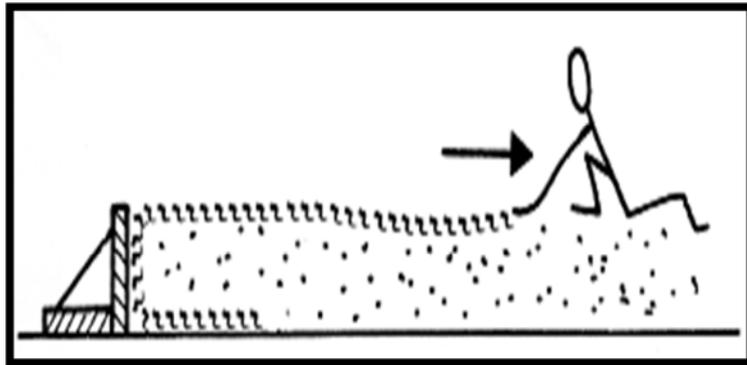
Figure 3.17 Influence du sens de remblaiement sur l'ordre de recouvrement des nappes.
(CFDGEG, 1990)

8.2.2. Mise en prétention des nappes

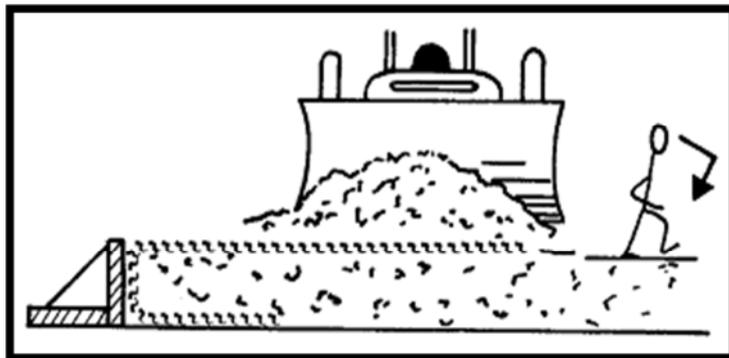
La prétention des nappes doit se faire en même temps que le réglage. Elle peut être réalisée commodément par deux ou trois ouvriers qui progressent d'une nappe à l'autre au fur et à mesure que la prétention est maintenue par le dépôt d'un cordon de matériaux.

- Mise en place de la nappe (figure 3.18 (a))
- Régalage et compactage de la couche de sol (figure 3.18 (a))
- Étalement de la nappe et application de la prétention (figure 3.18 (b))

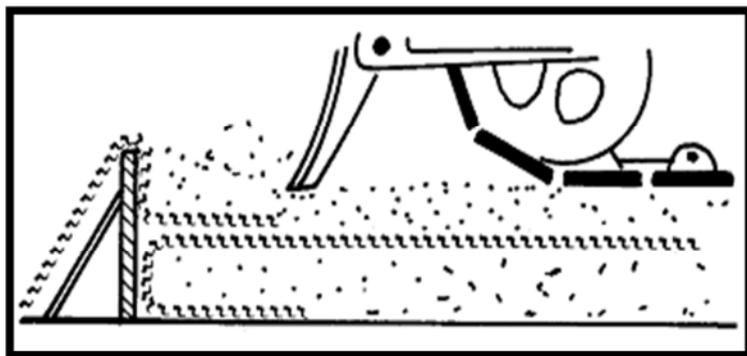
- Blocage de la prétention manuelle par un cordon de matériau et progression de l'ouvrier vers le point de prétention suivant (figure 3.18 (b))
- Passage à la mise en œuvre de la couche suivante (figure 3.18 (c))



(a)



(b)



(c)

Figure 3.18 Mise en prétention des nappes. (CFDGEG, 1990)

9. PRINCIPAUX PROCÉDES PERMETTANT DE GARANTIR LA BONNE EXECUTION DES TALUS DES OUVRAGES RENFORCES

9.1. Cas des massifs renforcés à talus peu inclinés (Pente inférieure à 1/1)

Pour ces ouvrages, la pente du talus n'étant pas sensiblement supérieure à l'angle du talus naturel, il n'est plus nécessaire en général de prévoir un dispositif de soutènement particulier du talus de chaque couche durant son réglage et surtout son compactage.

Hormis le cas des talus de faible pente (jusqu'à $\text{tg } \beta = 1/2$) où les nappes peuvent être simplement étalées sur la plate-forme une fois celle-ci nivelée et compactée il est recommandé d'enfermer le matériau du bord de talus dans la nappe en la repliant sur le talus (figure 3.19).

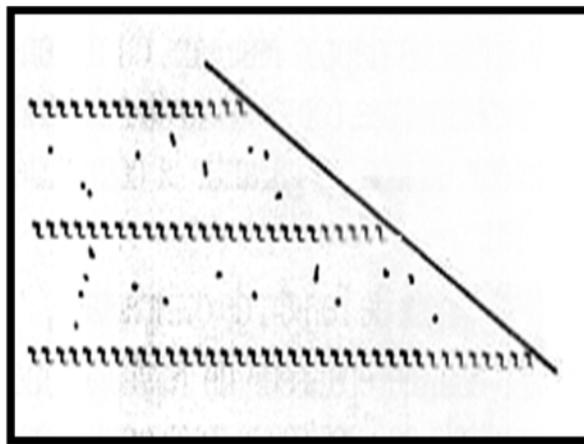


Figure 3.19 Cas des talus de faible pente $\text{tg } \beta < 1/2$. (CFDGEG, 1990)

Lorsque l'engazonnement sur terre végétal des talus de pente $\text{tg } \beta = 1/1$ est prévu, il y a lieu d'assurer la stabilité de la terre végétale vis-à-vis de son glissement le long du talus. Ceci peut être réalisé en intercalant à la mise en œuvre entre deux (ou plusieurs) nappes de renfort un géotextile adéquat qui assure la fois le confinement du matériau en bord de talus et la retenue de la terre végétale (figure 3.20).

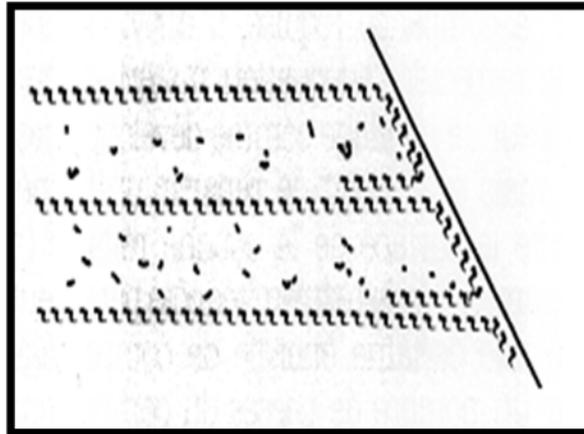


Figure 3.20 Cas des talus de pente moyenne $tg \beta \approx 1$. (CFDGEG, 1990)

9.2. Cas des massifs à talus très incliné (pente comprise entre 1/1 et 1/4)

Pour ces ouvrages, il est indispensable d'utiliser un procédé approprié permettant de soutenir le talus de chaque couche élémentaire au cours du compactage et du régalage.

Plusieurs procédés ont déjà été proposés:

a) Procédés utilisant un élément de coffrage perdu constitué par:

- des gabions géotextiles remplis de sable ou graviers disposés parallèlement au talus avant la mise en œuvre de chaque couche (figure 3.21). Jusqu'à présent les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant des gabions géotextiles réalisés avec des conteneurs cubiques ou parallélépipédiques servant à la manipulation et au transport de produits.

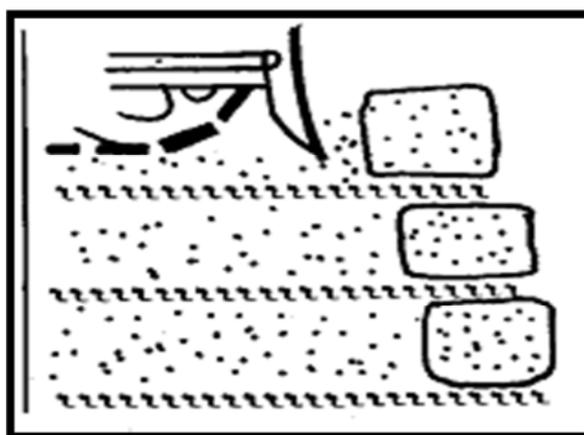


Figure 3.21 Procédés de coffrage perdu par gabions géotextiles. (CFDGEG, 1990)

- un merlon de matériau sol-fibre, mis en œuvre préalablement au régalage et compactage de chaque couche (figure 3.22).

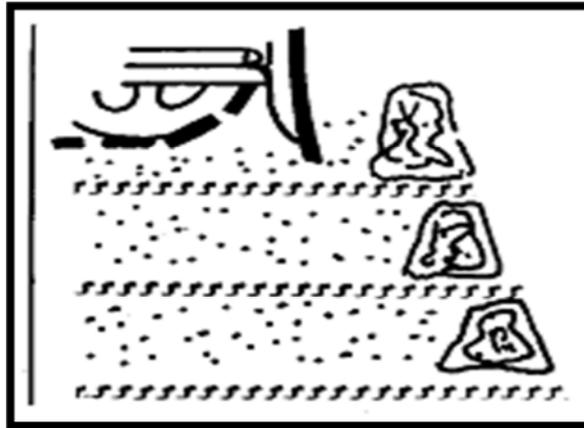


Figure 3.22 Procédés de coffrage perdu par un merlon de matériau sol-fibre.
(CFDGEG, 1990)

- des éléments rigides, notamment en béton, disposés parallèlement à la crête du talus avant la mise en œuvre de chaque couche (figure 3.23).

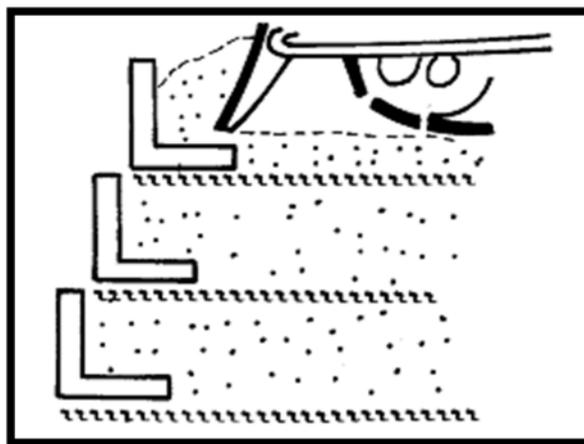


Figure 3.23 Procédés de coffrage perdu par des éléments rigides. (CFDGEG, 1990)

b) Procédés utilisant un système de coffrage rigide amovible.

Il s'agit le plus souvent de panneaux montés en chaise dont, la partie horizontale s'appuie sur l'extrémité de la couche précédemment mise en œuvre. Cette chaise est maintenue en position durant la mise en œuvre de la couche par un système approprié telle qu'une sangle perdue ancrée dans le massif et reliée à un tendeur (figure 3.24).

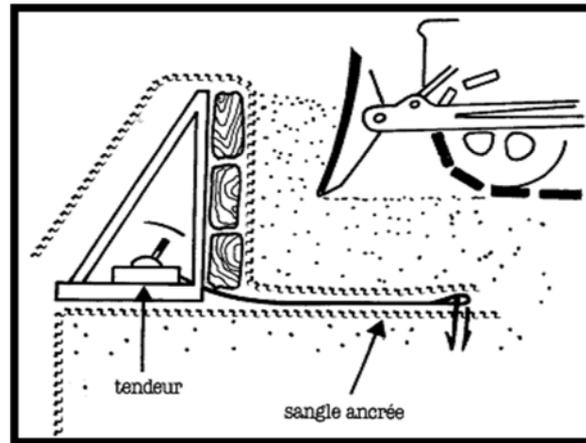


Figure 3.24 Procédés de coffrage rigide amovible. (CFDGEG, 1990)

Un treillis métallique soudé plié à l'angle de talus désiré et sur lequel vient s'appuyer la partie retournée de la nappe de géotextile durant le remplissage.

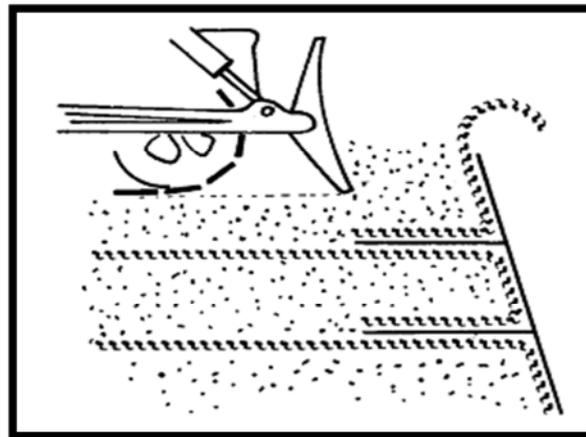


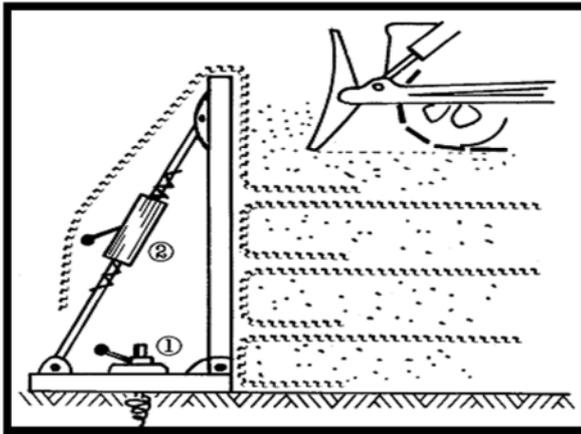
Figure 3.25 Procédés de coffrage à un treillis métallique. (CFDGEG, 1990)

9.3. Cas des massifs à talus vertical ou quasi-vertical

Pour ces ouvrages, Il est recommandé d'utiliser un dispositif de coffrage rigide s'appuyant sur une base de référence géométrique stable pour encaisser la poussée exercée par le poids des terres et l'action des compacteurs sur une hauteur équivalente à au moins une épaisseur inter-nappe du massif renforcé.

9.3.1. Cas des massifs de faible hauteur (< à 2 m)

Le coffrage et la base géométrique peuvent être confondus dans un même dispositif. Il s'agit en fait d'étendre à des hauteurs allant jusqu'à 2 m le principe de la chaise d'appui développé en « 9.2 b » ci-avant (figure 3.26).



1-dispositif d'ancrage du coffrage

2-dispositif de réglage de la verticalité

Figure 3.26 Procédés de coffrage rigide (< à 2 m). (CFDGEG, 1990)

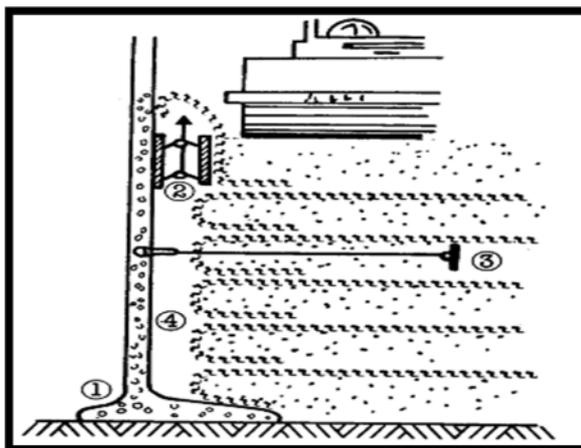
Au-delà de 2 m de hauteur, ce procédé peut se révéler souvent mal adapté: éléments de coffrage trop volumineux engendrant des efforts sur le sol trop importants, coût prohibitif.

9.3.2. Cas des massifs de hauteur supérieure à 2 m

Pour ces ouvrages, Il est souhaitable de dissocier la base d'appui et le dispositif de coffrage, de manière à minimiser les efforts auxquels elle est soumise durant la construction du massif renforcé.

Principalement deux types de procédés ont été développés dans ce sens:

a) Le premier procédé utilise une référence géométrique permanente (qui fera partie de l'ouvrage), constituée par un mur en béton armé préfabriqué: ou autre matériau dimensionné pour résister seulement au moment fléchissant produit lors de la mise en œuvre de la couche inter-nappe la plus haut (éventuellement pour les ouvrages les plus élevés le moment fléchissant pourra être repris à mi, voire au tiers; de la hauteur par des tirants sangles... ancrés dans le massif renforcé).



1- voile constituant la référence géométrique

2- dispositif de coffrage rétractable

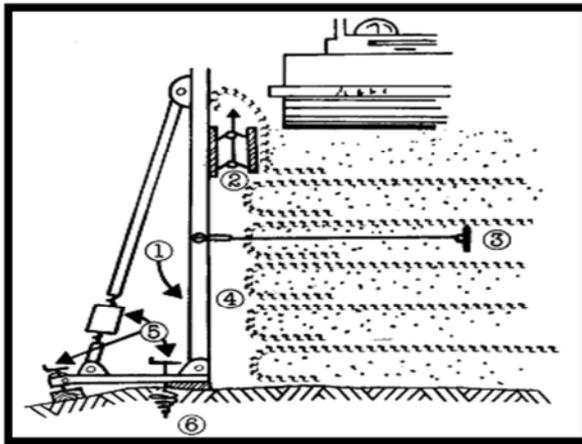
3- tirant ancré dans le massif (éventuel)

4-espace vide non comblé après construction

Figure 3.27 Procédés de coffrage rigide (> à 2 m). (CFDGEG, 1990)

b) Le second procédé reprend les principes du précédent mais en adoptant une référence géométrique amovible, destinée à être retirée après construction de l'ouvrage et réutilisée pour d'autres.

Le dispositif de coffrage associé à ce procédé est identique à celui décrit précédemment (figure 3.28).



- 1- mât inclinable constituant une référence géométrique
- 2- dispositif de coffrage rétractable
- 3- tirant ancré dans le massif (éventuel)
- 4- espace vide non comblé après construction
- 5- réglages de positions
- 6- ancrage du mât

Figure 3.28 Procédés de coffrage rigide (> à 2 m). (CFDGEG, 1990)

10. ENTRETIEN ET REPARATION

10.1. Entretien courant

L'entretien courant des ouvrages en remblai renforcé par géosynthétiques consiste dans les opérations suivantes :

- Enlèvement de la végétation nuisible,
- Débouchage des drains,
- Nettoyage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux,
- Entretien de la végétation, dans le cas des parements végétalisés.

10.2. Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé concerne essentiellement la protection du parement (végétalisé, en éléments préfabriqués, etc.) et l'amélioration des dispositifs d'évacuation des eaux de surface.

Dans le cas des parements végétalisés, il pourra être nécessaire de faire appel à un spécialiste qui proposera des techniques de remise en végétation et de nouveaux choix de végétaux en fonction des échecs antérieurs.

10.3. Réparations

Tous les projets de réparation envisagés après le diagnostic devront faire l'objet d'une étude au cas par cas par un spécialiste. En fonction des problèmes posés, du type d'ouvrage et de l'environnement, les techniques pourront être très différentes. Les principales réparations que l'on peut être amené à effectuer sur un ouvrage en remblai renforcé par géosynthétiques peuvent être classées en fonction de l'importance de l'emprise disponible devant le parement.

Il s'agit essentiellement :

- De la mise en place d'un remblai de butée contre le parement,
- De la construction d'ouvrage de soutènement, à l'aval ou contre le parement (mur en béton armé, empilement d'éléments préfabriqués, gabions, etc.),
- De l'installation de parois et voiles ancrés,
- D'un renforcement par clouage (pour des parements à écailles + bandes),
- De la restauration de la structure à partir d'éléments rapportés, en cas d'altération locale (chocs, incendie),
- Du rétablissement des fonds devant l'ouvrage en cas d'affouillements, et de la mise en place de dispositifs anti-affouillements (enrochements, gabions, etc.).

11. CONCLUSION

Ces dernières années, l'utilisation des géosynthétiques en Génie Civil a connu un développement considérable, grâce surtout à un coût de fabrication bas et une méthode d'emploi relativement facile, permettant un domaine d'utilisation large et varié. A la multicité des produits géotextiles qui sont proposés par les producteurs correspond une multicité de techniques d'utilisation où le géotextile remplit plusieurs rôles à la fois.

Dans ce chapitre, les principaux rôles des géotextiles et les techniques d'utilisation les plus courantes ont été présentées. Le renforcement des sols par géotextiles dans le cas des murs de soutènement, des talus, des remblais multicouches et des remblais sur des sols de fondation mous présente beaucoup d'avantages, ainsi que la mise en œuvre des massifs renforcés par des nappes géotextiles.

Chapitre 4

SIMULATION AVEC LE CODE PLAXIS

1. INTRODUCTION

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

Une analyse numérique bidimensionnelle par PLAXIS de deux modèles de pente 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 la caractéristique mécanique des géosynthétiques.

2. ETUDE DU PREMIER MODELE

2.1. Présentation

La voie express Bou Ismail- Cherchell, d'une longueur de 48 km, qui va permettre d'assurer une meilleure fluidité du trafic routier en particulier sur les RN 11 et 67, pour améliorer les conditions de circulation.

Le modèle concerne un remblai en pente au niveau de la voie express. La grande hauteur de ce remblai fait que sa stabilité n'est pas assurée et qu'un renforcement doit être assuré. (Fig. 4.1).



Figure 4.1 Vue sur la zone du remblai

Dans la zone d'étude l'identification du sol support est une étape primordiale pour l'étude de stabilité de l'ouvrage, on doit caractériser le sol support afin de comprendre son comportement lors du chargement, et vérifier les déformations que peut engendrer la mise en place du remblai et les possibilités de rupture.

La solution préconisée par la société GEOCONSEIL Engineering consiste à la construction d'un remblai de nappes de géotextiles sur une distance du PK 22+725 au PK 22+825, d'où la pente du parement est subdivisée en deux parties.

Le levé piézométrique indique que la nappe phréatique remonte durant l'hiver jusqu'à environ 7m de profondeur ce qui n'influe pas sur les remblais et n'a pas de même une grande influence sur le comportement du sol support.

Le modèle du terrain proposé est composé de quatre couches de sol, incluant dans la partie supérieure, un remblai et une couche d'argile sableuse et deux couches de marne compacte dans la partie inférieure comme le montre la figure 4.2.

2.2. Caractéristiques géométriques

Le profil à analyser est montré sur la figure 4.2 et les coordonnées des points sont présentées sur le tableau 4.1.

Tableau 4.1 Coordonnées des points (modèle 1)

Point	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X[m]	0	117,8	117,8	117,8	117,8	105,8	101,18	81,96	76,84	59,09	31,21	16,86	8,5	0	14,47
Y[m]	0	0	8	13,14	18,76	23,44	23,44	33,44	33,44	43,69	43,69	36,32	35,32	39,15	33,47
Point	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
X[m]	33,74	31,93	31,36	30,86	28,34	27,04	26,24	25,65	23,02	22,56	20,92	0	13,14	25,06	9,00
Y[m]	23,21	36,09	39,51	48,86	58,80	96,40	76,80	81,20	86,90	93,40	99,20	32,92	103,8	0	103,18

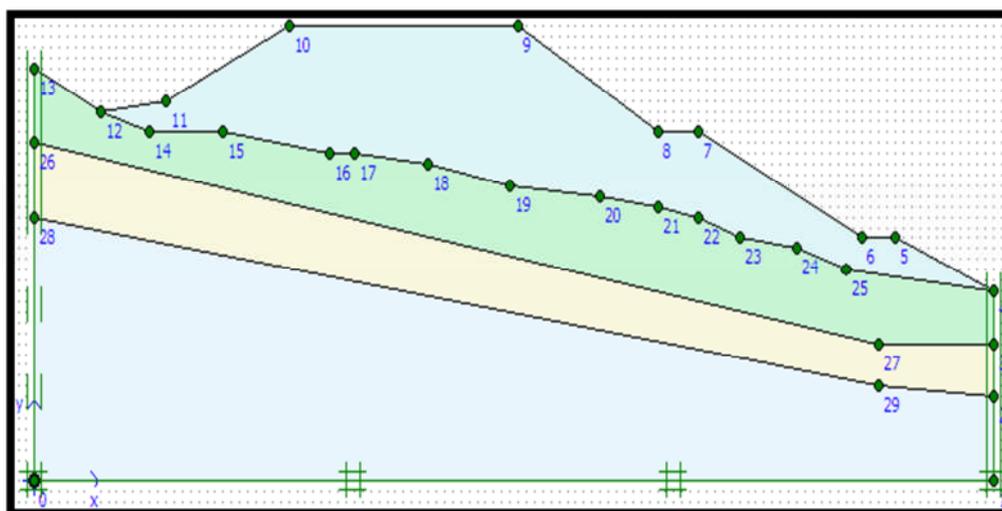


Figure 4.2 Géométrie du model analysé

2.3. Propriétés des couches de sols

On va adopter le modèle de couche qui va être utilisé lors de l'étude du sol support et l'analyse de stabilité globale.

Les propriétés des couches de sol, et leurs types, sont présentés dans le tableau 4.2.

Les données à introduire dans notre étude sont des résultats des essais géotechniques réalisés. Les données qui nous manquent sont prises de la bibliographie.

Tableau 4.2 Les caractéristiques géotechniques (modèle 1)

Couche	γ_h (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C (Kpa)	ϕ (°)	ν	E (kN/m ²)
Remblai	20	19	10	20	0,39	70000
Argile sableuse	19	15	55	07	0,25	29500
Marne compacte	20	16	99	11	0,23	30400
Marne compacte	23	21	99	15	0,30	7565

3. MODELISATION

Pour mieux étudier le comportement de notre remblai, des analyses statique et dynamique ont été élaborées pour examiner le coefficient de sécurité. On a pensé qu'il serait plus judicieux d'analyser en prenant en compte l'influence des espacements entre les nappes des géotextiles afin d'optimiser économiquement.

3.1. Avant renforcement (cas statique)

La première analyse a été faite sur notre modèle sans tenir compte du séisme et les résultats obtenus sont illustrés sur les figures qui suivent :

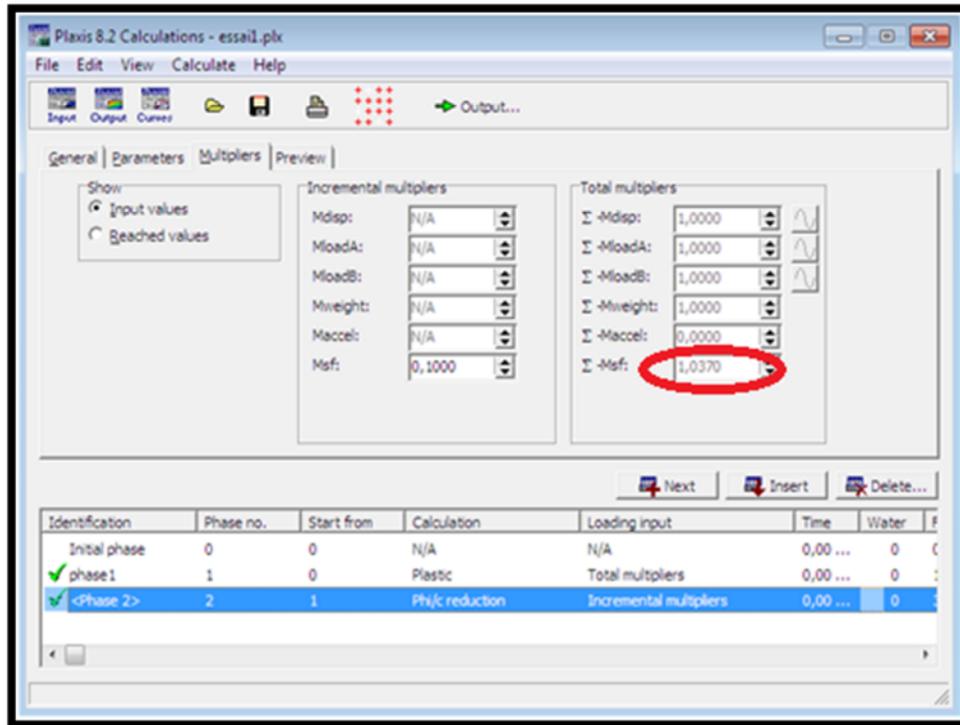


Figure 4.3 Valeur du coefficient de sécurité

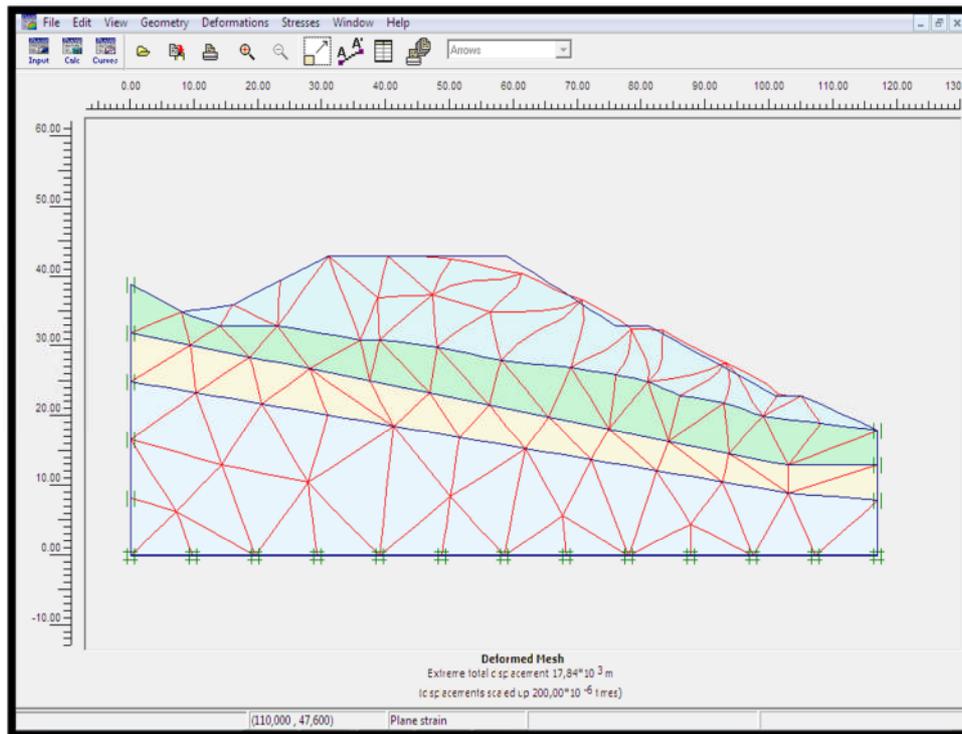


Figure 4.4 Déformation du massif après rupture

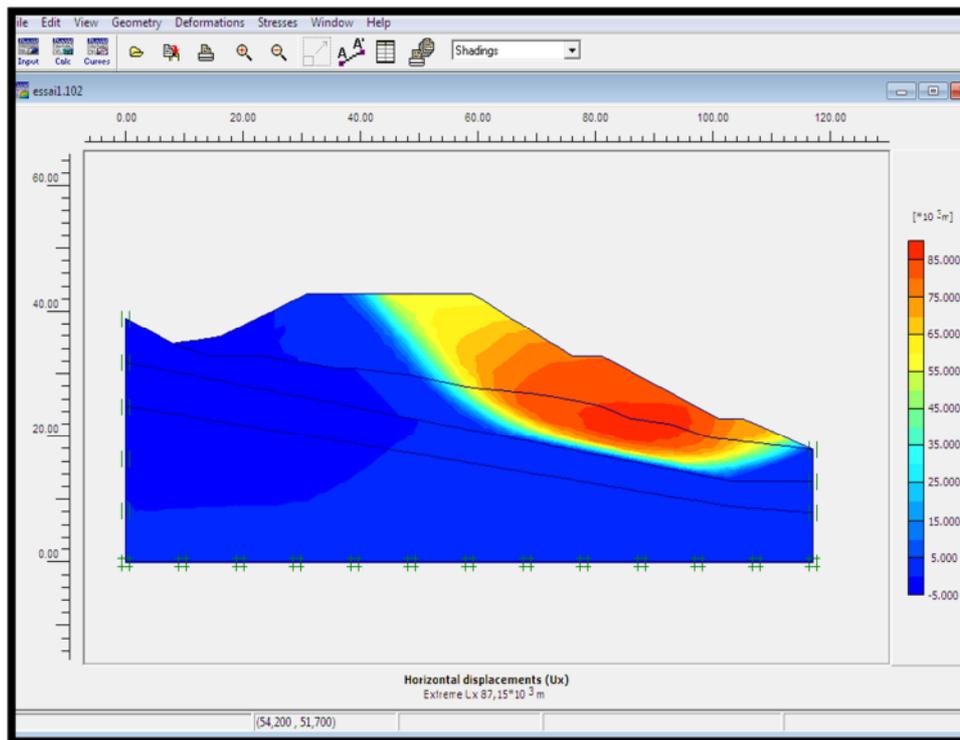


Figure 4.5 Masse susceptible au glissement

On remarque que le coefficient de sécurité est inférieur à 1,5 d'où la stabilité du talus est compromise.

3.2. Avant renforcement avec séisme (cas dynamique)

D'après le zonage sismique du territoire Algérien élaboré par le CRAAG (centre de recherche en astronomie et astrophysique et géophysique), notre modèle est situé dans une zone sismique élevée, d'où l'introduction de l'effort sismique au niveau de la modélisation devient indispensable.

Dans ce cas la force sismique est incluse comme une force pseudo-statique afin de voir son influence sur la stabilité du remblai avec une valeur d'accélération sismique horizontale $kH = 0,1g$.

Les résultats obtenus sont présentés sur les figures suivantes.

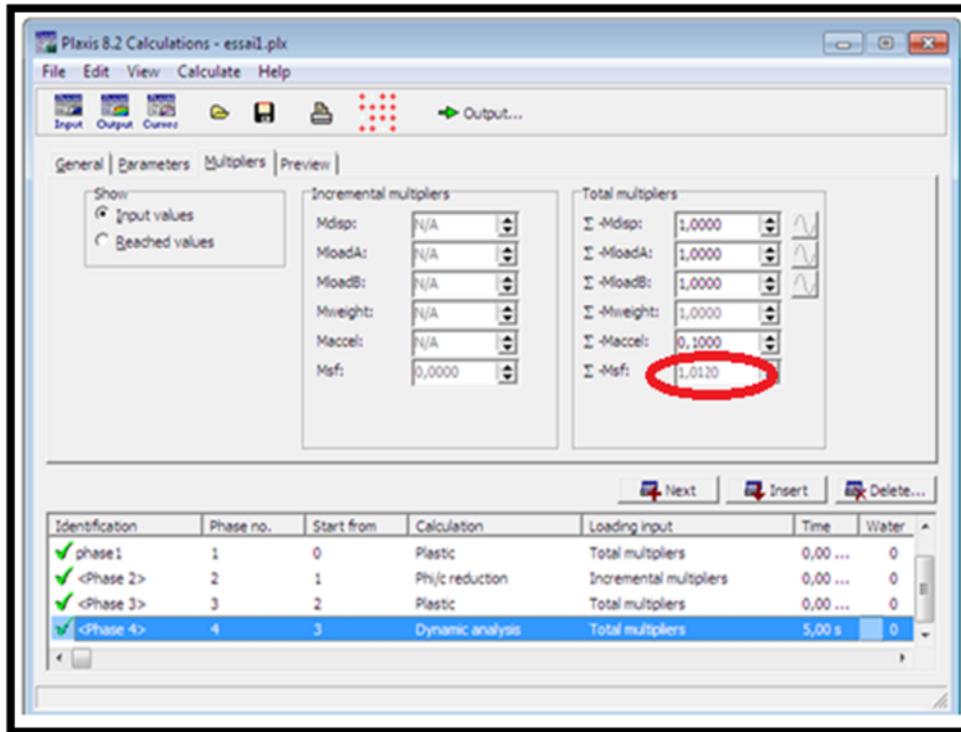


Figure 4.6 Valeur du coefficient de sécurité ($k_H=0,1$)

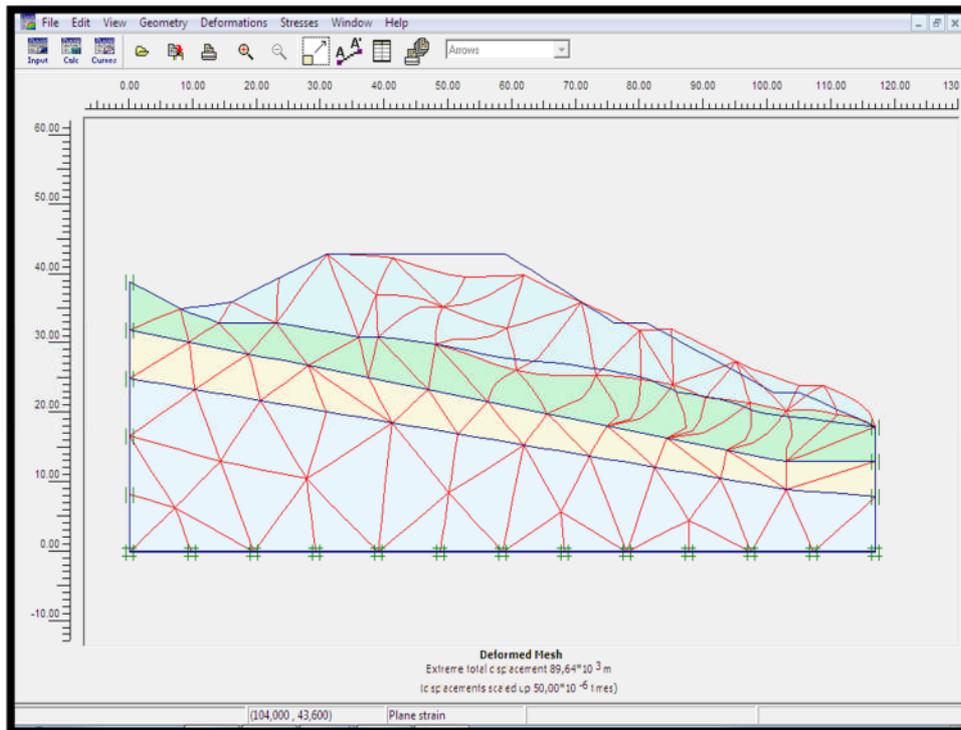


Figure 4.7 Déformation du massif après rupture

Après les résultats obtenus on peut observer que si le séisme est introduit dans l'analyse, le facteur de sécurité diminue et le risque de glissement augmente. Dans

ce cas, il est à prévoir un système de renforcement pour réduire voire éliminer ce risque.

3.3. Après renforcement avec les géosynthétiques (cas dynamique)

La solution technique, retenue pour stabiliser ce glissement est la mise en œuvre d'un remblai armé par des nappes de géotextiles, paraît être une des meilleures solutions puisque le secteur de l'étude c'est des grands remblais sur des sols compressibles qui présentent de problèmes de stabilité liés à ces derniers et voir l'influence de l'espacement entre les géosynthétiques.

Les géotextiles sont caractérisés par leur module de Young ($E = 220 \text{ kN/ml}$).

Dans un premier temps on va inclure les géosynthétiques avec un espacement de 1 m et le diminuer, dans un deuxième temps, afin de voir son influence sur la stabilité du remblai et parvenir à une solution optimale du côté économique.

3.4. Espacement entre géosynthétiques

La géométrie du talus utilisée est la même que précédemment avec un espacement entre les nappes des géotextiles de 1 m.

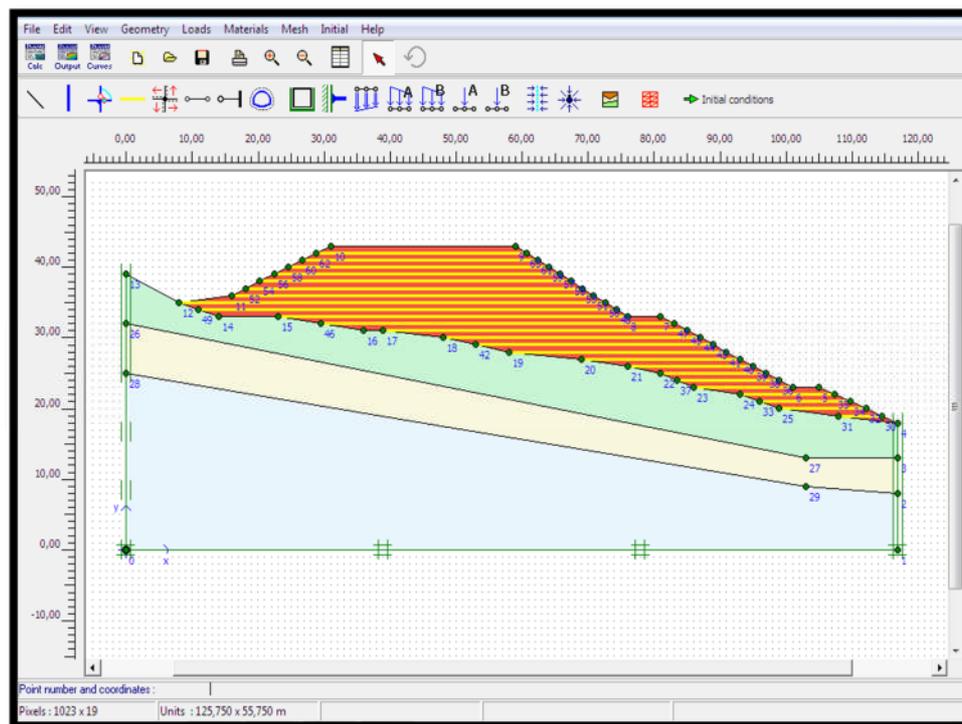


Figure 4.8 Disposition des nappes géotextiles (espacement = 1 m)

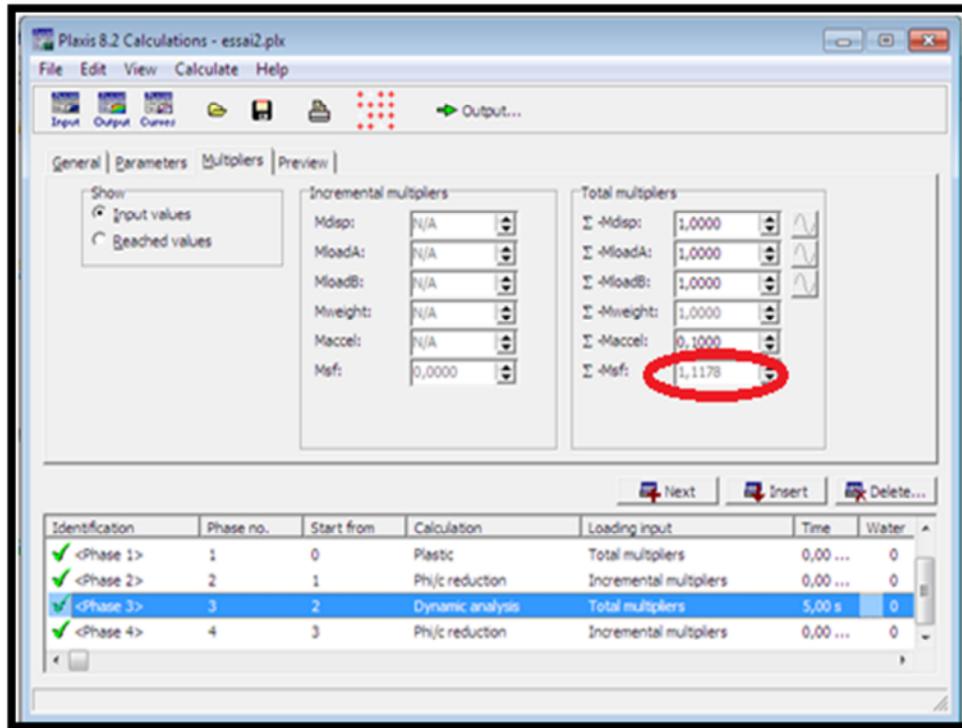


Figure 4.9 Valeur du coefficient de sécurité

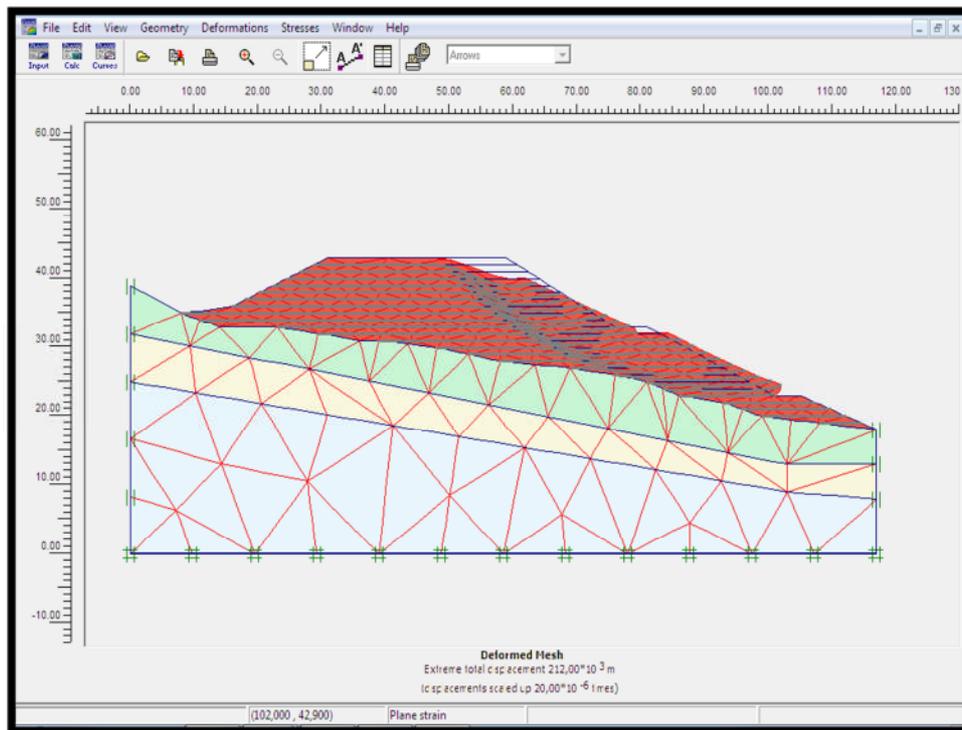


Figure 4.10 Déformation du massif après rupture

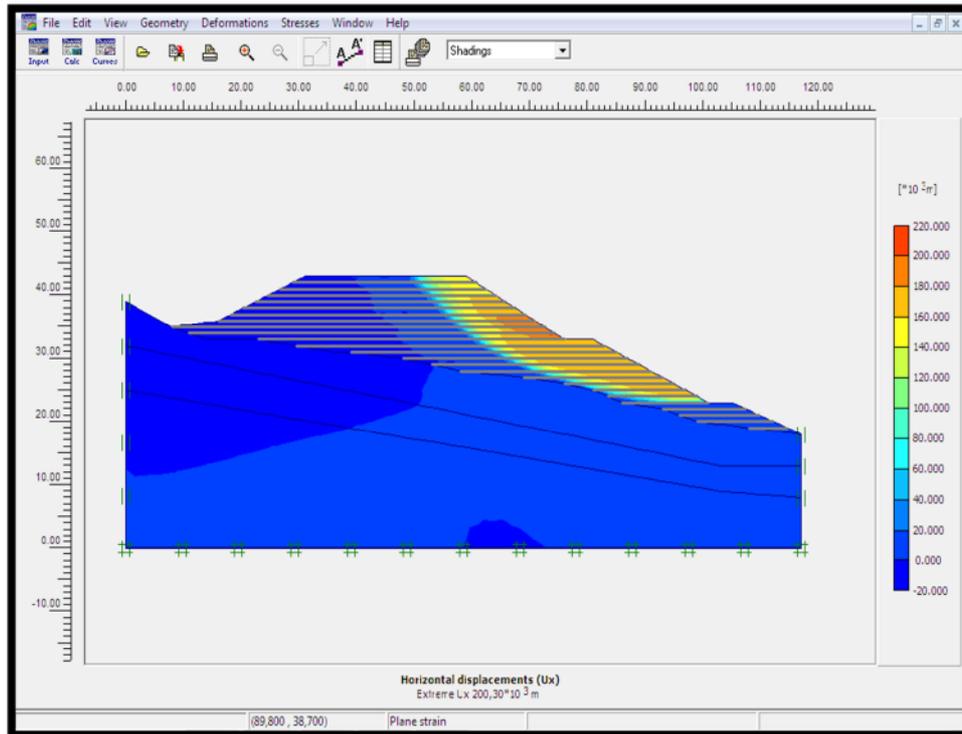


Figure 4.11 Masse susceptible au glissement indiquée par les contours des déplacements horizontaux ($k_H=0,1$)

Un espacement de 0,8 m pour les nappes géotextiles.

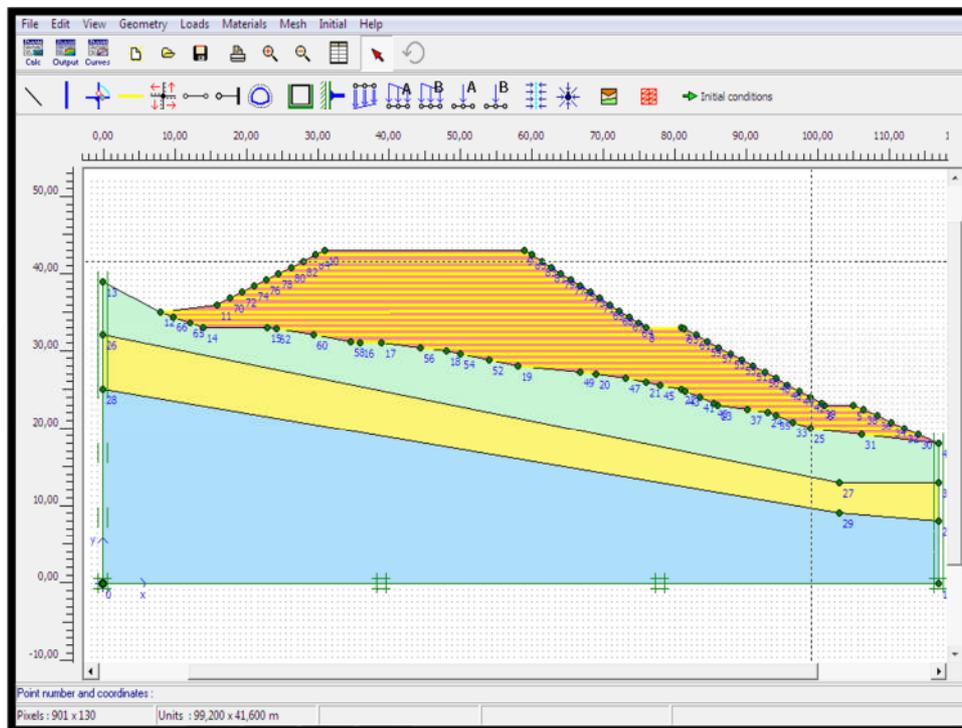


Figure 4.12 Disposition des nappes géotextiles (espacement = 0,8m)

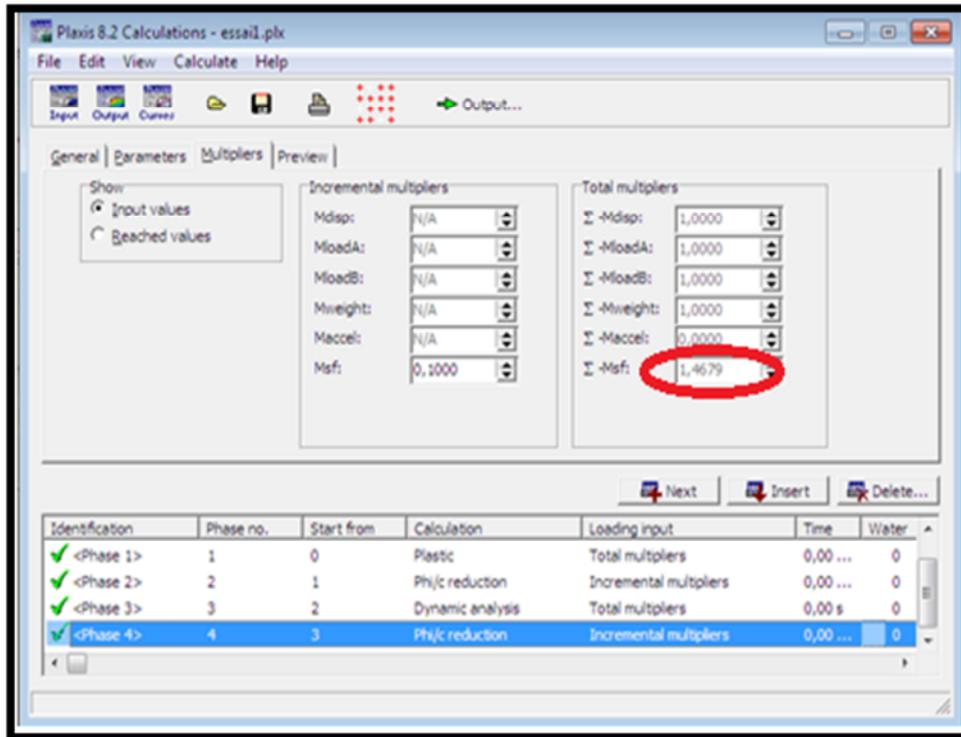


Figure 4.13 Valeur du coefficient de sécurité

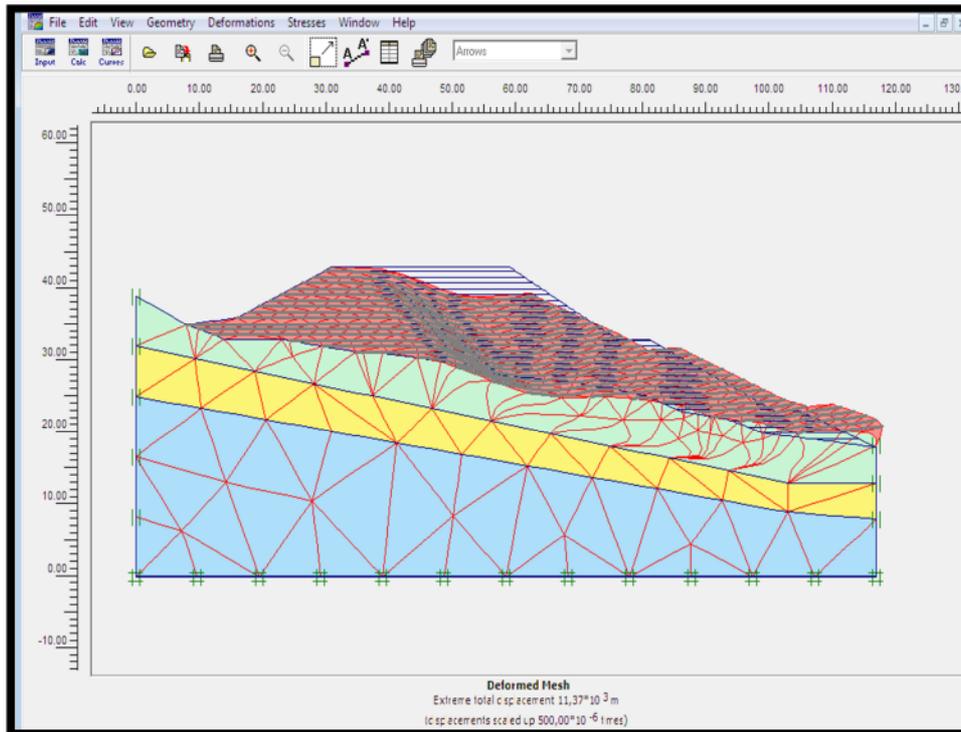


Figure 4.14 Déformation du massif après rupture

Un espacement de 0,5m pour les nappes géotextiles.

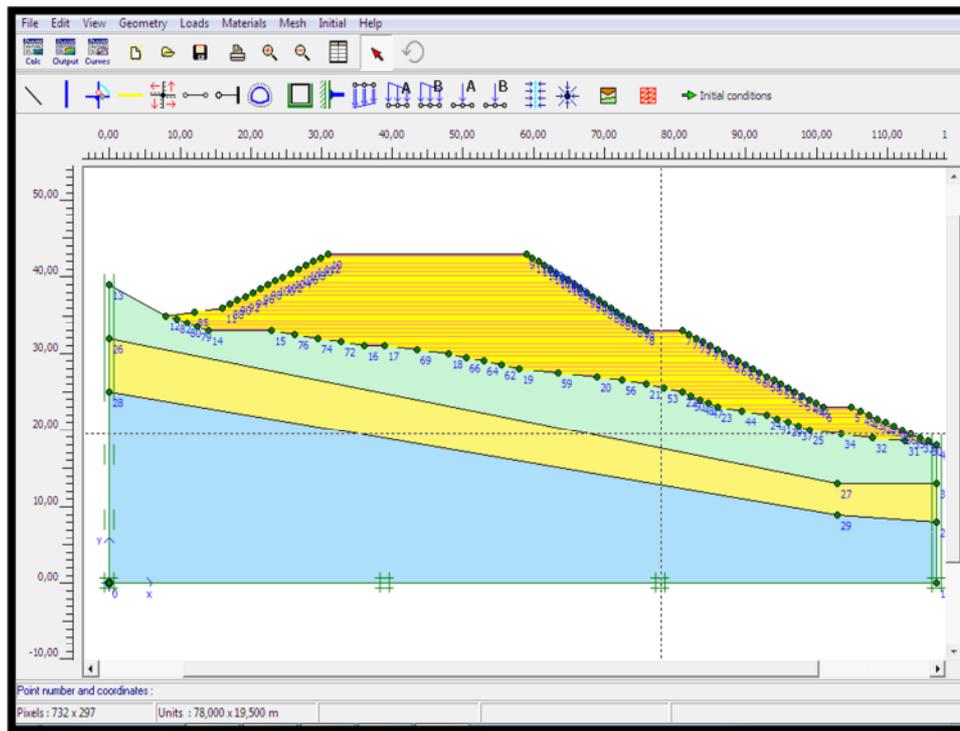


Figure 4.15 Disposition des nappes géotextiles (espacement = 0,5m)

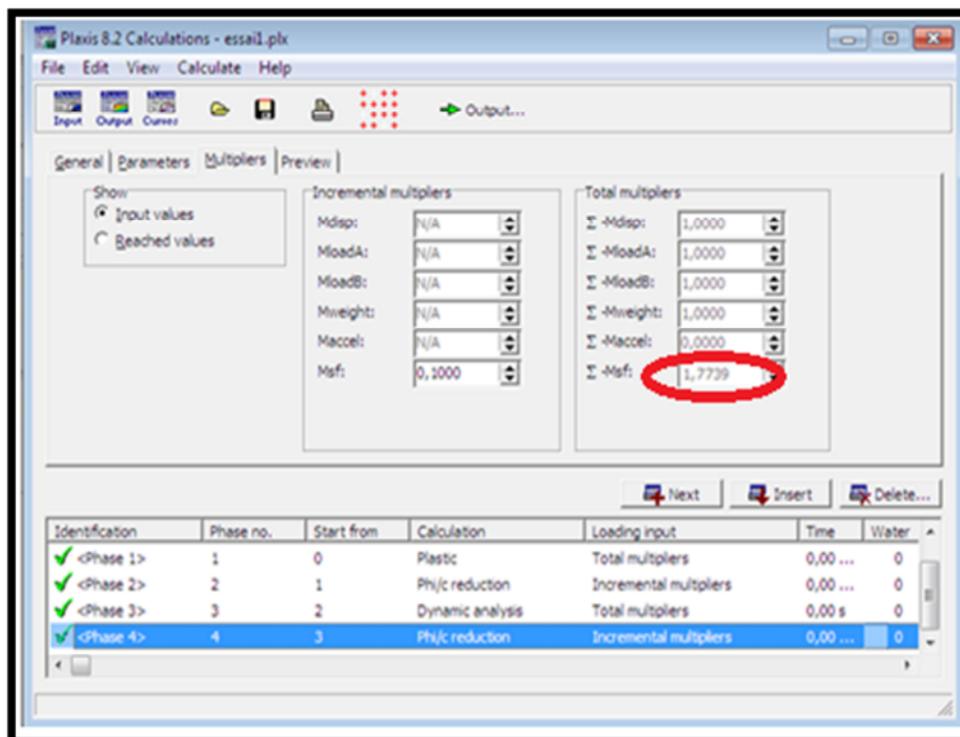


Figure 4.16 Valeur du coefficient de sécurité

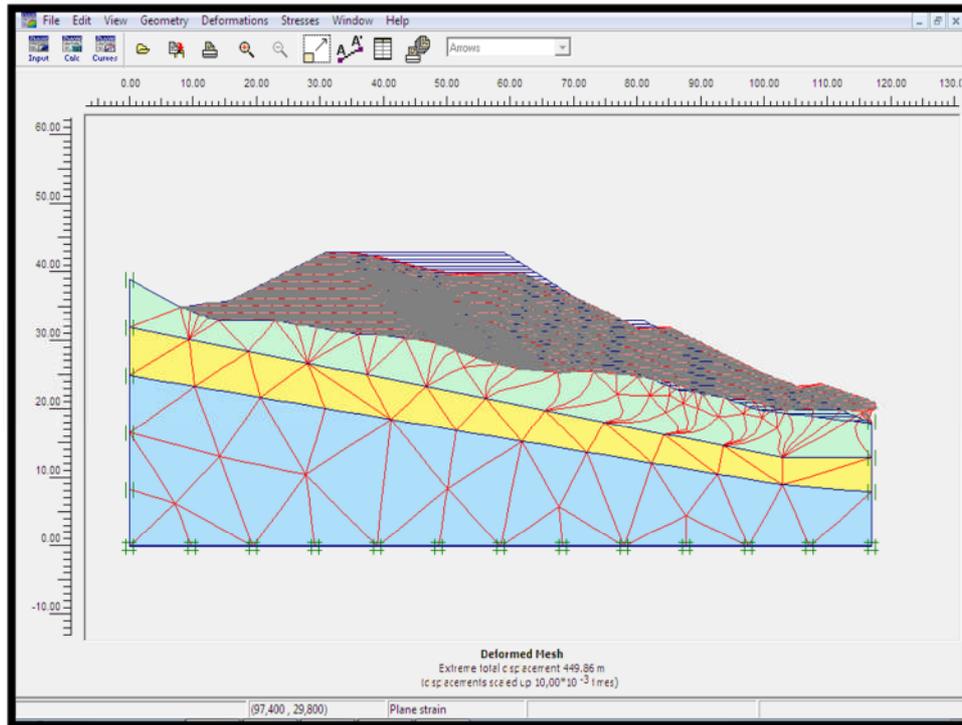


Figure 4.17 Déformation du massif après rupture

Le choix de quatrième cas de figure (Fig. 4.18) en ce qui concerne l'espacement et la position des géosynthétiques est inspiré du modèle tel qu'il a été trouvé dans la littérature.

Il nous a été judicieux de modéliser suivant ce cas de figure afin de comparer avec les solutions concernant l'espacement proposées précédemment :

- Un espacement de 0,8m pour les nappes sous chaussée
- Un espacement de 0,5m pour les nappes médiane et inférieure

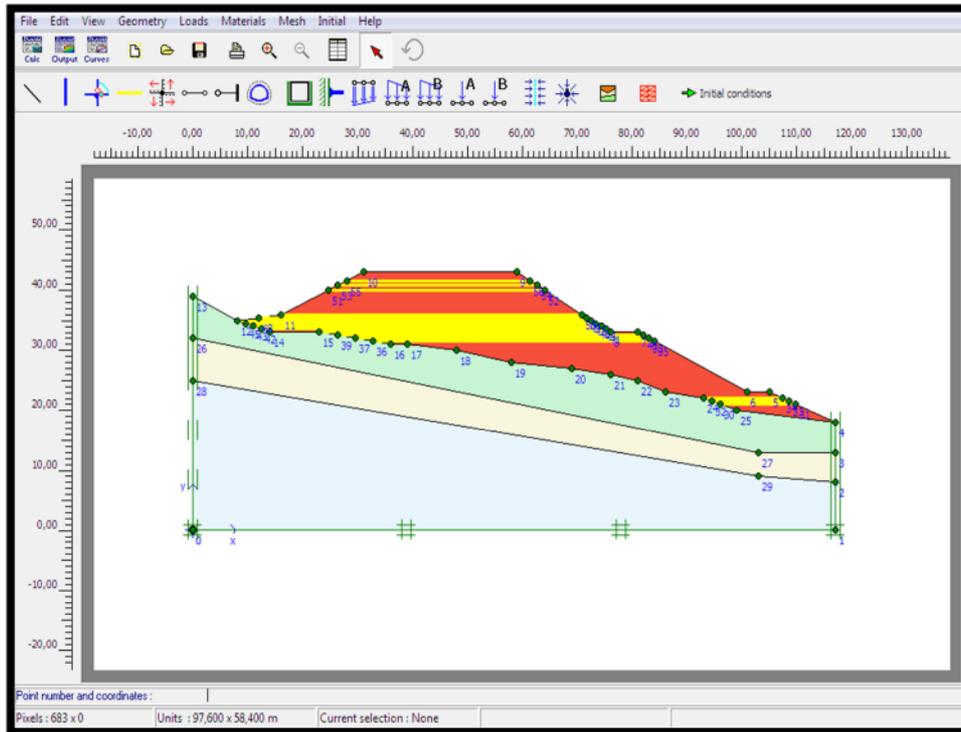


Figure 4.18 Disposition des nappes géotextiles

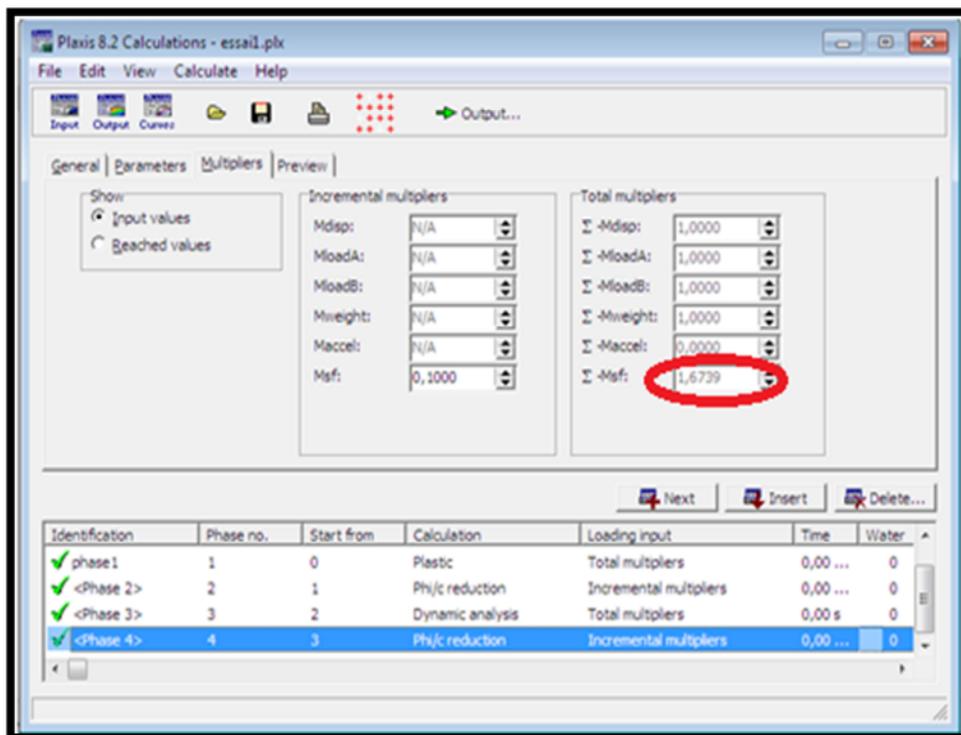


Figure 4.19 Valeur du coefficient de sécurité (après renforcement)

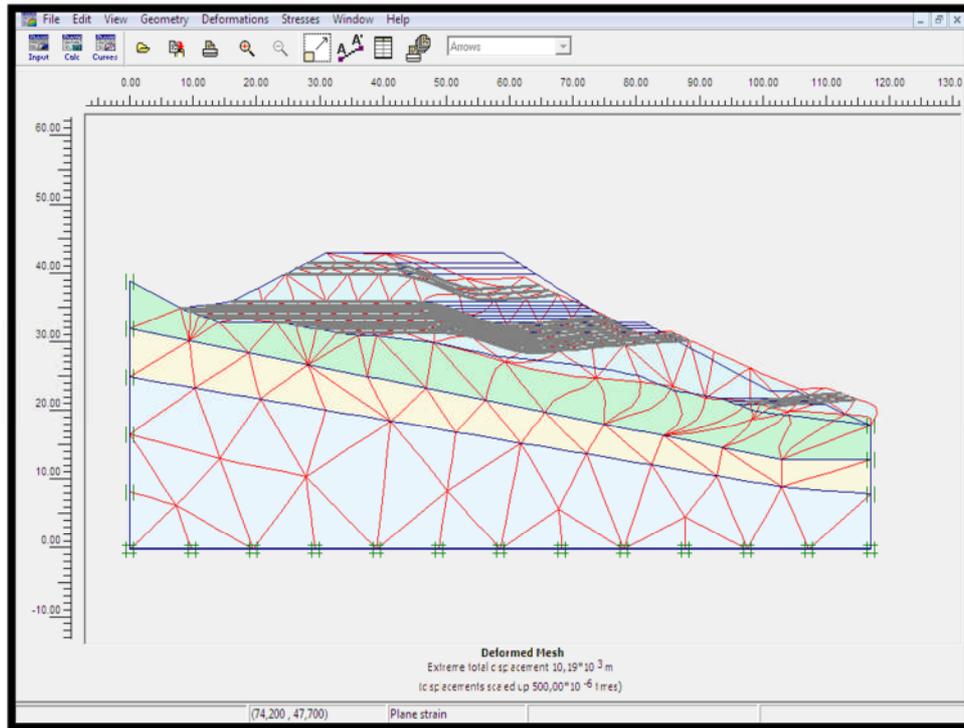


Figure 4.20 Déformation du massif après rupture

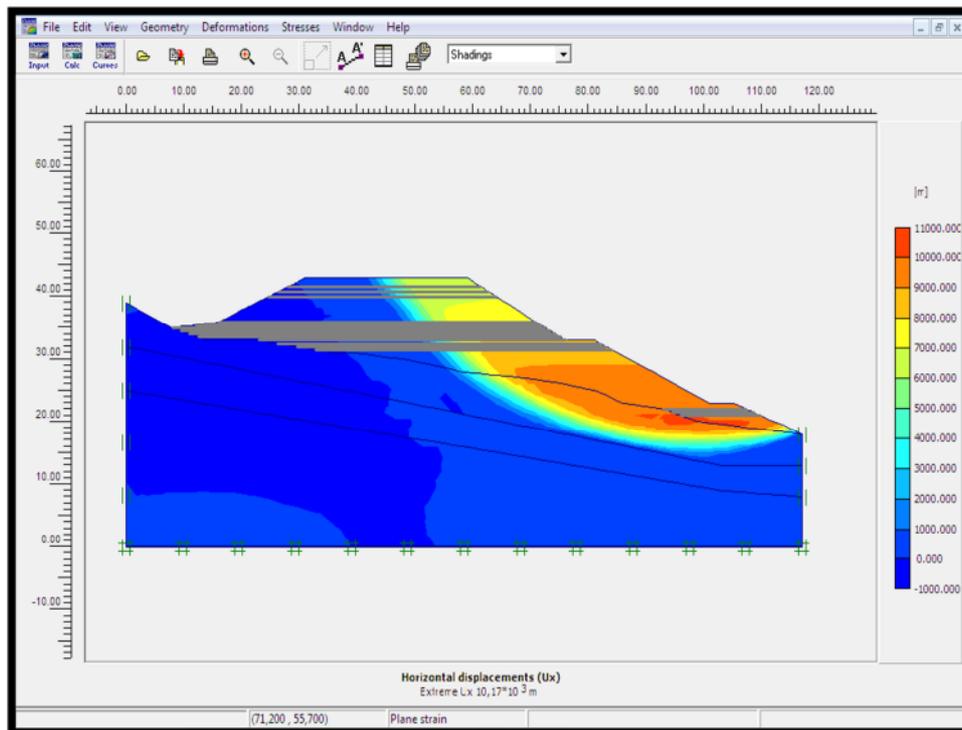


Figure 4.21 Masse susceptible au glissement indiquée par les contours des déplacements horizontaux ($k_H=0,1$)

Après comparaison des résultats pour différents espacements et cas de figure. Ceci peut justifier que le dernier cas c'est le meilleure choix qu'on peut prendre comme

une solution adéquate, afin d'assurer la stabilité de notre remblai et pour pouvoir économiser le plus possible sur les quantités des géotextiles.

Les résultats obtenues montrent que plus l'espacement entre nappes géotextiles augmente le coefficient de sécurité diminue.

Donc notre sol il a besoin d'être renforcé par un nombre nécessaire de nappes de géotextiles. Ce qui implique que l'espacement entre les nappes des géotextiles influe sur le coefficient de sécurité.

Les calculs effectués montrent qu'il existe un nombre minimal de nappes nécessaire au bon fonctionnement de l'ouvrage. Il est par conséquent préférable d'utiliser des nappes peu espacées dans des points différentes que des nappes fortement espacées sur toute la hauteur du remblai.

4. ETUDE DU DEUXIEME MODELE

4.1. Présentation

Le site concerné par la présente étude se situe au Nord de la ville de Mostaganem, à environ 1km sud de l'actuel rivage de la mer. Plus précisément, au niveau du chemin communal reliant la RN11 au quartier des Plateaux.

Le site concerné par la présente étude intéresse la partie effondrée sur 31 mètres linéaires du chemin communal reliant la RN11 au quartier des plateaux se résumant à la demi-chaussée droite donnant sur le talus.



Figure 4.22 Vue sur la zone de glissement



Figure 4.23 Photo de satellite de la zone de glissement

Le site est caractérisé par une morphologie de falaise à profil pratiquement vertical, d'environ 30m de hauteur et à composante géologique hétérogène, dont le contact marnes/grès ou sable est souligné le plus souvent par une surface très irrégulière.

L'analyse du site a permis de distinguer des chutes de blocs gréseux et des écroulements de sables. Ces deux phénomènes correspondent aux processus de dégradation, dont l'origine est dépend d'un certain nombre de facteurs, et plus particulièrement de la morphologie (talus subvertical), de la structure géologique (type de faciès) et de l'altération et à la fissuration des grès soumis également à l'influence des conditions climatiques (pluviométrie) ou d'origine anthropique (caniveau obstrué). Les caractéristiques spécifiques de ce type de versants qui pouvant engendrer des mouvements de chute de blocs ou d'effondrements.

L'effondrement a touché la partie en remblai du profil mixte de la chaussée y compris l'épaisseur du grès sous-jacente à la suite du renversement à ce niveau du vieux mur de soutènement fait en maçonnerie de pierres calcaires provoqué par l'infiltration dans le corps de chaussée des eaux de pluie mal drainées à travers les fissures assez béantes existantes surtout en partie amont de la bande effondrée.

Ce qui a poussé à opter pour une solution assez pratique à ce cas. La solution en question concerne toujours la réalisation d'un mur de soutènement en béton armé dont le radier reposera sur la formation marneuse par le biais d'une série de semi pieux à réaliser manuellement avec un ancrage minimal dans la marne de l'ordre de 2 à 3 \emptyset , dans l'alignement de l'ancien mur.



Figure 4.24 Série de pieux forés

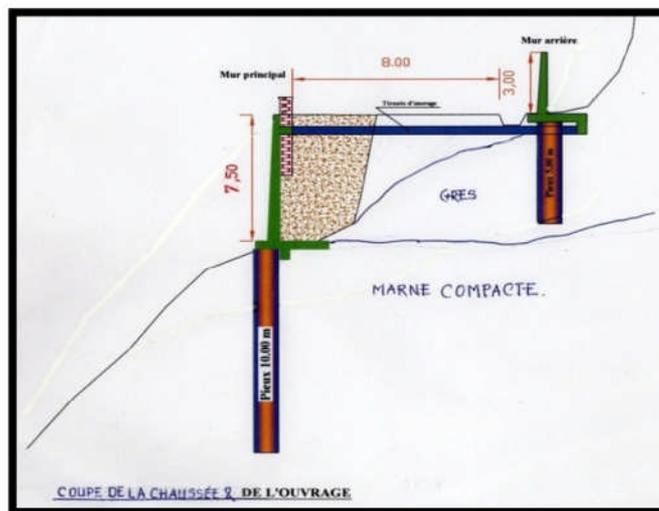


Figure 4.25 Ouvrage achevé

4.2. Caractéristiques géométriques

Le profil à analyser est montré sur la figure 4.26 et les coordonnées des points sont présentées sur le tableau 4.3.

Tableau 4.3 Coordonnées des points (modèle 2)

Point	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X[m]	0	38	38	28,46	28,46	27,00	25,40	24,33	22,00	19,53	17,93	16,46	09,33	06,73	04,26
Y[m]	0	0	25,33	24,33	22,50	20,33	20,00	18,66	17,83	17,83	13,50	12,50	12,00	10,57	06,16
Point	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
X[m]	02,13	19,00	20,33	22,46	23,93	26,20	29,83	38,00	30,73	05,79	18,80	14,20	12,00	10,00	08,05
Y[m]	03,33	12,00	12,50	12,50	12,00	12,83	14,16	15,00	25,33	08,60	12,10	20,00	16,00	16,00	11,29

Le modèle du terrain proposé est composé de trois couches de sol, une couche de remblai et une couche de grès dans la partie supérieure et une couche de marne compacte dans la partie inférieure. (Fig. 4.26).

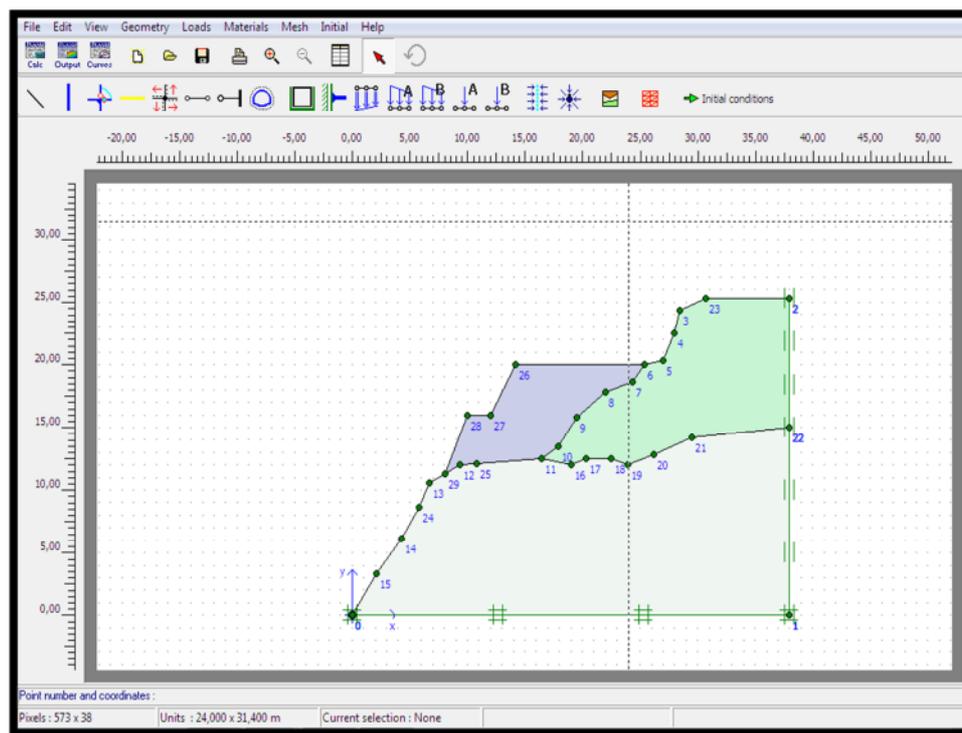


Figure 4.26 Géométrie du modèle analysé

4.3. Propriétés des couches de sols

Les propriétés des couches de sols, leurs types et modèles de comportement, sont présentés dans le tableau 4.4.

Les données à introduire dans notre étude sont des résultats des essais géotechniques réalisés. Les données qui nous manquent sont prises de la bibliographie.

Tableau 4.4 Les caractéristiques géotechniques (modèle 2)

Couche	γ_h (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C (Kpa)	ϕ (°)	μ	E (kN/m ²)
remblai	20	18	10	20	0.39	16700
Grès	21	19	13	18	0.35	18000
Marne compacte	23	20	28	20	0,30	29000

5. MODELISATION

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 PLAXIS.

5.1. Avant renforcement

Cette première analyse a été faite sans l'introduction des géotextiles afin de nous montrer ce qui concerne l'instabilité du remblai et vérifier le coefficient de sécurité.

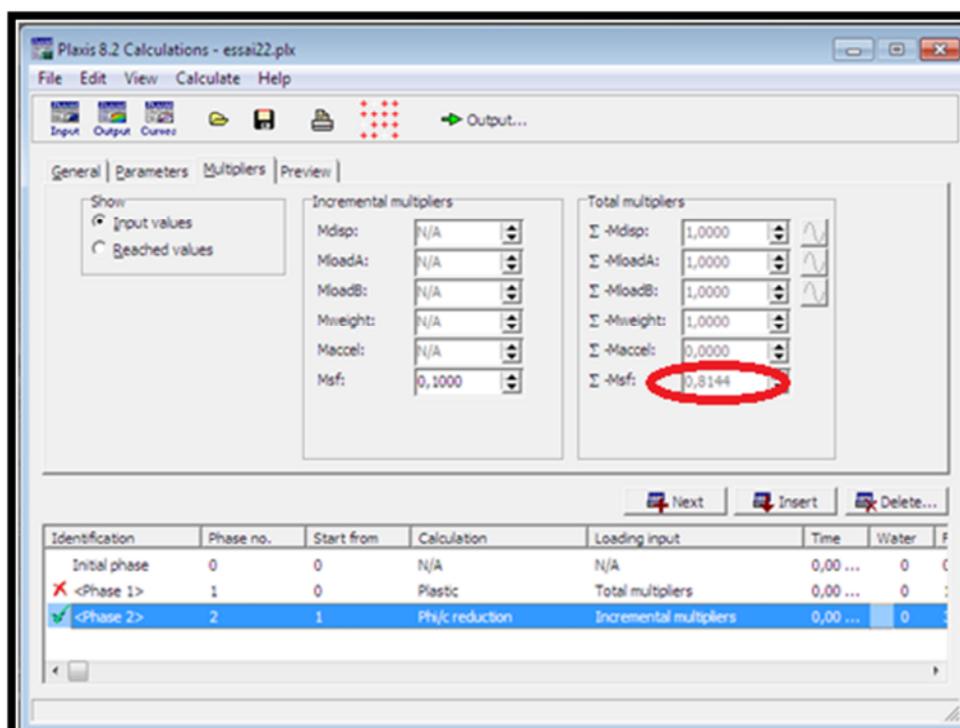


Figure 4.27 Valeur du coefficient de sécurité

On remarque que le coefficient de sécurité qui il très faible et inférieur à 1,0 d'où l'instabilité du talus est compromise.

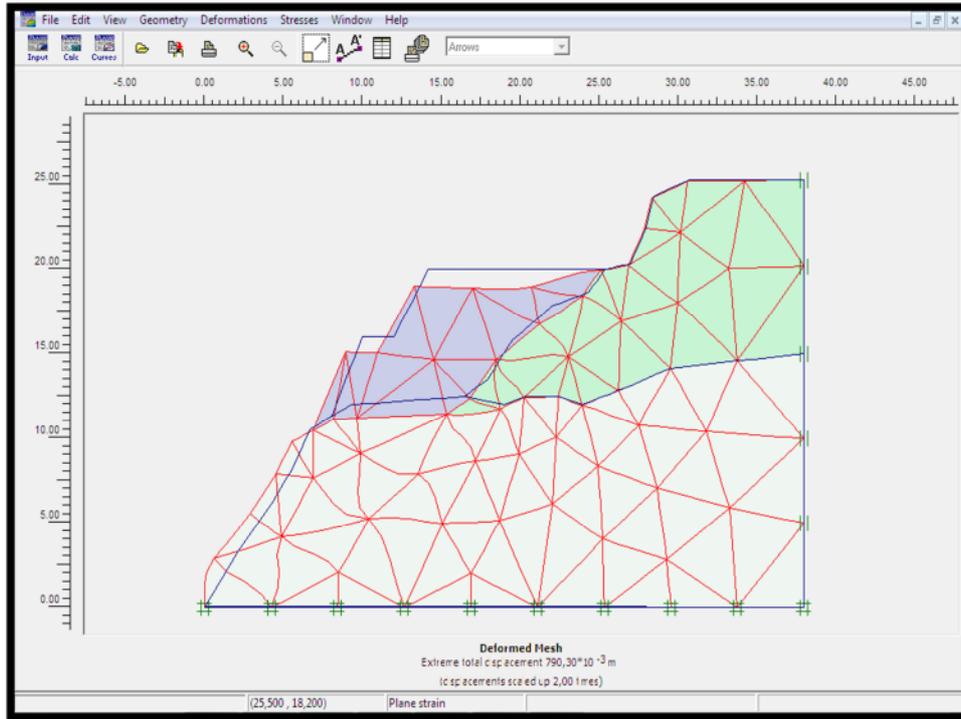


Figure 4.28 Déformation du massif après rupture

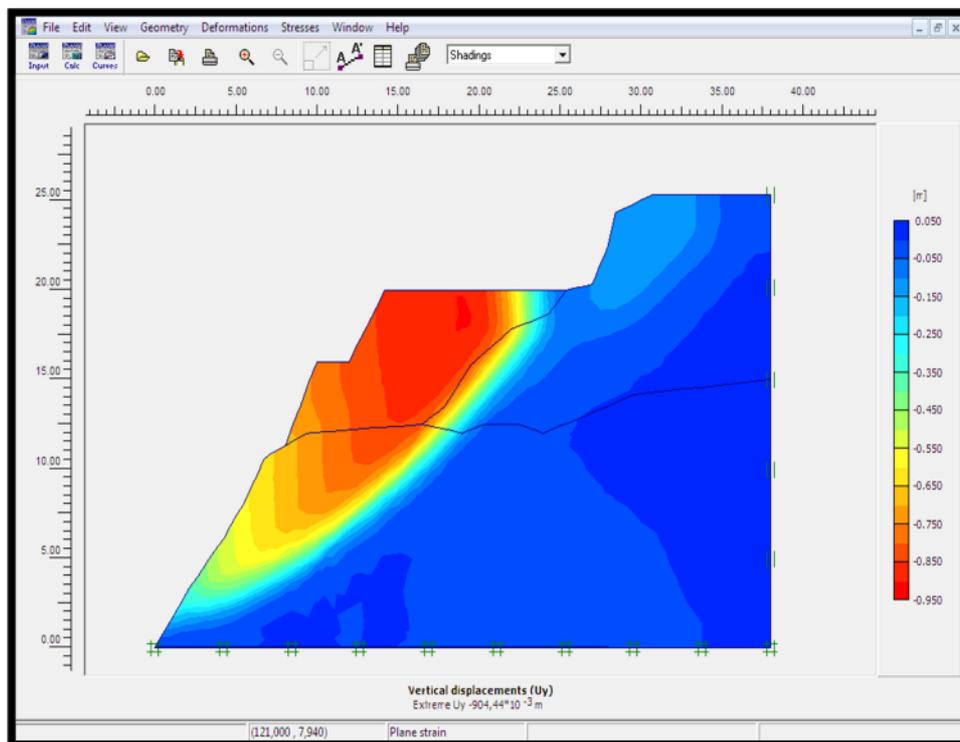


Figure 4.29 Masse susceptible au glissement

5.2. Après renforcement avec les géosynthétiques

Après la proposition technique de traitement de l'effondrement et de la reconstruction de la chaussée par LTPO qui a poussé à opter pour une solution très complexe, et en raison des délais de reconstruction et des coûts qui revienne excessivement chère, on a proposé une solution d'un massif renforcé par géotextiles.

Le remblai est construit par couches de 0,5 m d'épaisseur compactée en tenant compte du caractère extensible des géotextiles de renforcement, des caractéristiques mécaniques du matériau de remblai et de la géométrie de l'ouvrage.

Les géotextiles sont caractérisées par leur module de Young ($E=1400\text{Kn/ml}$).

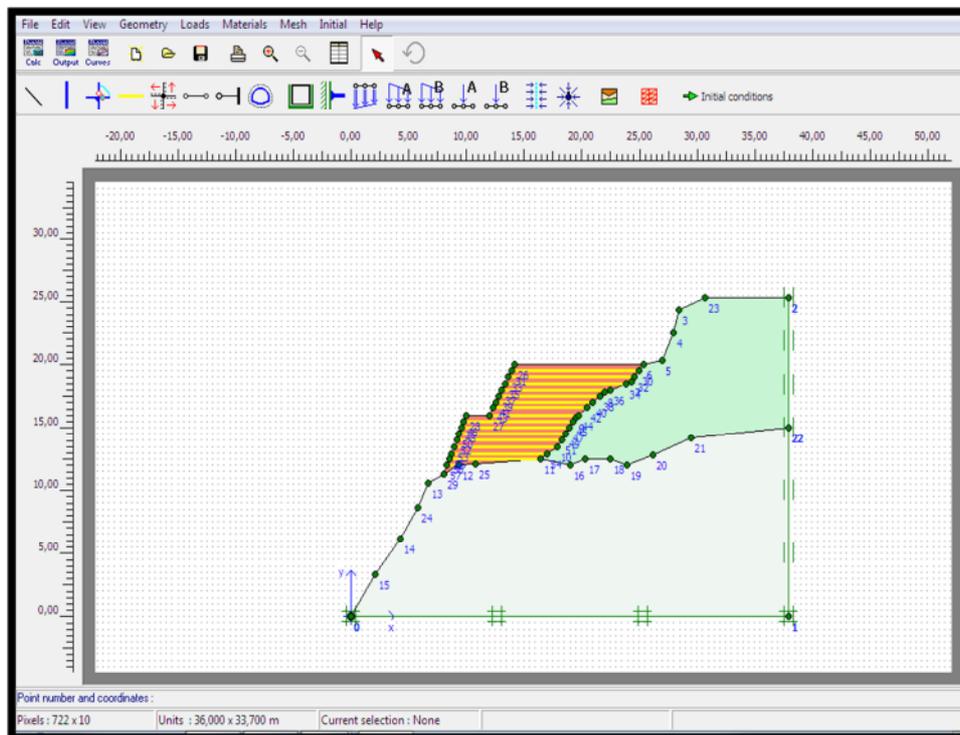


Figure 4.30 Disposition des nappes géotextiles (espacement=0,5m)

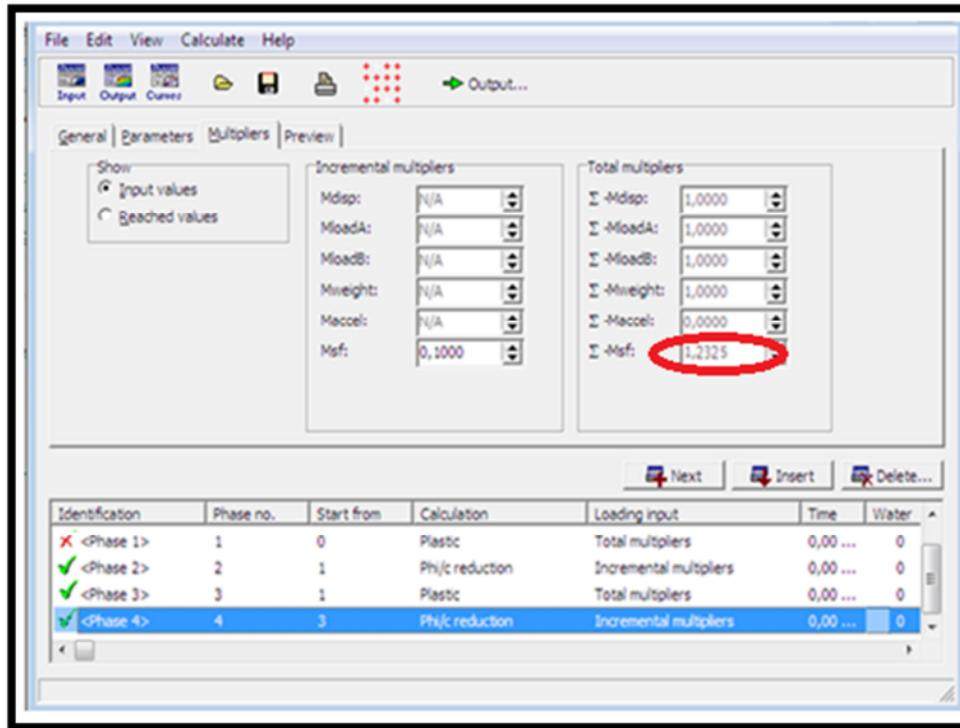


Figure 4.31 Valeur du coefficient de sécurité

Après renforcement, le coefficient de sécurité est supérieur à 1,0 ce qui implique la stabilité du talus.

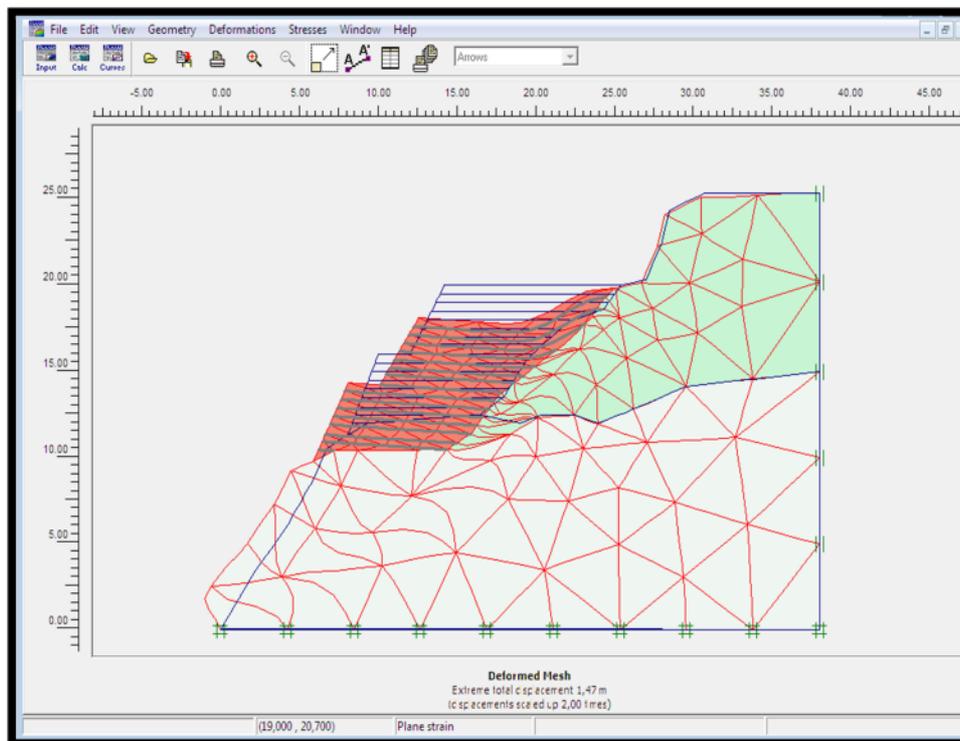


Figure 4.32 Déformation du massif après rupture

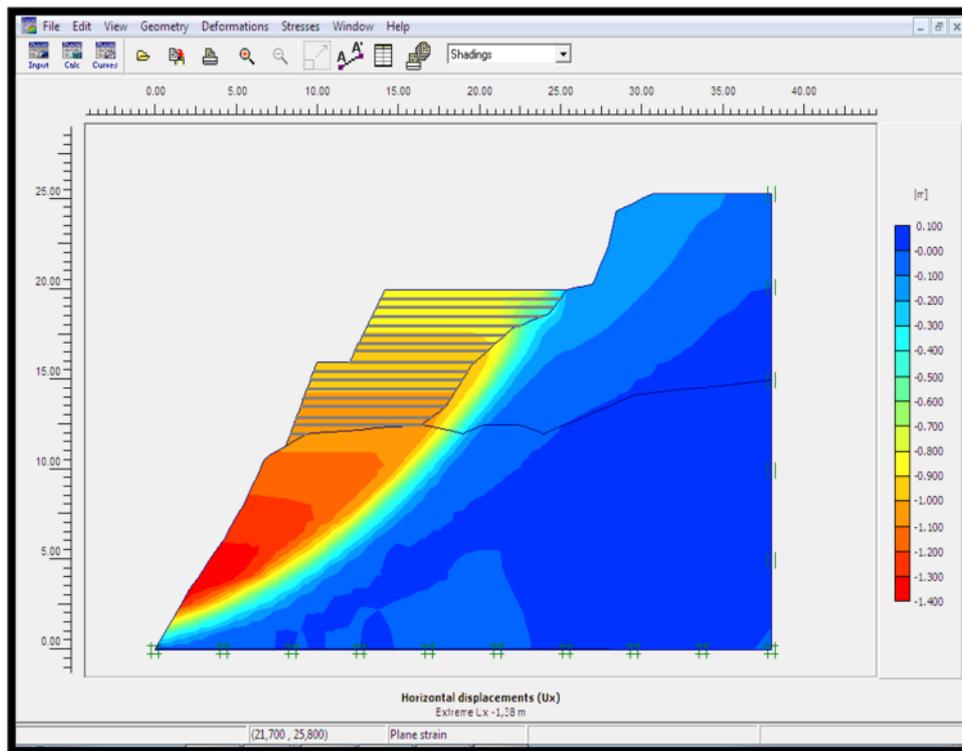


Figure 4.33 Masse susceptible au glissement

D'après la figure 4.33 le cercle de rupture est en dehors de la zone renforcée.

Dans ce cas, les résultats obtenus peuvent justifier notre choix qui concerne le renforcement du remblai par les géosynthétiques dans le contexte économique pour le traitement de l'effondrement et la reconstruction de la chaussée par rapport à la solution qui a été faite par le LTPO.

5.3. L'influence du module de Young sur le coefficient de sécurité

A l'heure actuelle plusieurs types de géotextiles sont utilisés pour les talus renforcés, ce qui confèrent à l'ensemble une rigidité plus ou moins importante. Le rôle que jouent les géotextiles sur la rigidité globale du massif renforcé est bien sûr significatif. Pour en évaluer l'influence, nous avons réalisé différentes simulations. La valeur de « E » varie de 220kN/m à 1400kN/m. La géométrie du talus utilisée est la même que précédemment avec un espacement entre les nappes des géotextiles de 0,5 m. La figure 4.34 montre l'évolution du coefficient de sécurité en fonction du module de Young des géogrilles.

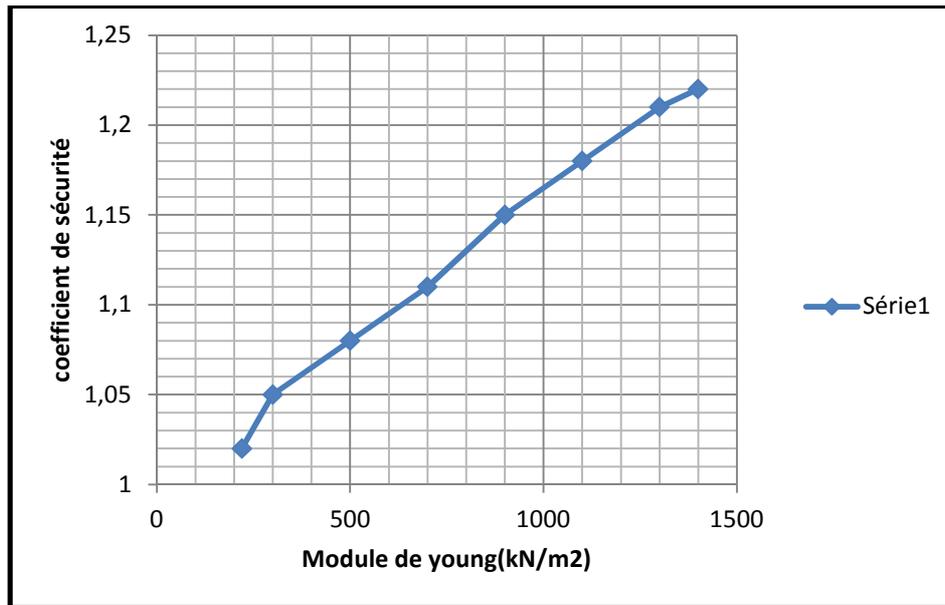


Figure 4.34 Influence du module de Young sur le coefficient de sécurité

On constate que le module de Young contribue de façon importante à la stabilité de la structure en augmentant la valeur du coefficient de sécurité et à l'accroissement de sa résistance.

6. CONCLUSION

Les résultats de cette étude numérique ont permis de déduire d'une part. Des conclusions intéressantes concernant le comportement des sols renforcé avec les géosynthétiques et d'autre part, de mettre en évidence l'importance de chaque paramètre dans la modélisation numérique.

L'importance de cette étude réside dans le fait que la méthode et les paramètres pris en compte dans la modélisation sont aussi réalistes que possible.

Dans un premier temps, on a présenté l'analyse d'un cas de glissement de terrain et son renforcement qui nous a permis de se familiariser avec ce genre d'outil et de voir l'influence du phénomène sismique sur la stabilité des terrains en pente, le coefficient de sécurité a diminué avec l'introduction du paramètre sismique.

La deuxième partie de cette étude numérique, qui nous à permis d'analysé un talus qui est pratiquement vertical, la rigidité globale du massif renforcé par nappe géotextiles on évalue la valeur du module de Yong « E » qui influe directement sur le coefficient de sécurité qui augmente avec l'augmentation du module du Yong et donc sur la stabilité globale. On peut dire aussi que la solution du renforcement par les géotextiles qu'on a proposée c'est la mieux adapter du cote économique des couts et des délais de reconstruction.

CONCLUSION GENERALE

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

Il est à noter que pour, parfois, assurer la stabilité de certains terrains en pente, où le risque de glissement existe, le recours aux systèmes de parade est indispensable. Ces systèmes sont diverses et présentent des inconvénients et des avantages propres à chacun d'entre eux. La prise de décision sur un système précis pour un cas précis dépend de plusieurs paramètres et l'ingénieur doit y participer d'une manière conséquente.

La technique géosynthétique pour le traitement de certains glissements de terrains constitue une réelle alternative innovante et économique par rapport aux solutions classiques de soutènement. Les principaux avantages de cette technique résident 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 géotextiles en utilisant la simulation numérique avec le code PLAXIS 2D, ainsi de justifier le choix le plus économique après les résultats obtenus par le calcul numérique.

Dans le premier exemple traité par simulation numérique avec le code PLAXIS, qui nous a permis d'analyser l'influence de l'espacement entre les nappes des géotextiles sur le coefficient de sécurité avec l'introduction de l'action sismique est bien clair comme le montre les résultats. Cette étude paramétrique sur les espacements des nappes nous a permis de faire un choix économique en réduisant au maximum le nombre de nappes de géotextiles pour un bon fonctionnement de l'ouvrage.

Le deuxième exemple a été déjà traité et reconstruit avec une solution très complexe qui revient excessivement chère. La solution du renforcement par géotextiles nous a paru plus judicieuse, et après analyse numérique avec le code PLAXIS et les résultats obtenus, notre choix a été justifié et un grand gain de temps et d'argent auraient pu être réalisés.

BIBLIOGRAPHIE

1. (ABDELKADER ABDELOUHAB. 2010). Modélisation physique et analytique et numérique des renforcements extensibles, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, Mémoire de doctorat, Ecole doctorale.
2. (AHMED SEDDIKI. 2008). Analyse de la stabilité des pentes sous séisme. Mémoire de Magister, Université De M'sila, département du Génie Civil.
3. (BADR .S. 2008). Modélisation et interaction renforcement sol pour les talus instables. Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, département du Génie Civil.
4. (BOUKLI HACENE MOHAMED KARIM, BOUKLI HACENE MOHAMED HADI. 2011). Renforcement des talus instables par géosynthétique. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, département du Génie Civil.
5. (COMITE FRANÇAIS DES GEOTEXTILES ET GEOMEMBRANES. 1990). Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans le renforcement des ouvrages en terre, France, 45p.
6. (G. BERTAINA, P. VILLARD. 2004). Remblais renforcés sur sol compressible, Université Joseph Fourier, Lirigm - Grenoble - France. 5es Rencontres Géosynthétiques Francophones.
7. (HAMZA CHERIF. RIAD. 2009). Etude de mouvements de pentes par le code de calcul "PFC2D".Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, département du Génie Civil.
8. (JEAN-MARC TACNET, PHILIPPE GOTTELAND. 2000). Ouvrages de protection contre les risques naturels et ouvrages en sites instables.
9. (JEAN-PIERRE GOURC, DANIEL BOISSIER. 2006). Modélisation numérique du comportement mécanique sur pente des dispositifs géosynthétiques, l'université bordeaux I, Ecole doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur.
10. (LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES. JUILLET 2003). Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des murs en remblai renforcé par éléments géosynthétiques. France, 75p.

11. (LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSES, 2003). Ouvrages de soutènement- Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des rideaux de palplanches métalliques. Guide technique. Paris, 69p.
12. (MAMEN BELGACEM. 2010). Etude par éléments finis de la capacité Portante d'une fondation filante reposant sur Un sable renforcé par géogrilles. Mémoire de Magister, Université El Hadj Lakhdar Batna, département du Génie Civil.
13. (MELOUKA.S. 2003). Analyse de la stabilité des pentes en terrain meuble- Application du code de calcul Flac. Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, département du Génie Civil.
14. (NORDINE MOULAY ZOUBIR. 2010). Contribution à l'étude numérique de la stabilité des pentes sous chargement dynamique et de leur renforcement par PLAXIS 2D. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, département du Génie Civil.
15. (PH. MAILLER, A. WATN.2004). Fluage, durabilité, endommagement des géotextiles. France et Norvège. Actes des 5ème Rencontres Géosynthétiques, 32p.
16. (RABAH ARAB, MOULAY ZERHOUNI. 2009). Comportement des murs de soutènements renforcés par des géosynthétiques sous sollicitations verticales : expérimentation et modélisation numérique. Actes des 9ème Rencontres Géosynthétiques. France, 11p.
17. (RABAH ARAB, MOULAY ZERHOUNI. ET AL2007). Retours d'expériences sur l'utilisation des géosynthétiques en Algérie dans les travaux publics. Congrès Africain sur les géosynthétiques .Yaoundé Cameroun, 08p.
18. (RABAH ARAB, MESSAOUD ZERMANI, ET AL.2009). Traitement d'un glissement de terrain par techniques géosynthétiques. Actes des 9ème Rencontres Géosynthétiques, 20p.
19. (ZEGHINA HAKIM. 2007). Comportement Dynamique d'un Talus Renforcé par des géotextiles, Université El Hadj Lakhdar Batna, département du Génie Civil.

WEBGRAPHIE

www.geosyntheticsociety.org	avril /2012
www.geotextiles-geogrilles.fr	avril /2012
www.novintiss.com/telechargement	avril /2012
www.afps-seisme.org	mai /2012
www.terram.com	mai/2012
www.geo-conseil.com	mai/2012

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	II
RESUME	III
ABSTRACT	IV
ملخص.....	V
TABLE DES MATIERES.....	VI
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	XII
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 : LES SYSTEMES DE PARADES DANS LES TALUS INSTABLES.....	3
1. INTRODUCTION	4
2. ÉTUDE DU PHENOMENE.....	4
2.1 Évaluation qualitative de la stabilité.....	4
2.2 Évaluation quantitative de la stabilité	4
3. SYSTEMES DE PARADES	6
3.1. Approche douce.....	6
3.1.1. Terrassement.....	7
3.1.2. Drainage	7
3.1.3. Végétation	8
3.2. Approche dure.....	10
3.2.1. Durcissement.....	10
3.2.2. Soutènement	10
3.2.3. Renforcement	11
4. CHOIX DES SYSTEMES DE PARADES.....	15
5. CONCLUSION	15

Chapitre 2 : LES GEOSYNTHETIQUES DANS LE GENIE CIVIL	16
1. INTRODUCTION	17
2. HISTORIQUE	17
3. MATERIAUX GEOSYNTHETIQUES	18
3.1. Notions générales	18
3.2. Classification des géosynthétiques.....	19
3.2.1. Géotextiles.....	19
3.2.2. Géogrilles.....	20
3.2.3. Géocomposites	21
4. AVANTAGES-INCONVENIENTS DES TECHNIQUES DE RENFORCEMENT PAR GEOSYNTHETIQUES.....	21
5. APPLICATIONS DES GEOSYNTHETIQUES.....	22
5.1. Renforcement des talus	23
5.2. Murs en terre renforcée par géosynthétique	24
5.3. Fondations sur pieux.....	25
5.4. Augmentation de la portance des remblais routiers et des constructions routières et ferroviaires	26
5.6. Support de ballast de voies de chemin de fer	27
5.7. Construction de centres de stockage de déchets.....	27
5.8. Protection des berges, rives et digues	28
6. EXEMPLES D'UTILISATION DES GEOTEXTILES DANS LE GENIE CIVIL.....	29
6.1. Travaux routiers.....	29
6.1.1. Voies permanentes.....	29
6.1.2. Voies temporaires.....	29
6.1.3. Aires de parking	30
6.1.4. Elargissement de routes	30

6.1.5. Rénovation de l'asphalte	31
6.1.6. Aéroports.....	31
6.1.7. Voies ferrées.....	31
6.2. Travaux de construction.....	32
6.2.1. Fondations	32
6.2.2. Dalles en béton.....	32
6.2.3. Suppression de l'impact sonore	33
6.2.4. Toitures	33
6.2.5. Toits de terrasse de jardin.....	33
6.3. Terrassements.....	34
6.3.1. Tuyaux et tranchées.....	34
6.3.2. Aires de stockage	34
6.3.3. Aires de sport.....	35
6.3.4. <i>Talus</i>	35
6.4. Drainage/filtration.....	35
6.4.1. Drains enrobés	35
6.4.2. Tranchées drainantes.....	36
6.4.3 Surfaces drainantes.....	36
6.4.4. Drains de construction	37
6.5. Travaux hydrauliques.....	37
6.5.1. Protection des côtes.....	37
6.5.2. Dignes.....	37
6.5.3. Construction de ports	38
6.5.4. Berges des rivières et des fleuves.....	38
6.5.5. Lacs artificiels.....	39

6.5.6. Réservoirs d'eau	39
6.6. Centres d'enfouissement techniques	39
6.6.1. Centres d'enfouissement techniques (couches de surface).....	39
6.6.2. Centres d'enfouissement techniques (couches de fond)	40
6.6.3. Bassins de purification biologique	40
7. CONCLUSION	40
Chapitre 3 : LES GEOSYNTHETIQUES DANS LE RENFORCEMENT DES TALUS	42
1. INTRODUCTION	43
2. RENFORCEMENT DU SOL.....	43
3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES GEOSYNTHETIQUES EN REMBLAI	43
3.1. Principe de fonctionnement.....	43
3.2. Fonctionnement interne.....	45
3.3. Fonctionnement externe	47
3.3.1. Stabilité externe.....	47
3.3.2. Stabilité globale	47
4. LES ELEMENTS DE RENFORCEMENT GEOSYNTHETIQUES.....	47
5. LE REMBLAI.....	48
6. STABILITE DES REMBLAIS PAR INCLUSIONS GEOSYNTHETIQUE	49
6.1 Description générale	49
6.2. Remblai renforcé par nappes géosynthétiques	49
6.2.1. Nappes retournées en parement	49
6.2.2. Parement incliné avec dispositif de retenue de terre végétale.....	50
6.2.3. Avec parement indépendant.....	51
6.2.4. Parement minéral.....	52

6.2.5. Parement cellulaire	52
6.2.6. Autres parements	53
6.3. Remblai renforcé par bandes géosynthétiques.....	53
6.3.1. Parement type écailles béton	53
6.3.2. Autres parements	54
7. REMBLAIS SUR SOLS COMPRESSIBLES	54
7.1. Principales observations réalisées sur des remblais renforcés par géosynthétiques	55
7.1.1. Hauteur de remblai	55
7.1.2. Efforts mesurés dans le renforcement	55
7.1.3. Déformations mesurées dans le renforcement	56
7.1.4. Mode de pose du géosynthétique	56
8. MISE EN ŒUVRE.....	58
8.1. Principes généraux.....	58
8.2. Règle pratique de mise en œuvre	58
8.2.1. Pose et raccordement des nappes	59
8.2.1. Mise en prétention des nappes.....	59
9. PRINCIPAUX PROCÉDES PERMETTANT DE GARANTIR LA BONNE EXECUTION DES TALUS DES OUVRAGES RENFORCES	61
9.1. Cas des massifs renforcés à talus peu inclinés (Pente inférieure à 1/1)	61
9.2. Cas des massifs à talus très incliné (pente comprise entre 1/1 et 1/4)	62
9.3. Cas des massifs à talus vertical ou quasi-vertical	64
9.3.1. Cas des massifs de faible hauteur (< à 2 m).....	64
9.3.2. Cas des massifs de hauteur supérieure à 2 m	65
10. ENTRETIEN ET REPARATION	66
10.1. Entretien courant.....	66

10.2. Entretien spécialisé.....	66
10.3. Réparations.....	67
11. CONCLUSION.....	67
Chapitre 4 : SIMULATION AVEC LE CODE PLAXIS.....	68
1. INTRODUCTION	69
2. ETUDE DU PREMIER MODELE	69
2.1. Présentation.....	69
2.2. Caractéristiques géométriques.....	70
2.3. Propriétés des couches de sols.....	71
3. MODELISATION.....	71
3.1. Avant renforcement.....	71
3.2. Avant renforcement avec séisme.....	73
3.3. Après renforcement avec les géosynthétiques.....	75
3.4. Espacement entre géosynthétiques	75
4. ETUDE DU DEUXIEME MODELE.....	83
4.1. Présentation.....	83
4.2. Caractéristiques géométriques.....	85
4.3. Propriétés des couches de sols.....	86
5. MODELISATION.....	87
5.1. Avant renforcement.....	87
5.2. Après renforcement avec les géosynthétiques.....	89
5.3. L'influence du module de Young sur le coefficient de sécurité :	91
6. CONCLUSION	92
CONCLUSION GENERALE.....	93
BIBLIOGRAPHIE.....	95