REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES De MEDEA

Faculté des Sciences et de La Technologie

Département de Génie Civil

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de master II en génie civil

Option : GEOTECHNIQUE

THEME

Contribution à l'Etude des Talus Renforcés par des Géotextiles

Réalisé par :

BOUKHELKHAL Redouane

KADRI Ahmed

Dirigé par :

Dr. Djillali Amar Bouzid

Promotion: 2012

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur ***Dr .Djillali Amar Bouzid*** *pour son précieux temps qu'il a consacré à notre écoute, à notre orientation et correction tout au long de notre projet.*

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepter de juger notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à touts les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, et à touts les enseignants qui ont participé à notre formation.

En fin nous remercions tous ceux qui ont contribué de loin ou de prés à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

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

Après mon DIEU pour leurs sacrifices :

A Mes chers parents que dieu les gardes et préserve.

A Mes frères et mes sœurs

A toute la famille ***« boukhelkhal»*** *sans exception.*

Je remercie mon ami et binôme qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A tous Mes amis intimes.

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

Redouane

Dédicaces

C’est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après mon DIEU pour leurs sacrifices :

A Mes chers parents que dieu les gardes et préserve.

A Mon frère Mes Sœurs

A toute la famille ***« Kadri»*** *sans exception.*

Je remercie mon ami et binôme qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Mes amies intimes.

A Tous mes collègues de la 5ème Année.

Ahmed

ملخص:

إن هذا العمل المتواضع يتمثل في المساهمة في دراسة منحدر معزز بنسيج « géotextile »
لهذا بدأنا بتعريف « Les geosynthetiques »أنواعها وميزاتها...

ثم عموميات حول حركات التربة و بالضبط انزلاق التربة: خصائصها- أنواعها - مختلف أسبابها - وأنظمة الحلول المقترحة لها.
وبعد ذلك قمنا بتفصيل طريقة وحيدة في الحد من انزلاق التربة ألا وهي الحد بواسطةنسيج« géotextile»مبرزين أنواعها. وظائفهاو طرق وضعها.
في الأخير قمنا باستعمالبرنامج (Excel2007)لتسهيل الحسابات في دراسة الحالة.

Résumé :

Ce modeste travail est une contribution à l'étude des talus renforcé par géotextiles.

Pour tout cela nous avons commencé par définir les geosynuthetiques et leurs différents types et leurs avantages

Puis Des généralités sur les mouvements de terrain exactement sur les glissements, leurs caractéristiques, types et différentes causes, ainsi que les différentes méthodes de confortement.

Ensuite nous avons détaillé une seule méthode de confortement (confortement par géotextile) représentant ses types, fonctions et mise en œuvre…

Enfin nous avons utilisé un logiciel bureautique (Excel 2007) afin de faciliter les calculs dans une étude de cas.

Abstract:

This modest work is contribution to the study of embankment reinforced by geotextile…

For this, we began by generality on the movements of land on the slips, precisely on their features, types and different reasons, as well as the differentmethods of reinforcements.

Then we havedetailed a single method of reinforcement (reinforcement by geotextiles) representing their types, functions, implementation...

Finally we used office software (Excel 2007) to facilitate calculations in a case study.

.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : LES GEOSYNTHETIQUES ET LEURS APPLICATIONS 3

I-INTRODUCTION : 3

II- HISTORIQUE DE L'EVOLUTIONDES GEOSYNTHETIQUES : 3

III-AVANTAGE DES GEOSYNTHETIQUES : 4

IV- PRINCIPALES FONCTIONS DES GEOTEXTILES 5

IV-1- Séparation : 5

IV-2- Renforcement : 6

IV-3- Drainage : 6

IV-4- Filtration : 7

IV-5- Etanchéité (Imperméabilisation): 7

V-LES DIFFERENTS TYPES DE GEOSYNTHETIQUES (GS): 8

V-1- Géotextiles (GT): 8

V-2-Géogrilles (GG) : 9

V-3-Géomembranes (GM) : 9

V-4-Géocomposites (GC) : 10

V-5-Géonets (GN) : 10

V-6-Géopipes (GP) : 11

V-7-Géofoams (GF) : 11

VI-DESCRIPTION DES GEOTEXTILES : 12

VI-1- Fabrication des fibres 13

VI-2- Modes d'assemblage : 13

VII- IDENTIFICATION ET CERTIFICATION DES GEOTEXTILES : 13

VIII-CARACTERISATION DES GEOTEXTILES DE RENFORCEMENT : 15

VIII-1-Essai de traction directe: 15

VIII-2-Essai de déchirure : 16

IX- CARACTERISATION DU SOL ET DE L'INTERFACE : 16

IX-1-Comportement mécanique du sol de remplissage 16

IX-2- Caractérisation de l'interface sol-géosynthétique : 17

IX-3- Essai de frottement : 17

IX-4- Essai d'ancrage, d'arrachementou d'extraction : 18

X-CONCLUSION : 21
CHAPITRE II : GLISSEMENTS DE TERRAINS ET METHODES DE CONFORTEMENT 22
I– INTRODUCTION: 22
II - DESCRIPTION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN : 23
II - 1 - Vitesse et durée des mouvements : 24
II– 2 –Forme de la surface de rupture : 32
III- CAUSES DE GLISSEMENTS : 32
III– 1 - L'eau et les risques de glissements de terrain: 34
III– 2 – La présence des fractions fines: 35
IV - IDENTIFICATION DE DANGER DE GLISSEMENT : 35
IV– 1 - Documents de base : 36
IV– 2 - Documentation des événements : 37
IV– 3 - Carte des phénomènes : 37
V-METHODES DE CONFORTEMENT DES TALUS: 38
V-1-Drainage: 38
V-2 - Organes résistants en pied: 45
V-3-Méthode de renforcement des sols: 47
VI-CONCLUSION : 50
CHAPITRE III : CONFORTEMENT PAR LES GEOTEXTILES 51
I- INTRODUCTION : 51
II-TYPE DES GEOTEXTILES : 51
II-1- Les géotextiles tissés : 51
II-2- Les géotextiles non tissés : 53
III- FONCTION DE GEOTEXTILES : 56
III- 1- Drainage : 56
III- 2- séparations : 57
III- 3- Filtration : 57
III- 4- Renforcement : 58
III- 5- La lutte contre l'érosion : 59
III- 6- Protections : 60
IV- PROPRIETES DES GEOTEXTILES : 61
IV-1-Épaisseur et comportement en compression 61
IV-2- Perméabilités : 62
IV-3- Rétentions : 62

IV-4- Comportements en traction et allongement à l'effet maximal : 62
IV-5- Résistances au déchirement : 63
IV-6- Comportements à long terme 63
V- ENDOMMAGEMENT DES GEOTEXTILES : 64
V-1- Mécanismes d'endommagement : 65
VI- LA MISE EN ŒUVRE DES GEOTEXTILES : 70
VII- CONCEPTION DES TALUS RENFORCES PAR DES GEOTEXTILES : 71
VII-1-Phasage de construction : 71
VII-2-Méthode de conception : 72
VII-3- Étude de la stabilité externe du mur en géotextile : 75
VIII-ETUDE D'UN CAS : 77
VIII-1- Calcul et Vérification : 77
VIII-2- Étude de la stabilité externe du mur en géotextile : 82
CHAPITRE IV ELABORATION D'UN UTILITAIRE DE CALCUL (EXCEL 2007) 84
I- INTRODUCTION : 84
II- Historique : 85
III- FONCTIONNEMENT : 85
III-1- Principes simples des formules : 85
III-2-Caractéristiques : 86
IV-PRESENTATION DE LA METHODE DE CALCUL : 87
IV-1- Déclaration des données : 87
IV-2- évaluation de la résistance a la traction admissible sur la base du coefficient de sécurité combine : 88
IV-3- détermination de la longueur passive des géotextiles : 89
IV-4-détermination de la longueur d'ancrage, des géotextiles : 90
IV-5- détermination de la longueur totale des géotextiles : 91
V- CONCLUSION : 92
CONCLUSION GENERALE 93

INTRODUCTION GENERALE

Toute masse d'un sol prés d'une surface libre en pente, tend à se mettre en mouvement sous l'influence de son poids, si cette tendance est équilibrée par des contraintes de cisaillement il y'a stabilité de la pente si non il y'a glissement.

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse qui se développent dans des matériaux meubles et en générale argileux contrairement aux éboulements rocheux qui se manifestent le plus souvent brutalement.

Les glissements de terrain se produisent dans des circonstances très variées. Ils affectent des ouvrages construits par l'homme ou des pentes naturelles; ils se produisent soudainement ou durant plusieurs mois voire parfois plusieurs années.

Au nord de l'Algérie, les glissements de terrain sont comptés parmi les risques naturels les plus fréquents, dans la mesure où les facteurs géodynamiques internes des terrains instables et externes (reliefs escarpés, terrains fragiles, climat contrasté), le favorisent.

Notre travail se divise en quatre chapitres :

Le premier chapitre « **les géosynthétiques et leurs applications** » : Notre étude porte sur la stabilité des talus renforcés ; on donnera un aperçu sur les géosynthétiques, avec une vision historique d'évolution, avantages, principales fonctions et les différents types et matériaux employés, aussi l'identification et certification des géotextiles et leur caractérisation de renforcement, plus une étude analytique du comportement en membrane et enfin les caractéristiques de l'interface sol- géotextile.

Le deuxième chapitre « **Glissements de terrains et méthodes de confortement** » : dans ce chapitre on a exposé les notions théoriques liées aux mouvements de terrain, les différents types de glissement et les causes d'un glissement de terrain, en fin les méthodes de confortements. Une conclusion a été faite à la fin de ce chapitre.

Le troisième chapitre « **Confortement par les géotextiles** » : nous exposerons quelque notion générale sur les géotextiles, de plus prés le renforcement des sols par le géotextile et leur

fonctionnement et condition de la mise en œuvre. Puis la méthode de conception d'un talus renforcés par des géotextiles, a la fin on a étudié un cas d'un glissement pour un but de lui améliorer le coefficient de sécurité a l'aide d'inclusion des nappes de géotextiles.

Le quatrième chapitre « **élaboration d'un utilitaire de calcul** » : dans ce chapitre, le travail est fait à l'aide d'un programme informatique (Excel 2007), la méthode consiste a introduire les formules de calcul dont les paramètres de calcul qui prennent des valeurs et gardant les mêmes opérations, cette méthode est applicables pour deux raisons. Gagner le temps et minimiser l'écart de l'erreur.

Le mémoire se termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I : LES GEOSYNTHETIQUES

I- INTRODUCTION :

Depuis plus de quarante ans, l'utilisation de matériaux synthétiques sous forme de nappes résistantes s'est développée dans le domaine du génie civil. Les géosynthétiques désignent les nappes synthétiques utilisées en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique ou génie civil. Ils sont principalement utilisés sous forme de nappe pour assurer aussi bien le rôle de drain, de filtration de séparation ou de renforcement. . Dans le domaine du génie civil, l'amélioration des caractéristiques des sols par l'utilisation de matériaux d'emprunts date de plusieurs millénaires. Les premières expériences remontent à l'époque de la civilisation romaine, où l'on note l'utilisation, essentiellement de corps végétaux comme la paille, le foin ou des branchages, comme éléments stabilisant et de renforcement. La problématique d'utiliser de tels matériaux dégradables provient de l'incertitude sur la durée de vie de ces mêmes matériaux, très sensibles aux différentes conditions d'utilisation (climat, servitude, etc.), et donc du caractère aléatoire de la durabilité des ouvrages. Pour remédier à cette problématique, les techniques chimiques voient le jour (additif à base de chaux, de résine ou de ciment). Parallèlement à ces techniques, les matériaux géosynthétiques connaissent un développement brillant depuis environ une quarantaine d'années. L'utilisation des géotextiles dans les travaux routiers se développe depuis une trentaine d'années, d'une part en raison des propriétés de ces matériaux qui permettent de résoudre très efficacement de nombreux problèmes pratiques et d'autre part grâce à leur facilité de mis en œuvre et leur faible coût. [1,2]

II- HISTORIQUE DE L'EVOLUTION DES GEOSYNTHETIQUES :

Afin de fonder les ouvrages sur des bases ayant une meilleure capacité portante, et ainsi de permettre une meilleure durabilité de ceux-ci, tout en maîtrisant la qualité des produits d'ajout, le renforcement des sols est à l'origine de la fabrication des géosynthétiques.

La littérature parle d'une première date (1926), où les premières parcelles de route en Caroline du Sud utilisaient des tissus de coton. Le résultat est probant, puisque la route reste en bon état jusqu'à ce que le matériel se dégrade. Ainsi, il s'est ouvert un marché pour des matériaux synthétiques, assurant à la fois deux fonctions : la séparation et le renforcement des

sols. La deuxième innovation dans ce domaine fut l'utilisation de textile technique comme drain à filtre. Le fait que le liquide puisse traverser un matériel poreux tout en retenant le sol (ou une partie sélectionnée du sol) adjacent, a permis le développement d'un matériau synthétique plus performant. Ainsi, le géotextile permet de remplacer la couche de sable drainant et filtrante, jusqu'alors incontournable. L'intérêt que celui-ci présente alors est la possibilité d'en contrôler la qualité à l'usine, et permet de se substituer à un matériau naturel noble, et donc pouvant être très cher. Ainsi, la fonction de filtration, autant au niveau de l'eau que des sols est née et a permis aux géosynthétiques de prendre de l'essor dès 1930.

Enfin, une troisième application importante des géosynthétiques fut la réalisation de barrière imperméable permettant d'empêcher le mouvement des liquides contaminants. Historiquement, l'argile a toujours été largement utilisée, et l'est encore dans de nombreux cas. Son installation et le contrôle de sa qualité sont par contre relativement exigeants. Dans un premier temps fabriquées de caoutchouc synthétique vers 1940, les premières géomembranes polymériques telles que le Polyéthylène de Haute Densité (PEHD) voient le jour au début des années 80 et n'ont cessé de se développer depuis. Enfin, plus récemment, à la fin des années 80, le mélange d'un support synthétique avec un matériau naturel comme l'argile est utilisé sous le nom de géocomposite bentonitique (GCB). [2]

III- AVANTAGE DES GEOSYNTHETIQUES :

Les principales caractéristiques des géosynthétiques, par comparaison aux matériaux naturels qu'ils servent à remplacer, sont : [2]

• Une performance généralement meilleure, puisque les géosynthétiques sont développés autour d'une ou deux fonctions spécifiques. Chaque fonction est par conséquent optimisée au sein du produit. Par exemple, un produit drainant développera la fonction unique de drainage. Ses propriétés hydrauliques seront spécifiquement développées pour répondre de manière optimale à un besoin spécifié, ce que ne pourrait faire un autre produit comme le sable par exemple, dont les caractéristiques sont plus difficilement prévisibles sur site.

• **Une qualité supérieure,** ou tout au moins parfaitement maîtrisée, puisque les géosynthétiques sont fabriqués dans un espace conditionné, leur contrôle en usine est possible, dans des conditions idéales, à une fréquence régulière et adaptable.

• **Un coût généralement plus économique,** ou tout au moins plus stable, quelle que soit la région où le projet a lieu, la nature des matériaux naturels et leur quantité présente sur site.

Dans certains cas, il pourra être avantageux de favoriser l'utilisation locale de matériaux naturels, s'ils sont de bonne qualité et en quantité suffisante. Mais bien souvent, l'utilisation des géosynthétiques s'avèrera la solution la plus judicieuse du point de vue économique.

• **Une durabilité plus grande,** puisque les géosynthétiques sont développés autour d'une ou deux fonctions principales, la durabilité des produits est plus facile à assurer (choix des résines, des additifs, produits synthétiques non ou faiblement dégradables). Par exemple, une géogrille de renforcement en PEHD ne sera pas dégradée dans le temps par l'action de l'eau (rouille, électrolyse). Un géotextile de filtration pourra être réalisé avec une fibre traitée contre l'effet des rayonnements, etc.…

IV- Principales fonctions des géosynthétiques: (Tableau I.1).

La notion de géosynthétiques regroupe l'ensemble des matériaux de synthèse utilisés en géotechnique pour des travaux de renforcement et d'assainissement des couches de terrain. Les géosynthétiques comprennent les grandes familles suivantes, classées par comportement vis-à-vis de l'eau :

•Les géomembranes, produits minces, souples, et étanches aux liquides.

•Les géotextiles, et les produits apparentés (géogrilles, géoespaceur...), matériaux perméables asservis à des fonctions mécaniques (séparation, renforcement, protection et Anti-érosion) et hydrauliques (Filtration et Drainage). [1, 3]

IV-1- Séparation :

La fonction Séparation des géosynthétiques sert à empêcher la contamination des sols. L'introduction d'un géotextile entre deux matériaux hétérogènes permet à ces deux matériaux de conserver leur intégrité, pour empêcher leur mélange. [2]

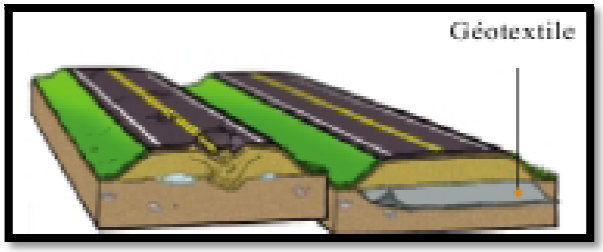


Figure I.1 : Géosynthétiques de séparation.

IV-2- Renforcement :

La fonction Renforcement peut être décrite comme l'usage des propriétés extensibles d'un matériel géosynthétique pour résister aux tensions ou contenir des déformations dans les structures géotechniques. Des nappes de géotextiles empilées et alternées avec un sol faible permettent le maintien de talus, le renforcement de routes sur des zones d'effondrement, ou la stabilisation de glissements de terrain.

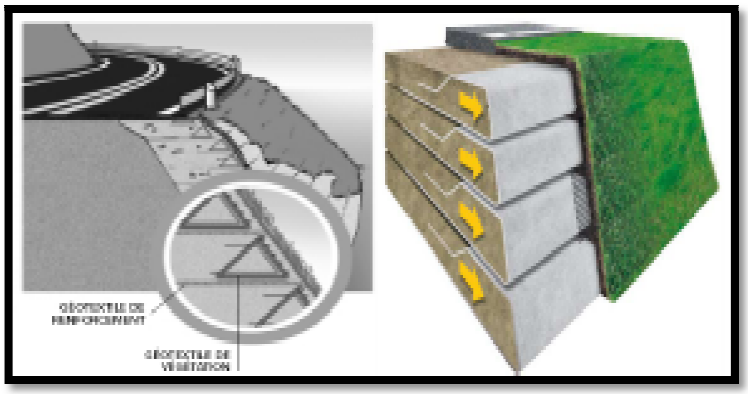


Figure I.2 : Géosynthétiques de renforcement [4].

IV-3- Drainage :

La fonction drainage décrit la nécessité de recueillir et de transporter les liquides présents sur ou dans une structure.



Figure I.3 : Géosynthétiques De drainage [5].

IV-4- Filtration :

La fonction Filtration est emplie lorsque l'on utilise un géosynthétique qui, tout en laissant Passer l'eau (perméabilité), retient les particules de sol et empêche la contamination des matériaux adjacents.

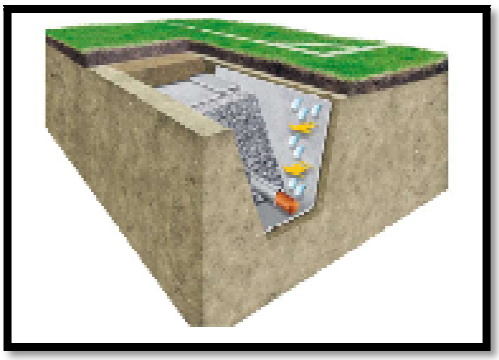


Figure I.4 : Géosynthétiques de filtration [5].

IV-5- Etanchéité (Imperméabilisation):

On parle d'imperméabilisation lorsqu'on installe des geosynthétiques pour empêcher la migration de liquides ou des matières nuisibles, notamment dans les fossés ou dans les bassins contigus aux routes, décharges public, ect…

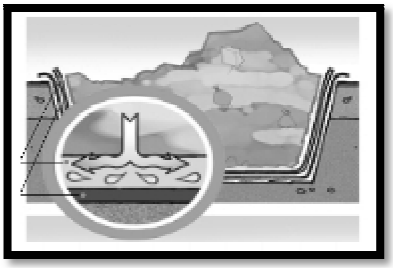


Figure I.5 : Géosynthétiques pour étanchéité

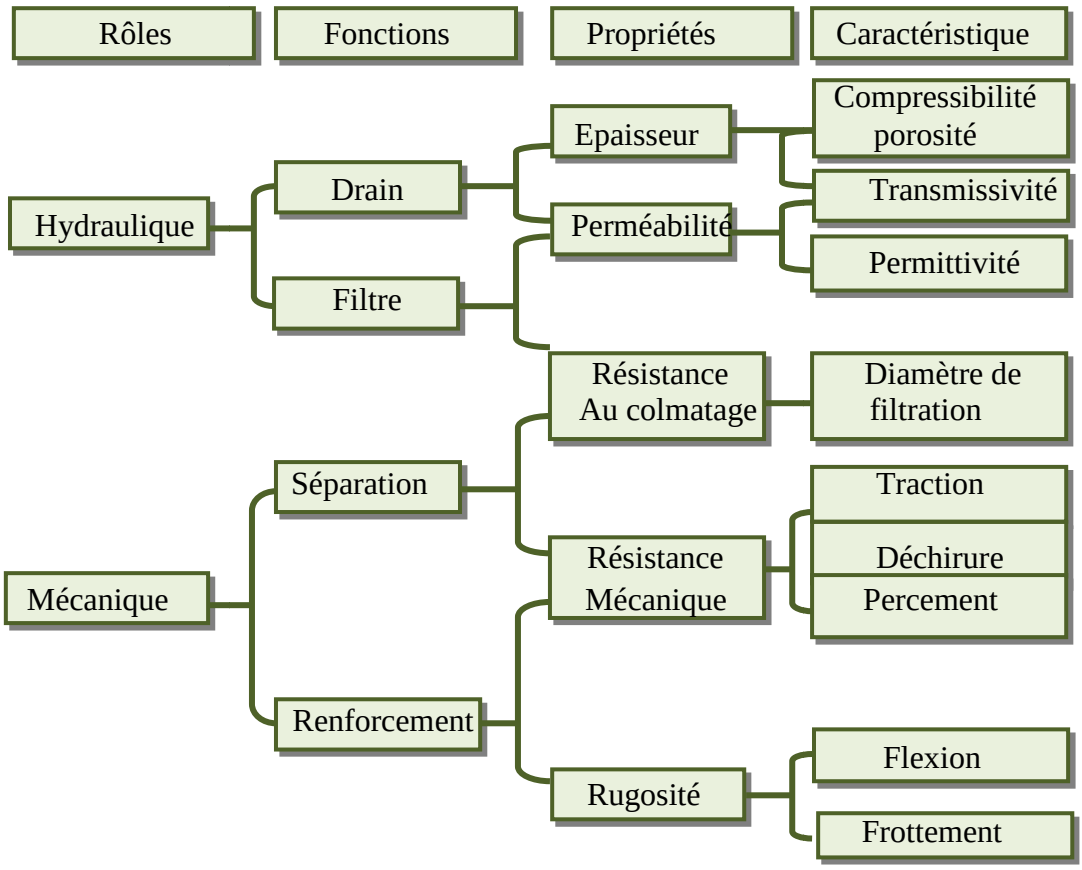


Figure I.6 : Rôles, Fonctions, propriétés et caractéristiques des géotextiles

V- LES DIFFERENTS TYPES DE GEOSYNTHETIQUES (GS):

V-1- Géotextiles (GT):

Les géotextiles sont des matériaux tissés, non tissés ou tricotés, perméables, à base de polymère, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.



Figure I.7: Les géotextiles

V-2- Géogrilles (GG) :

Structures planes, à base de polymère, constituées par un réseau ouvert d'éléments résistants aux tractions, reliées entre eux selon un motif régulier, employées pour renforcer et séparer les sols.



Figure I.8 : Les géogrilles

V-3- Géomembranes (GM) :

Membranes synthétiques présentant une étanchéité importante vis-à-vis des liquides et des gaz. Elles ont tout d'abord été employées pour l'étanchéité des toitures et des bassins. Les ingénieurs les ont ensuite utilisées pour réaliser des étanchéités de canaux, barrages, enceintes de confinement... Les géomembranes sont obtenus par extrusion, calandrage ou enduisage sur armature. Les polymères constitutifs sont issus de 3 familles de matériaux : les thermoplastes, les plastomères et les produits bitumineux.



Figure I.9: Les géomembranes

V-4- Géocomposites (GC) :

Matériaux résultant de l'association d'un géotextile et/ou d'une géogrille avec d'autres produits, comme les membranes d'étanchéité, des masses fibreuses, des produits extrudés et formés... Les géocomposites sont utilisés à diverses fins, suivant la fonction de leur nature: renforcement, étanchéité drainage, drainage...



Figure I.10 : Les géocomposites

V-5- Géonets (GN) :

Les géonets sont faits à partir du polyéthylène à haute densité, leur fonction principale est le drainage en plan, les surfaces doivent être couvertes généralement avec les géotextiles.

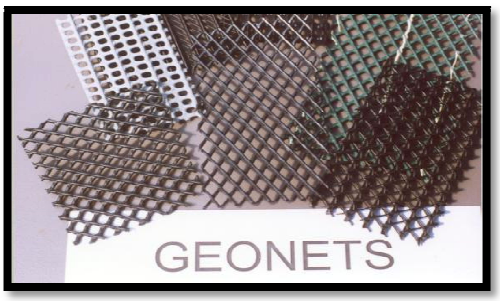


Figure I.11 : Les géonets

V-6- Géopipes (GP) :

Ce sont des tubes dont la fonction est toujours le drainage; ils sont faits à partir de HDPE et PVC ils peuvent être lisses ou ondulés (tubes).

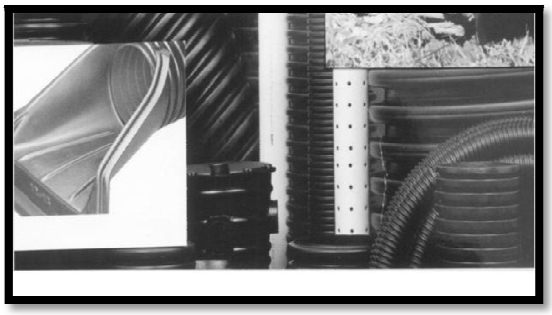


Figure I.12: Les géopipes

V-7- Géofoams (GF) :

La fonction principale est la séparation, ils sont de forme de bloc.



Figure I.13 : les géofoams

Tableau I.1 : Fonction des géosynthétiques

Type de géosynthétique	séparation	renforcement	Filtration	Drainage	contamination
Géotextile	×	×	×	×	
Géogrilles		×			
Géonets				×	
Géomembranes					×
Géopipes				×	
Géofoams	×				
Géocomposites	×	×	×	×	×

VI- DESCRIPTION DES GEOTEXTILES :

Les matières de base utilisées pour la fabrication des fibres ou des bandelettes constitutives des géotextiles sont pour l'essentiel le polypropylène, le polyester et le polyéthylène, le tableau **I.2**.regroupe les caractéristiques de ces fibres synthétiques.

Tableau I.2 : Caractéristiques physico-chimiques des fibres textiles [1]

Fibres organiques	Allongement de Rupture %	Contrainte de Rupture MPa	Module D'élasticité GPa	Résistance aux			
				Acides	Bases	Solvants	U.V
Polyester standard	13-40	510-690	10-20	+++	+	++	++
Polyester Haute ténacité	11-15	1000-1173	12-15	+++	++	++	++
Polyéthylène standard	18-30	475		+++	+++	++	++
Polyéthylène Haute ténacité	3.5	2570-3100	87-100	+++	+++	++	++
Polypropylène standard	25	409	6.42	+++	+++	++	++
Polypropylène Haute ténacité	18-22	580-664	7.21	+++	+++	++	++

VI-1- Fabrication des fibres :

Les fibres textiles sont obtenues par le procédé en ligne suivant : **[3]**

•Fusion.

•Extrusion (1000 m.min-1).

•Etirage : le diamètre des fibres obtenues est de l'ordre de 10 à 30 Pm.

•Assemblage.

VI-2- Modes d'assemblage :

On distingue deux types de géotextiles différant par leur mode d'assemblage : **[3]**

•Les non-tissés, qui se présentent sous forme de nappes dans lesquelles les fibres sont liées par différents procédés mécaniques (aiguilletage), thermiques (thermosoudage) ou chimiques (emploi d'un liant d'apport).

•Les tissés, qui sont très résistants mais quelquefois insuffisamment déformables.

VII- IDENTIFICATION ET CERTIFICATION DES GEOTEXTILES :

Afin de caractériser les géotextiles pour ses différentes utilisations, il est nécessaire de réaliser une série d'essais physiques, mécaniques et hydrauliques. Le tableau I.3 regroupe l'ensemble des normes permettant de conduire cette caractérisation. Certains essais, dits essais de performance visent à évaluer au laboratoire la performance réelle que présentera un produit sur site, en simulant le mieux possible les contraintes auxquelles sera soumise le produit. D'autres essais, dits index, moins représentatifs de la réalité, permettent de caractériser facilement et donc à moindre coût, certaines propriétés pertinentes du produit. **[1,6]**

Tableau I.3 : Propriétés des géotextiles et récapitulations des normes [6]

Pays d'application / Propriétés	Canada	ISO	USA	France
Physiques				
Comportement en friction	ONGC 148.1-22	ISO 12957.1	ASTM D5321	

Epaisseur	ONGC 148.1-3	ISO 9863	ASTM D5199	NF G 38-012
Masse surfacique	ONGC 148.1-2	ISO 9864	ASTM D5261	NF G 38-013
Résistance à la chaleur			ASTM D5494	
Résistance à l'abrasion	ONGC 148.1-16	ISO 13427	ASTM D4886	
Rigidité en flexion	ONGC 148.1-14			NF G 38-021-2
Résistance aux UV		ISO 12959	ASTM D4355	
Résistance microbiologique		ISO 12961	ASTM D3083	
Distribution en taille des pores	**SAGEOS GX005**			
Mécanique				
Résistance en traction par arrachage	ONGC 148.1-7.3		ASTM D4632	
Résistance à l'éclatement	ONGC 4.2-11.1		ASTM D3786	
Résistance à la déchirure	ONGC 4.2-12.2	ISO 13434	ASTM D4533	NF G 38-015
Résistance en compression			ASTM D1621	
Résistance au poinçonnement statique		ISO 12236	ASTM D4833	NF G38-019
Résistance au poinçonnement dynamique		ISO 13433		NF EN 918
Comportement en protection				NF P 84-507
Résistance en traction-bandes larges	ONGC 148.1-7.2	ISO 10319	ASTM D4595	NF G 38-014
Résistance des coutures	ONGC 148.1-12	ISO 13426	ASTM D4884	
Comportement en fluage		ISO 13431/2	ASTM D5262	
Hydraulique				
Perméabilité à l'eau	ONGC 148.1-4	ISO 11058	ASTM D4491	NF G38-016
Perméabilité à l'eau sous-charge	ONGC 148.1-5		ASTM D5493	

Transmissivité à l'eau	ONGC 148.1-9.2	ISO 12958	ASTM D4716	NF G38-018
Ouverture des pores	ONGC 148.1-10	ISO 12956	ASTM D4751	NF G38-017
Mouillabilité	SAGEOS GX004	ISO 13436		NF G38-020
Gradient critique en filtration	SAGEOS GX006		ASTM D5101	
Colmatage biologique			ASTM D1987	
Efficacité en filtration de suspension			ASTM D5141	

VIII- CARACTERISATION DES GEOTEXTILES DE RENFORCEMENT :

Le principe du renforcement de sol décrit précédemment retranscrit les caractéristiques importantes à prendre en compte pour le choix du type. Divers types d'essais normalisés permettent de caractériser ces matériaux, Parmi les propriétés mécaniques essentiels des géotextiles, deux d'entre elles sont obligatoires :

VIII-1- Essai de traction directe: R_T (kN/m) résistance à la traction et J (kN/m) module sécant Une éprouvette de textile de dimension standard 10×50 cm, est bloquée (ou non) par épinglage afin d'éviter les déformations transversales au sens de traction. Ces déformations de strictions sont empêchées afin de pouvoir considérer le problème comme bidimensionnel. L'allongement à la rupture est une valeur calculée conventionnelle ε_r à partir de la déformation moyenne à la rupture ε_1 et la déformation correspondante dans la direction per ndiculaire ε_2, au milieu de l'éprouvette. **[1]**

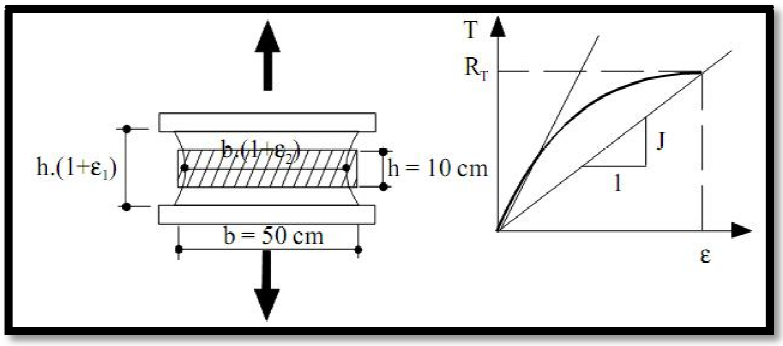


Figure I.14: Essai de traction directe et diagramme de traction

La relation entre l'effort de traction T par unité de largeur de textile et l'élongation relative ε peut être approché soit par une hyperbole T = ε/ (a ε+ b). Soit par une droite T=J.ε. Le coefficient J est nommé "module de déformation plane" du géosynthétique. La simplification par un comportement linéaire est communément admise.

VIII-2- Essai de déchirure :

R_d(Kn) résistance à la déchirure La mesure se fait sur une éprouvette trapézoïdale de grandes dimensions : 670 mm et 475 mm de hauteur. Il s'agit de quantifier les efforts nécessaires pour déchirer le textile et surtout l'effort nécessaire à la poursuite d'une déchirure de 50 mm déjà amorcée. Cet essai dépend beaucoup de la vitesse de chargement, en effet les non-tissés résistent d'autant mieux que l'effort est appliqué lentement : leurs fibres libres se réorganisent dans la zone de déchirure. Les essais statiques ont une vitesse de v=50mm/mn et les essais dynamiques de v=58,3 mm/mn. Le paramètre vitesse a peu d'influence sur les tissés. **[1]**

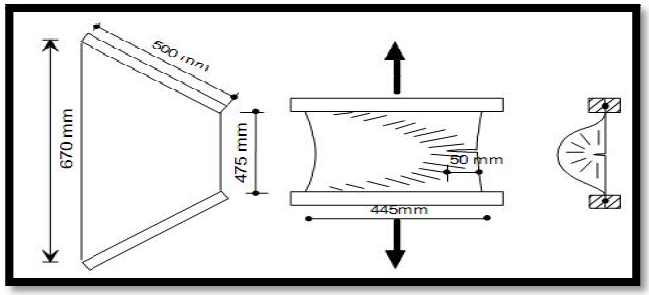


Figure I.15 : Essai de déchirure

IX- CARACTERISATION DU SOL ET DE L'INTERFACE :

Le sol constitue l'essentiel en volume de la structure et peuvent être traités ou non. Leur comportement ainsi que celui de leur interface avec les géosynthétiques interviennent de façon importante dans le comportement de la structure. Dans le cadre de notre étude, nous allons présenter les paramètres de ces matériaux qui à introduire dans les modèles de calcul.

IX-1- Comportement mécanique du sol de remplissage :

Nous supposons que le sol est homogène, isotrope et élastique et nous cherchons à lui attribuer des caractéristiques mécaniques caractérisant sa déformabilité et sa rupture. La détermination de ces paramètres peut se faire à l'aide d'essais normalisés de laboratoire tels que essai de cisaillement à la boîte de Casagrande, essai Oedométrique ou essai triaxial. D'autres essais réalisés in situ permettent d'obtenir directement certains paramètres (essai pressiométrique) ou indirectement par l'utilisation

de relations empiriques (essai CBR, essai de plaque, et essai pénétromètrique). Ces essais sont largement utilisés par les ingénieurs pour obtenir les éléments nécessaires à leurs études.

IX-2- Caractérisation de l'interface sol-géosynthétique :

L'interface est caractérisée à partir d'essais de frottement et d'arrachement. Ces essais ont été réalisés à l'INSA de Lyon [BAC 81], à l'IRIGM [COL 87] [RAT 87] au moyen d'une boîte de Casagrande de grande dimension. Soit φ l'angle de frottement interne du sol, δ l'angle de frottement sol-géotextile et les résultats mesurés lors de l'essai : σ_N= P/S la contrainte normale et τ_{max}=T/ S la contrainte tangentielle à la rupture, on obtient alors tan(δ)= τ_{max}/σ_N.

On détermine alors le niveau d'interaction sol-géotextile f = ta δ)/tn(φ).Grâce à ces essais, l'influence de différents paramètres a pu être déterminée.

IX-3- Essai de frottement :

IX-3-1- Influence de l'effort de confinement P :

Une augmentation de l'effort normal entraîne une diminution de l'angle de frottement. Sous faible contrainte, le sol est dilatant dans la zone adjacente au géosynthétique et sous forte contrainte il est contractant.

IX-3-2- Influence de la granulométrie :

Plus la granulométrie est grande plus f est grand. En effet si la granulométrie du sol support augmente, la surface du géosynthétique est de moins en moins plane, ce qui donne une surface de frottement effective plus grande. Si la granulométrie du sol de couverture augmente, f diminue, quel que soit le sol support. L'arrangement des particules du sol support au voisinage du géosynthétique est d'autant plus lâche que sa granulométrie est forte. Le géosynthétique joue un rôle séparateur, perturbant l'arrangement granulaire.

IX-3-3- Influence de l'angularité :

f croit lorsque l'angularité du sol de couverture augmente car le poinçonnement du support dû à l'angularité augmente le frottement résultant. De même f augmente lorsque l'angularité du sol support augmente J =Δl/ l_o

IX-3-4- Influence de la rigidité en traction :

Le géosynthétique le plus rigide est le moins efficace, l'interface étant plus plane, il entraîne un déplacement relatif moins important pour mobiliser le frottement maximal.

IX-3-5- Influence de la dimension des pores :

Pour une granulométrie de sol donnée, il existe une dimension de pores, c'est-à-dire un diamètre moyen approximatif des pores, optimale ; les particules de sol s'imbriquant dans le maillage du géosynthétique celui-ci constitue alors un lien entre les particules granulaires analogue à une cohésion.

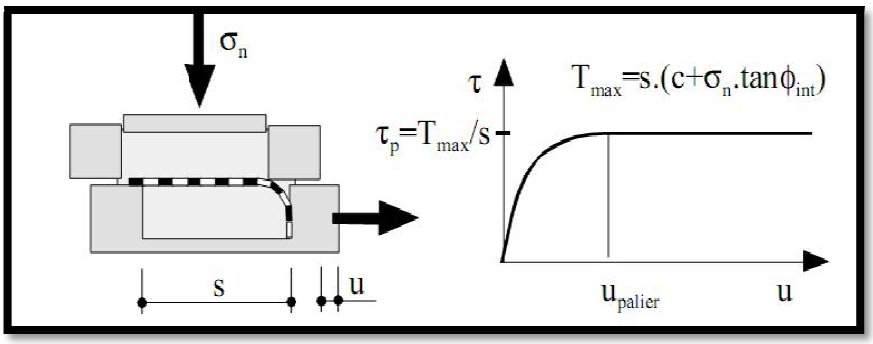


Figure I.16 : Essai de frottement

IX-4- Essai d'ancrage, d'arrachement ou d'extraction :

L'angle de frottement en ancrage est inférieur à l'angle de frottement classique présenté ci-dessus. Ici une augmentation de la contrainte normale entraînera une augmentation de f. L'état de surface est très important, une armature non plane entraîne un déplacement d'une zone de sol adjacente au géosynthétique alors qu'une armature lisse glissera sans dés arrangement important du sol adjacent. L'extraction de l'armature entraîne une mise en plasticité du sol adjacent. L'effort d'ancrage augmente très vite avec la densité en place.

La répartition des tractions dans l'armature dépend de son module de déformation. Ainsi plus le géosynthétique sera "rigide" plus le glissement de rupture sera attient tous points en même temps; plus il sera "souple" plus la progression du phénomène de rupture à partir de la tête de l'ancrage sera lente.

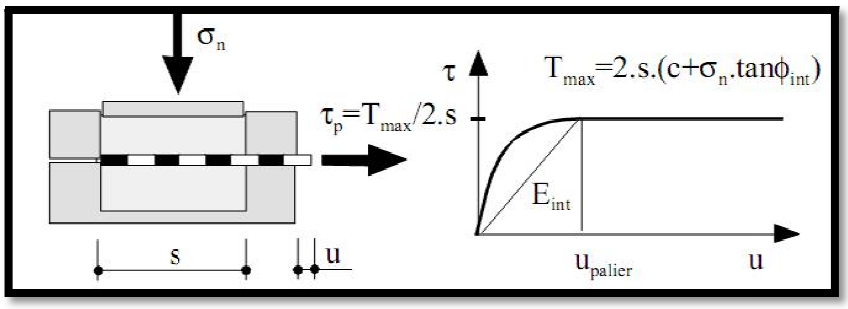


Figure I.17 : Essai d'ancrage ou d'arrachement [6]

IX-4-1- Dispositif d'extraction d'une bande de géotextile :

L'approche expérimentale consiste à extraire une bande sous divers états de contrainte verticale appliqués par une membrane en caoutchouc gonflée entre 0 et 100 kPa. Cette membrane gonflée l'air permet d'appliquer sur le massif de sol une contrainte verticale précise et répartie de façon quasi uniforme visualisée à l'aide d'un manomètre. L'extraction est réalisée à l'aide d'un vérin hydraulique. Ce vérin est fixé sur un portique ancré dans une dalle de 30 cm d'épaisseur fortement armée. La cuve métallique, de dimension interne 0,75 m de hauteur pour une section carrée de 1,00m de coté est également fixée sur la dalle en béton armé. Un capteur LVDT permet de vérifier la non déformabilité de la cuve métallique lors des divers essaies. L'instrumentation réalisée (voir figure I.18) permet d'établir la relation force déplacement d'une bande d'ancrage en cours d'extraction.de plus un capteur LVDT est connecté en fin de nappe afin d'enregistrer le moment où l'ensemble de la bande textile est entièrement en mouvement.

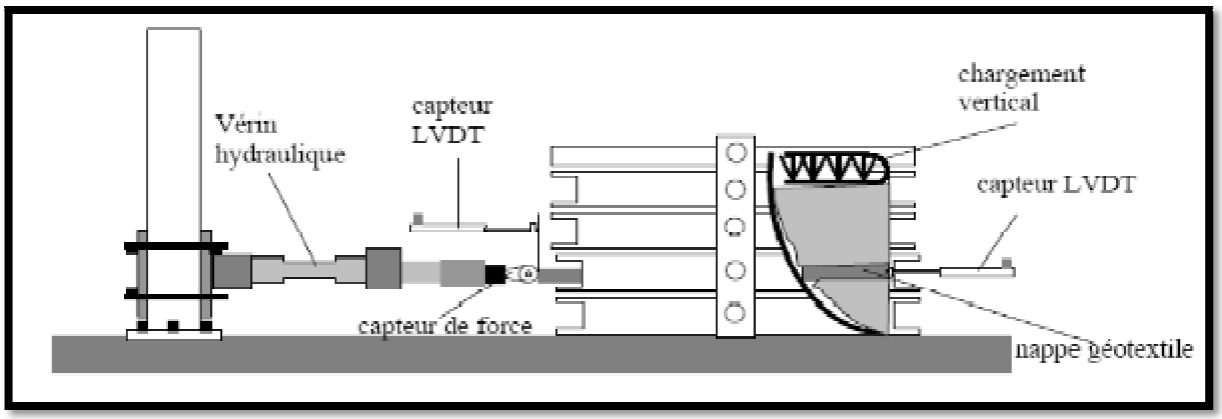


Figure I.18 : Schéma de principe expérimental

Equilibre d'un élément de nappe :

Une étude locale est menée pour étudier le comportement d'une nappe d'ancrage, de largeur (b), soumise à un déplacement, (voir figure I.19).

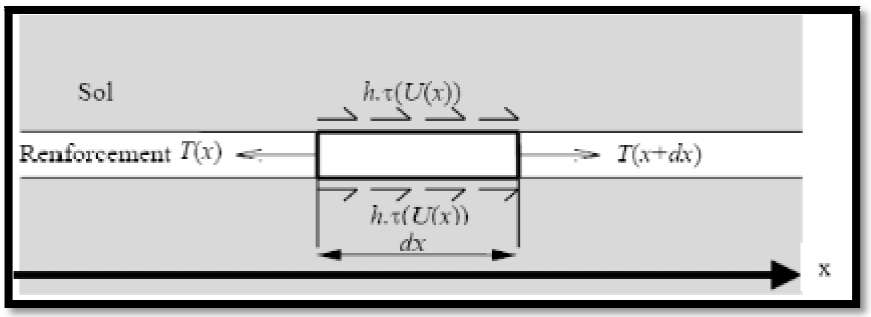


Figure I.19 : Equilibre locale d'un élément de nappe [2]

On aboutit à :

$$dT(x)/dx = -2\ b.\tau\varepsilon(x))$$

La solution de l'équation dépend de l'expression de $\tau(\varepsilon)$ qui est choisie bilinéaire, et qu'elle est la loi d'interaction sol-géosynthétique définit par Collios et Ratel utilisée pour le développement des différents logiciels utilisés en France est : **[1]**

- Pour $\varepsilon < \varepsilon_{palier}$ comportement linéaire $\tau = E_{int}.\varepsilon$
- Pour $\varepsilon > \varepsilon_{palier}$ comportement linéaire $\tau = \tau_p$

Avec τ la contrainte de cisaillement à l'interface et ε le déplacement relatif sol renfort. La caractérisation de cette interface peut être réalisée à parti d'essai de cisaillement direct ou à part d'essais d'extraction. Classiquement [COL-81] [REI-96] [SAW-98]… Le modèle d'interface retenu est un modèle élastoplastique parfait caractérisé par un module d'interface E_{int} (N/m^3) et une contrainte de cisaillement maximale correspondant au palier plastique τ_p.

IX-4-2- Hypothèses comportementales :

Les lois de comportement retenues sont conformes à celles généralement utilisées [COL-81] [SAW-98] [REI-96].

Concrètement, on caractérise un géotextile par sa résistance à la rupture Rt (N/ml) et un module sécant J (N/ml) pour un état de déformation fixé.

L'interface sol-géotextile est modélisée ici par une loi élastoplastique parfaite avec un palier

de plasticité τ_p qui correspond à la contrainte de cisaillement maximale mobilisable. Cet état de contrainte est atteint pour un déplacement relatif sol-géotextile noté ε_p. Avant l'atteinte de ce critère de plasticité la pente initiale de la figure I.18 est régie par un module d'interface E_{int} (N/m3). **[1]**

X- CONCLUSION :

Les terres ont un module d'élasticité assez faible et donc ne sont pas capables de supporter toutes les forces que les constructions exercent lors de la mise en place des charges. Les forces de traction ainsi apparues peuvent être transmises et absorbées par des géosynthétiques, géogrille, géotextile ou géocomposite. Les géosynthétiques agissent comme un renfort, alors on parle de la terre renforcée (armée).

La famille des produits géosynthétiques comprend un grand nombre de produits manufacturés, à base de matériaux synthétiques et naturels, sous la forme de feuilles, bandes ou panneaux, utilisés en ingénierie géotechnique, environnementale, hydraulique et dans les ouvrages routiers. La notion de géotextile introduite permet de préciser les caractéristiques mécaniques prises en compte lors de leur utilisation en renforcement de sol, ces caractéristiques sont principalement la résistance à la traction le module sécant et l'interaction sol géotextile.

Il est important d'adopter une méthodologie de travail qui s'articule autour de données essentielles pour garantir la stabilité interne d'un ouvrage renforcé par géotextile, concrètement le plan d'assurance qualité proposée fait ressortir une série de points qui sont :

- Le contrôle des caractéristiques mécaniques du géotextile,
- L'identification du matériau de remplissage (classification GTR, capacité à être compacté),
- Le contrôle de mise en œuvre (respect des coupes, connections inter-nappes…),
- Le contrôle de compactage,
- Le contrôle de la mise en œuvre du parement.

Et cela pour garanti l'amélioration des caractéristiques mécaniques des sols ; réduire l'interpénétration des matériaux d'apport avec les sols en place et diminution des mouvements de terre ; diminuer le mélange indésirable de terres et les exigences de transfert de matériau ; modifier les structures routières et ferroviaires pour en augmenter les capacités ; diminuer les contrôles ; réduis les délais de construction (possibilité de travailler pendant la période hivernale) ; augmenter la sécurité et la stabilité des remblais ; enfin préserver l'aspect naturel du paysage et optimiser les coûts de construction.

CHAPITRE II : GLISSEMENTS DE TERRAINS ET METHODES DE CONFORTEMENT

I– Introduction:

L'objectif de ce chapitre est de définir en premier lieu les différents types de glissements de terrain selon leur vitesse (les écoulements, les coulées, le fluage et les glissements) et selon la morphologie de leur surface de rupture et d'envisager en second lieu les principaux causes qui peuvent mobiliser ces glissements et de citer en dernier lieu les différentes informations nécessaires pour identifier le type de glissement de terrain probable et son degré de danger vis-à-vis à son intensité.

La détermination du type de glissement de terrain (glissement plan, circulaire ou quelconque) selon les informations disponibles tel que la géométrie, les caractéristiques mécanique et élastique, et surtout la présence des eaux souterraines et des nappes phréatiques, permet de proposer des analyses et méthodes de calculs pour les différentes modes de rupture.

Qu'il s'agisse de glissements de terrain, d'éboulements ou encore de coulées boueuses, on est cependant toujours en présence du déplacement gravitaire d'un volume de roche ou désoles déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (forte pluie, cycle gel/dégel, séisme, fonte des neiges…) ou anthropiques (terrassement, déboisement…).

Ces différents phénomènes évoluent irrégulièrement dans le temps, passant de phases d'évolution lentes à des phases d'accélération parfois brutale à l'origine de catastrophes plus ou moins graves.

La vitesse de déplacement des différents phénomènes permet de distinguer deux grands ensembles de mouvements de terrain: les mouvements lents et continus pour lesquels la déformation est progressive, parfois accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale. Il s'agit des phénomènes de fluage et des glissements. Les mouvements rapides et discontinus, eux-mêmes divisés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux : en masse lorsqu'il s'agit de matériaux rigides (roche), ou à l'état remanié quand il

s'agit de matériaux meuble (argile). Ce sont les chutes de pierres et de blocs, les éboulements, les coulées boueuses.

Les confortements des talus au glissement est l'ensemble des méthodes qui servent à stabilisés la masse de terrant instable.

Le choix de la méthode de confortement varié d'une part avec les caractéristiques et l'état de chaque site comme le type des sols, les conditions de drainage et les surcharges, et d'autre part avec le coût économique (quand il existe plusieurs solutions de confortent). [7,8]

II - Description des glissements de terrain :

Il existe de nombreuses classifications des glissements de terrain basées sur différents critères (nature de terrain, cinématique du mouvement, vitesse du mouvement, morphologie de la surface de rupture, cause de la rupture…). Nous ne décrirons dans ce paragraphe que celles basées sur la cinématique du mouvement et la morphologie de la surface de rupture.
Nous rappelons dans la figure (II.1) le schéma en bloc diagramme d'un glissement de terrain avec sa terminologie détaillée.

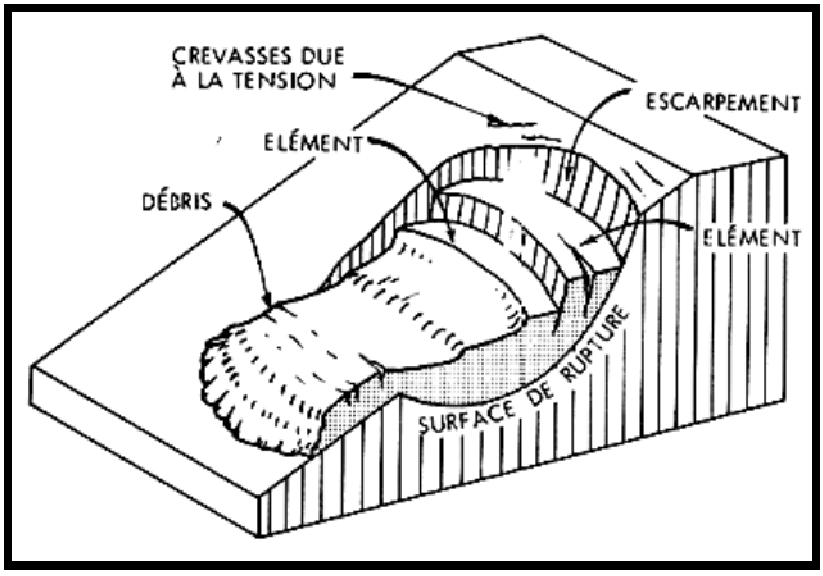


Figure II.1 : Cinématique du glissement

II - 1 - Vitesse et durée des mouvements :

L'évolution dans le temps d'un glissement de terrain peut conduire à distinguer 4 familles qui se différencient par la brutalité du phénomène :

- les écroulements ;
- les glissements ;
- les fluages ;
- les coulées

II– 1 – 1 - Les écroulements et les éboulements :

Les éboulements au sens large (phénomènes de chute) sont des mouvements rapides de masses. Le matériel éboulé, qui s'est détaché du massif rocheux selon des surfaces de discontinuité (pendage, schistosité, fissures ou fractures), parcourt la plus grande partie de son déplacement dans l'air.

Ces phénomènes peuvent être classés en trois catégories: chutes de pierres et de blocs, éboulements (au sens strict) et écroulements. En général, on peut les subdiviser en trois domaines: la zone d'arrachement, la zone de transit et la zone de dépôt.

II– 1 – 1 - a-Chutes de pierres et de blocs :

Les chutes de pierres et de blocs sont caractérisées par la chute sporadique de blocs plus ou moins isolés (pierre: Ø < 50cm; bloc: Ø > 50cm).

Ce processus, répété ou soumis à des pointes saisonnières, caractérise la désagrégation continuelle d'une falaise rocheuse, déterminée par ses conditions géologiques, son exposition et son altération. L'estimation du volume des matériaux rocheux qui présente un danger potentiel de chute n'est possible qu'au moyen d'études détaillées de la roche.

Les vitesses de chute vont généralement de 5 à 30 m/s. Dans la description des mouvements d'une pierre ou d'un bloc, il convient de distinguer entre les phases de rebond et de roulement.

Dans les pentes dont l'inclinaison est inférieure à 30° environ, les pierres et les blocs en mouvement tendent en général à s'arrêter. La forêt joue un rôle très important, par le fait que l'énergie cinétique de la plupart des blocs est fortement réduite par leurs chocs contre les arbres.

II– 1 – 1 - b– Eboulement :

Lors d'un éboulement (au sens strict), un volume de roche important, se fragmentant plus ou moins intensément, se détache en bloc du massif rocheux et s'éboule. Le volume de matériaux concernés est en général compris entre 100 et 100000m3 par événement. Dans des cas exceptionnels, des volumes sensiblement plus grands peuvent s'ébouler.

Dans la pratique, l'estimation d'un volume de roche qui présente un danger potentiel d'éboulement exige des études détaillées du massif rocheux, comprenant une analyse approfondie de l'orientation spatiale des surfaces de discontinuité.

Le mode de rupture au sein du massif a en général peu d'influence sur le déroulement de l'événement. En comparaison avec le phénomène d'écroulement, les interactions entre les éléments de roche formant l'éboulement et l'énergie mise en œuvre sont relativement limitées. Les vitesses de transport se situent principalement entre 10 et 40m/s.

II– 1 – 1 - c– Ecroulement :

Lors d'un écroulement, un grand volume du massif rocheux (un à plusieurs millions de m3) se détache soudainement, sans que le mode de rupture correspondant ne soit déterminant. Le mécanisme initial peut par exemple s'expliquer par le développement d'une surface de glissement inclinée. Le mécanisme de mouvement de l'écroulement est déterminé par la topographie, de même que par l'interaction marquée entre les composants de la masse écroulée et par leur fragmentation intense. [11]

Les caractéristiques particulières de ce phénomène sont des vitesses de chute élevées (de plus de 40m/s) et de très grandes distances de transport (pouvant souvent atteindre plusieurs kilomètres). Compte tenu des grands volumes concernés, les écroulements peuvent modifier

le paysage de façon durable. Les énormes masses écroulées forment souvent des barrages naturels dans les vallées de montagne, obstruant les cours d'eau et créant des retenues; en cas de rupture catastrophique du barrage, elles entraînent un danger d'inondation pour les régions en aval.

II– 1 - 2 - les glissements :

Les glissements de terrain sont des mouvements de masses compactes et/ou de terrain meuble glissant vers l'aval. Ils résultent d'une rupture par cisaillement et se produisent-engénéral sur des talus ou des versants de pente modérée à raide. Les instabilités naturelles de ce genre sont extrêmement courantes et apparaissent sous de nombreuses formes, étonnamment diversifiées.



Figure II.2 : Un glissement.

La plupart du temps, l'eau joue un rôle important dans les glissements de terrain, par l'action des pressions interstitielles, des écoulements souterrains ou par les pressions dues au gonflement des minéraux argileux. En simplifiant beaucoup, on peut distinguer deux types de glissements:

II– 1 - 2 –a- Les glissements de type rotationnel :

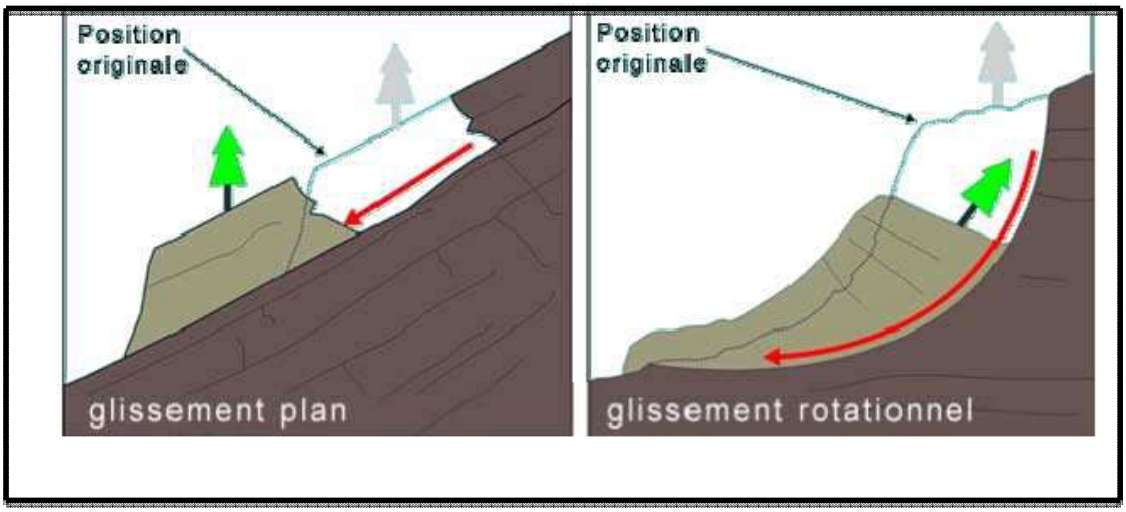
Sont en général de volume limité. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux et silteux. Dans une coupe verticale, la surface de glissement est circulaire et plonge presque verticalement dans la niche d'arrachement. En règle générale, le mécanisme du glissement ne provoque qu'un faible remaniement interne du matériel glissé.

Des dépressions avec crevasses ouvertes et des fissures de traction sont souvent visibles dans la moitié supérieure du glissement, alors que la masse glissée tend à s'étaler et à se désagréger au front du glissement, où peuvent se former des écoulements de boue (coulées de terre) en cas de saturation en eau de la masse.

II– 1 - 2 –b- Les glissements transrationnels :

Lors de glissements transrationnels, les couches de terrain ou les ensembles de couches stratifiées glissent sur une zone de faiblesse existante (souvent pendage stratigraphique, discontinuité stratigraphique, schistosité, plan de fissure ou de rupture). En plan, la taille de tels glissements est très variable et peut comprendre des surfaces allant de quelques mètres carrés à plusieurs kilomètres carrés.

L'épaisseur des masses en mouvement atteint fréquemment plusieurs dizaines de mètres. Les zones de flysch, les schistes marno-calcaires ou les schistes métamorphiques sont les formations les plus sujettes à ce genre de glissement.
La figure ci-dessous schématise les deux types de glissement.



(a) **(b)**

Figure II.3 : les deux types de glissement (plan (a) et rotationnel (b))

- **Vitesse moyenne de mouvement des glissements:**

La vitesse moyenne de mouvement des glissements atteint le plus souvent quelques millimètres par an pour un glissement substabilisé, très lent, et quelques centimètres à quelques décimètres par an pour un glissement actif.

Il existe quelques cas exceptionnels où le glissement peut être bien plus rapide et où la masse en mouvement, sans perdre sa compacité, peut atteindre plusieurs décimètres par jour.

Exceptionnellement, des mouvements très rapides peuvent se produire.

Tableau II.1 : Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.

Glissement	**Vitesse de glissement**
substabilisé, très lent	0 – 2 cm/an
peu actif, lent	2 – 10 cm/an
actif (ou lent avec phases rapides)	> 10 cm/an

- **Classification :**

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements (comme mesure de leur activité). Lors de l'évaluation du danger potentiel que représente un glissement, on ne doit pas seulement considérer le volume ou la vitesse du glissement.

Il faut aussi tenir compte des mouvements différentiels qui se manifestent et qui peuvent conduire au basculement des bâtiments ou à la formation de fissures. Les glissements peuvent aussi se transformer en glissements coulée (coulées de terre) et atteindre des zones très étendues. Il faut enfin prendre garde aux interactions entre glissements de terrain et cours d'eau, par lesquelles de grandes masses de matériaux alluvionnaires peuvent être mobilisées.

Ce phénomène peut conduire à la formation d'une retenue sur un cours d'eau, puis entraîner des débâcles (laves torrentielles) qui mettent en danger les zones situées en aval.

Tableau II.2 : Classification selon la profondeur de la surface de glissement (En m sous la surface du sol).

Glissement	**Surface de glissement**
superficiel	0 – 2m
semiprofond	2 – 10m
profond	>10m

II– 1 – 3 - Solifluxion, coulées boueuses et glissements coulées :

D'une manière générale, la solifluxion et les coulées de boue désignent tous les mouvements de sols ou formations superficielles, en relation directe avec le franchissement des limites de liquidité.

Les coulées ont lieu dans des formations argileuses, ou a granulométrie très fine, (argilite normalement consolidée à sur consolidée, marnes, schiste argileux, flysch argileux…) fissurées et saturées à plasticité moyenne.

Etant donné le caractère très particulier des formations argileuses (présence d'argiles gonflantes, forte sensibilité des caractéristiques mécaniques aux conditions hydriques, …), les processus d'altération mécanique et chimique prennent une importance considérable dans les processus de déclenchement des coulées boueuses. Les conditions climatiques, les apports d'eau superficiels et les nappes souterraines jouent un rôle important.

Sur le terrain, et d'un point de vue morphologique, les mouvements de solifluxion, ou d'anciennes coulées encore actives peuvent se repérer de plusieurs manières : traces de mouvements, présence de bourrelets, présence de petites marches d'escaliers, mais aussi grâce à la courbure des troncs des arbres présents.

Une coulée active présente, comme un glissement, une morphologie particulière qui peut se décomposer en trois grandes parties :

- une zone source : zone en forme de cuvette ;
- une zone de transition : chenal, limité par des levées latérales, assez long ou lobé, et alimenté par la zone source où transite les matériaux mobilisés ;
- une zone d'accumulation ou lobe : zone de faible pente ou les matériaux ont tendance à s'accumuler.

Dans certains cas, des glissements antérieurs peuvent déterminer la position d'une nouvelle coulée en raison des modifications occasionnées sur les écoulements souterrains.

Cette situation est, parfois, encore plus marquée, puisque les matériaux du glissement, en cours de progression, deviennent à l'aval des matériaux sources pour la génération d'une coulée de boue. Pour ce type d'événement, on parle de glissement coulée.

Les glissements du type "coulées boueuses" sont en général des événements rapides et de forte intensité, avec une « fluidisation » des matériaux glissés au niveau de la coulée.
Ces matériaux présentent une faible cohésion initiale, et évoluent rapidement en une masse sans cohésion.

Une coulée, après son déclenchement, peut aussi continuer à évoluer lentement, par fluage ou par des phénomènes de solifluxion localisés, suivant les apports d'eau qu'elle reçoit, soit par infiltration directe, soit par le versant.

Les coulées boueuses se comportent donc, d'un point de vue rhéologique, comme un fluide à seuil, c'est-à-dire un fluide qui a besoin d'une sollicitation en cisaillement minimum pour s'écouler.

II– 1 – 4 – Le fluage :

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faibles.
Dans le cas de fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture. Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : en fait le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évolué vers une rupture.

La figure ci-après (figure II.3) montre le mécanisme du phénomène de fluage.

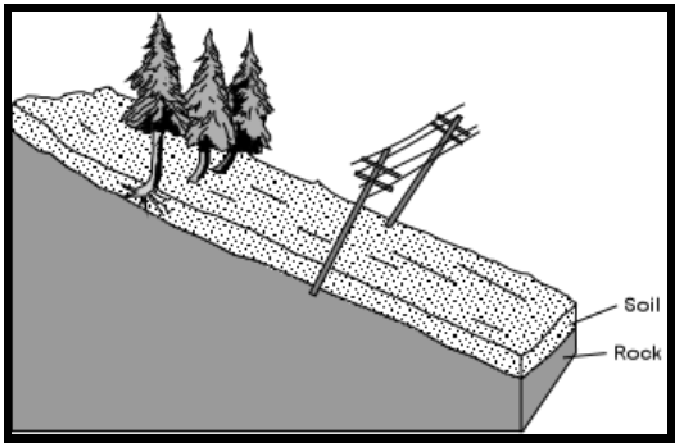


Figure II .3 : le phénomène de fluage.

On distingue deux grandes catégories de déformation de fluage :
- la déformation volumique ;
- la déformation de cisaillement.

Le fluage en déformation volumique est causé par un état de contrainte isotopique.
Il dépend de l'écoulement de l'eau libre interstitielle et de la variation relative du volume du squelette inter granulaire.

Le fluage au cisaillement, quant à lui, est provoqué par la partie dévia torique du tenseur de contraintes.

Théoriquement la pression interstitielle est nulle alors le squelette inter-granulaire supporte les contraintes appliquées tout seul.

La déformation de fluage au cisaillement est étudiée à l'aide de l'appareil triaxial, de la boîte de cisaillement homogène, ou de la boîte de cisaillement plan.

II– 2 –Forme de la surface de rupture :

La forme des surfaces de rupture dépend beaucoup des caractéristiques du matériau. Dans les terrains plutôt rocheux, les surfaces de glissement seront liées aux surfaces de discontinuité, dans des terrains plus meubles et homogènes, les surfaces de rupture seront grossièrement des cercles en deux dimensions ou des ellipsoïdes en trois dimensions. Dans des terrains hétérogènes, les surfaces de rupture pourront être une combinaison de surfaces circulaires et planaires, mais cela pourra être une forme quelconque. La surface de rupture, d'une manière générale, passera par les zones de terrain dont les caractéristiques sont les plus faibles.

III- Causes de glissements :

Les mouvements de terrain sont des déplacements (avec ou sans rupture) vers l'aval de masses rocheuses compactes ou désagrégées et/ou de terrain meuble (sols y compris) et d'eau, sous l'effet de la gravité.

Ils peuvent se produire sous forme de processus brutaux (chute de pierres et de blocs, éboulement et écroulement, glissement soudain, coulée boueuse, effondrement) ou lents et progressifs (fluage, glissement lent permanent).

Les processus à l'origine des mouvements de terrain sont très complexes et dépendent rarement d'une seule cause. La géologie, le relief et l'exposition sont des paramètres fondamentaux, plus ou moins constants sur de longues périodes; ils déterminent la prédisposition générale du terrain aux phénomènes d'instabilité. Le processus qui mène à une telle instabilité commence en fait dès la formation de la roche, c'est à dire lorsque les propriétés chimiques et physiques de celle-ci sont bien établies. Ces propriétés déterminent notamment son comportement face à l'altération et à l'érosion.

Les mouvements de terrain résultent d'un changement de l'équilibre des forces dans le versant (rapport entre forces résistantes et forces motrices), à la suite de processus physiques et / ou chimiques qui, à leur tour, dépendent de différents facteurs. Ainsi, les processus d'altération agissant à long terme (conduisant à une diminution des forces résistantes), de même que les fluctuations de la nappe phréatique, influencent la stabilité d'un versant de manière continue. Par ailleurs, une pente peut aussi être déstabilisée rapidement, soit à la suite de l'érosion par une rivière au pied du versant, soit, mais plus rarement, suite à un tremblement de terre.[7]

En général, l'eau joue un rôle déterminant pour les mouvements de terrain, elle produit des pressions hydrostatiques dans les pores (pressions interstitielles), les fissures et les failles, de même que des forces de percolation.

A l'état de glace, elle a en plus l capacité d'induire des mécanismes de rupture notables. Par ailleurs, elle peut provoquer le gonflement des minéraux argileux (pression de gonflement).La stabilité des pentes en équilibre critique peut êtres en subliment réduite par ces divers effets.

Le déclenchement d'un processus dangereux survient lorsque la valeur limite d'un des facteurs déterminants est atteinte ou dépassée. Les cycles de gel / dégel, les précipitations éventuelles, de forte intensité ou de longue durée – éventuellement combinées à la fonte des neiges –, conduisent souvent à des mouvements de terrain spontanés.

Il n'est pas rare que les mouvements de terrain soient favorisés par des influences anthropiques. Ainsi, la surcharge d'une pente par des bâtiments et des remblais, les

excavations sans dispositifs de protection dans un versant lors de travaux de construction, la surélévation du niveau de l'eau souterraine, le dynamitage, l'exploitation inappropriée de matières premières ou l'affectation inadéquate du sol peuvent accroître le danger de mouvements de terrain. Les effets anthropiques peuvent aussi contribuer à une déstabilisation à long terme du versant, en relation avec d'autres activités comme le déboisement, l'entretien insuffisant des forêts, le surpâturage, l'exploitation intensive et la dénudation du sol.

Dans la majorité des cas, les glissements de terrain dépendent de deux causes principales : l'eau et la présence des fractions fines.

III– 1 - L'eau et les risques de glissements de terrain:

Les eaux souterraines et de surface jouent un rôle déstabilisant sur les sols et les massifs rocheux avec des manifestations qui peuvent être extrêmes comme les glissements de terrain ou les éboulements de roches.

Pour prévenir ces risques, la modélisation hydromécanique et hydrogéologique doit aller de pair avec des opérations de drainage des eaux et une surveillance.

Les nappes souterraines, et plus exactement leurs fluctuations liées aux conditions météorologiques ou parfois aux actions humaines, sont très souvent à l'origine de déclenchements des mouvements de versants: glissements, éboulements, coulées ou laves torrentielles.[7]

Sur les pentes, l'action déstabilisatrice de l'eau infiltrée dans le sol est triple :
- Accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau: cet effet est le plus souvent mineur;
- Changement de comportement rhéologique: le sol passe de l'état solide à l'état de fluide visqueux; certaines coulées de boue ou laves torrentielles sont ainsi engendrées par l'imbibition d'une masse de sol. On peut aussi évoquer, lors d'un séisme, la liquéfaction des sables sous nappe qui est à l'origine de nombreux glissements sur très faible pente. Par ailleurs, des circulations d'eau souterraine peuvent engendrer sur le long terme une altération progressive des terrains encaissants, avec dégradation de leurs caractéristiques mécaniques ;
- Action mécanique défavorable des pressions d'eau souterraine.

La lutte contre l'eau est une des actions les plus efficaces pour prévenir, stabiliser ou ralentir un glissement de terrain. La connaissance du mode d'alimentation de la nappe est indispensable pour intervenir efficacement.

Cela démontre toute l'importance de l'étude hydrogéologique pour la compréhension de l'évolution des glissements de terrain, mais aussi pour la maîtrise du risque correspondant.

Reposant sur les observations de terrain ou la pose de piézomètres, cette étude doit être menée sur une durée suffisante pour apprécier les fluctuations saisonnières ou annuelles des nappes.

L'introduction d'un modèle hydrogéologique dans l'étude de stabilité permet d'évaluer l'influence des eaux souterraines sur la stabilité et de tester l'efficacité d'un traitement par drainage. Il apparaît cependant que le couplage hydraulique/mécanique est parfois complexe. Pour de grands versants rocheux, la compréhension du rôle de l'eau dans la déformation et le mouvement est donc encore très imparfaite.

III– 2 – La présence des fractions fines:

Deux remarques relatives aux conditions du sol s'imposent. Les problèmes les plus critiques de stabilité des pentes se présentent d'ordinaire, en premier lieu, sur les sols à grains fins et particulièrement sur les argiles. Ceci résulte en partie de ce qu'il est difficile de les drainer et de ce que, sur ce genre de sol, les processus d'érosion par ruissellement et vagues amènent de nombreuses pentes au point de rupture.

Le second point concerne le comportement des sols à grain fin impliqués dans un déplacement des terres. En acquérant par moulage une autre forme, ils peuvent perdre une fraction notable de leur résistance. On désigne l'importance de cette perte sous le nom de sensibilité. Les hautes sensibilités correspondent aux grandes pertes de résistance. Il se peut, que les débris d'un glissement de terrain sur sols à haute sensibilité ne séjournent pas au pied de la pente, mais se dispersent et s'en éloignent. Il ressort de ce qui précède que les sols à grain fin sensibles au changement de forme exigent une attention spéciale sous le rapport de la stabilité des pentes.

IV - Identification de danger de glissement :

L'identification des dangers dus aux mouvements de terrain repose sur une documentation objective de diverses observations et mesures impliquant un danger donné. Il faut s'assurer de prendre en compte les différentes observations sur le site ainsi que les relevés inclinométriques en essayant de bien les interpréter.

IV– 1 - Documents de base :

IV– 1-a-Cartes topographiques :

La carte topographique est le document de base pour toute analyse de stabilité. Elle contient nombre d'informations pertinentes pour l'identification des dangers sous forme de symboles, de signes et d'autres éléments graphiques. Ainsi, par exemple, la morphologie des zones en glissement est souvent visible par le bombement des courbes de niveau; des symboles de blocs éboulés au pied d'une falaise peuvent laisser présager une production notable d'éboulis.

Le levé topographique se fait à l'échelle locale directement sur la zone concernée par le glissement, nous permet de bien tracer le profil en travers du site et de bien décrire les différentes couches des sols ainsi que leurs caractéristiques physico - mécaniques pris en compte pour l'évaluation de la stabilité du site.[9]

IV– 1- b-Cartes géologiques :

La carte géologique donne des renseignements utiles sur la lithologie, sur l'agencement structural (orientation et pendage des couches et des discontinuités) et sur la couverture quaternaire (moraine, éboulis ou glissement de terrain, par exemple).

Elle donne encore des indications sur les circulations d'eau souterraine en milieu poreux et fissuré. Sur la base de ces données cartographiques, on peut reconstituer la structure tridimensionnelle des unités géologiques et évaluer le contexte de formation de possibles mouvements de terrain.

Les différents phénomènes d'instabilité de pente, comme les glissements ou les éboulements généralisés sont représentés en général sur une carte géologique au 1:25000 par leur périmètre. Il n'est pas fait mention de l'intensité ou de la fréquence de ces divers phénomènes.

Ces informations permettent toutefois de localiser les zones sensibles aux mouvements de terrain, qui devront faire l'objet d'études plus poussées.[10]

IV– 2 - Documentation des événements :

La documentation des événements correspond à une liste d'événements observés.
Cette documentation comprend des données descriptives sur les processus déterminants, les dommages constatés, la zone affectée, les facteurs déclenchant (en particulier les conditions météorologiques), de même que d'autres données concernant le déroulement de l'événement.

La description d'un événement peut être faite avec plus ou moins de détails selon son importance et selon les dommages causés. Dans chaque cas, la documentation des événements donne au moins une réponse à la question «Que s'est-il passé, quand, où et avec quelle ampleur?».

La documentation détaillée des événements doit en outre répondre aux questions:
«Comment l'événement en cause s'est-il déroulé?» et «Pourquoi y a-t-il eu des dégâts?». Elle joue un grand rôle lors de phénomènes ayant des effets considérables et devrait être bien étayée.

IV– 3 - Carte des phénomènes :

La carte des phénomènes et le texte qui l'accompagne recensent les signes et indicateurs observés sur le terrain et procède à leur interprétation objective.

Elle représente les phénomènes liés à des processus dangereux et décrit les secteurs exposés indépendamment du degré de danger.

L'analyse de terrain contribue à l'établissement de la carte des phénomènes; elle est un complément important de la documentation de l'événement et sert à la reconnaissance et à

l'estimation des types de danger possibles (configuration, mécanisme de déclenchement, genre d'effets). Le relevé de terrain s'appuie d'une part sur l'observation et l'interprétation des formes du terrain (p.ex. les endroits critiques), sur les propriétés structurales et géomécaniques des surfaces de discontinuité dans la zone de départ des processus d'éboulement, et d'autre part sur des informations relevés sur place, (p.ex. blocs éboulés) résultant des événements dangereux antérieurs et actuels.

Elle permet aussi de tirer au clair les causes, les probabilités d'occurrence et d'autres facteurs importants ou symptômes concomitants relatifs aux événements qui se sont produits.
Afin de cartographier les dangers de manière précise, il est essentiel de connaître à fond l'état passé et actuel du terrain et d'évaluer quelle peut être son évolution possible.

Dans le cas des phénomènes de falaise (éboulement et écroulement), la simple représentation des dépôts récents observés au pied des parois rocheuses ne suffit pas.

L'évaluation des aléas (dangers potentiels) et des mécanismes de déclenchement possibles dans la zone de provenance est alors indispensable. Cette étude comprend la détermination de l'agencement structural des couches et des principales discontinuités, du degré d'altération de la falaise, ainsi que du volume probable des compartiments instables et de la taille des blocs. Ces caractéristiques peuvent être synthétisées dans une «carte dessalés».

V-Méthodes de confortement des talus:

D'une manière générale, les méthodes de confortement peuvent être groupées en quatre groupes:

- Modifications géométriques (Déchargement, Reprofilage et Substitution);
- Organes résistants en pied;
- Renforcement par inclusions rigides ou souples (clouage ou géotextile);
- Traitement chimique ou biologique (en cas des sables lâches).

V-1-Drainage:

L'eau est à l'origine de la majorité des glissements de terrain. Par conséquent, l'abaissement du niveau des eaux souterraines et la réduction de la pression des pores sont des moyens logiques d'améliorer la stabilité.

En outre, l'implantation d'un dispositif de drainage est souvent moins coûteuse que les autres méthodes de stabilisation. En conséquence, le drainage est souvent une méthode, que ce soit seul ou conjointement avec d'autres méthodes.

Le drainage assure la stabilité de la pente pour deux raisons:
- Il réduit la pression interstitielle dans le sol, ainsi que la contrainte totale et la contrainte de cisaillement;
- Il réduit les forces motrices de la pression de l'eau dans les fissures.

V – 1 – 1 - Types de drainage:

Les types de drainages profonds le plus couramment utilisés sont:

V – 1 – 1 - a - Massifs drainants:

Les massifs drainants, constitués de matériaux naturels perméables (sables, graves, cailloux, enrochements) doivent être capables d'évacuer les débits d'eau drainés. Ils sont associés à des filtres qui évitent les phénomènes d'érosion interne et de colmatage.

Ces ouvrages de drainage interne peuvent prendre la forme de masques, de tranchées, de tapis ou d'éperons drainants (voir figure **II.5**et **II.6**). Ils sont de réalisation complexe et exigent une grande minutie à la mise en œuvre.

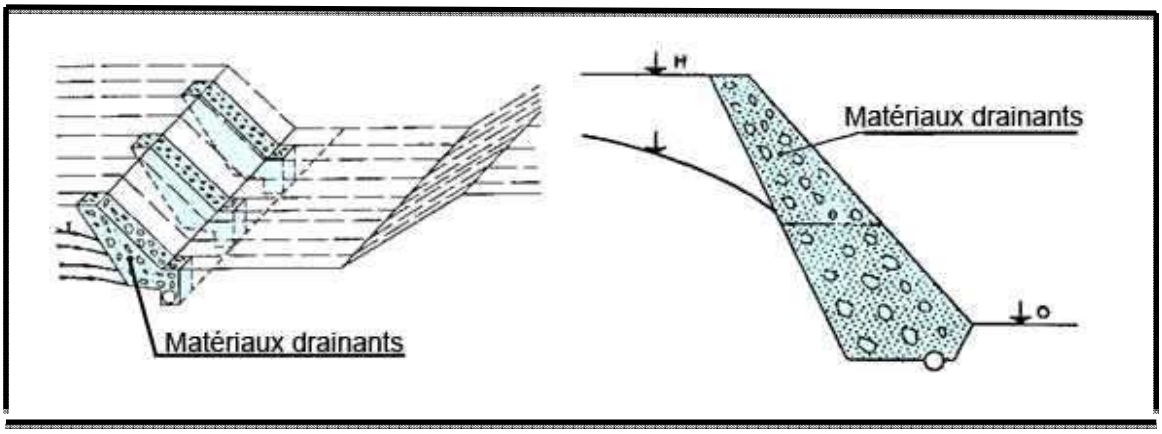


Figure II.5: Eperon drainant **Figure II.6: Masque drainant**

V – 1 – 1– b - Drains verticaux:

Les drains verticaux sont utilisés pour l'amélioration de sols saturés en eau (ex : terrains silteux ou argileux). La technique consiste à foncer verticalement dans le terrain, suivant un maillage déterminé, un drain préfabriqué. Au moment de sa mise en service, le drain véhicule l'eau du terrain jusqu'à la surface. La surcharge est apportée soit par un remblai de pré-chargement, soit par d'autres méthodes.

V – 1 – 1– c - Les drains sub-horizontaux

Lorsqu'on est en présence de masses de terre peu perméables (limons, sables argileux, argiles, terre végétale, marnes) qu'une ou plusieurs nappes d'eau rendent instables (remblais, talus), l'emploi de drains sub-horizontaux permet d'en améliorer fortement la stabilité en captant l'eau des nappes. Il s'agit de forages remontants, faits avec des sondeuses rotatives, équipés de tubes spéciaux imputrescibles, Ø voisin de 10 cm, longueur pouvant atteindre 100 m.

Leur efficacité est due non seulement au captage et à l'élimination de l'eau mais aussi à la modification des écoulements à l'intérieur de la masse de terre: une pression de courant verticale stabilisatrice se substituant à une pression de courant horizontale perturbatrice.

V – 1 – 1– d - Les galeries drainantes:

Les galeries drainantes (Figure II.7) ont en général des sections modestes (hauteur1.80 à 2.00 m, largeur 1 à 2 m) afin de permettre le contrôle et la maintenance des ouvrages.

La base de la galerie est positionnée à une profondeur légèrement inférieure à celle du niveau moyen des eaux souterraines, tandis que son sommet intercepte ce niveau.

Dans certains cas, un réseau de drains subhorizontaux peut être foré à partir de la galerie pour rendre le drainage plus efficace. Les galeries drainantes peuvent soit être laissées vides, soit être remplies avec du matériel drainant.

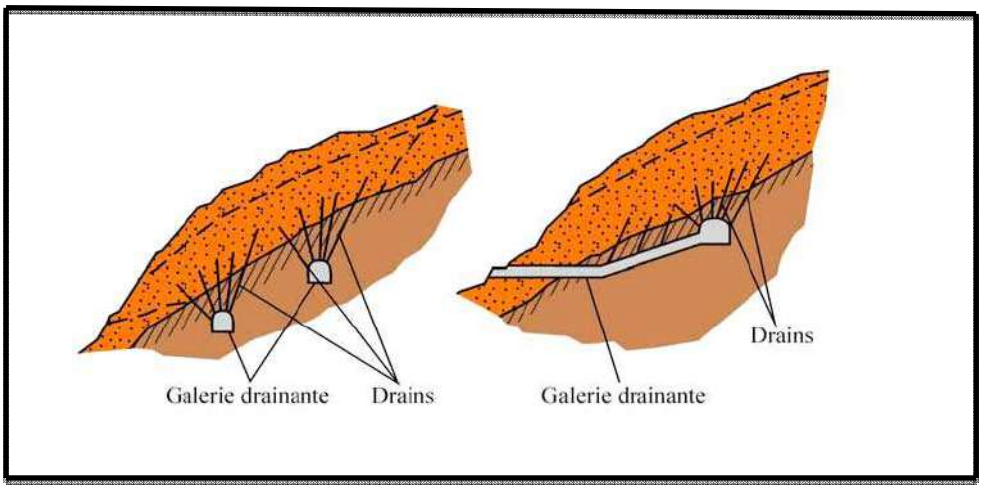


Figure II.7 : Galerie drainante

V – 1 – 1 – e - Les éperons drainants.

Les éperons drainants (Figure II.8) sont des excavations étroites (environ 1 m) mais pouvant atteindre une profondeur supérieure à 7 m, qui comportent une cunette bétonnée surmontée par un système de drainage de section variable et par une structure porteuse perméable. Les éperons drainants sont disposés selon la plus grande ligne de pente du versant, avec une distance entre eux qui dépend à la fois de la hauteur de l'éperon, de la longueur du drainage et de la profondeur de la surface de glissement. La structure porteuse de l'éperon peut être constituée par:

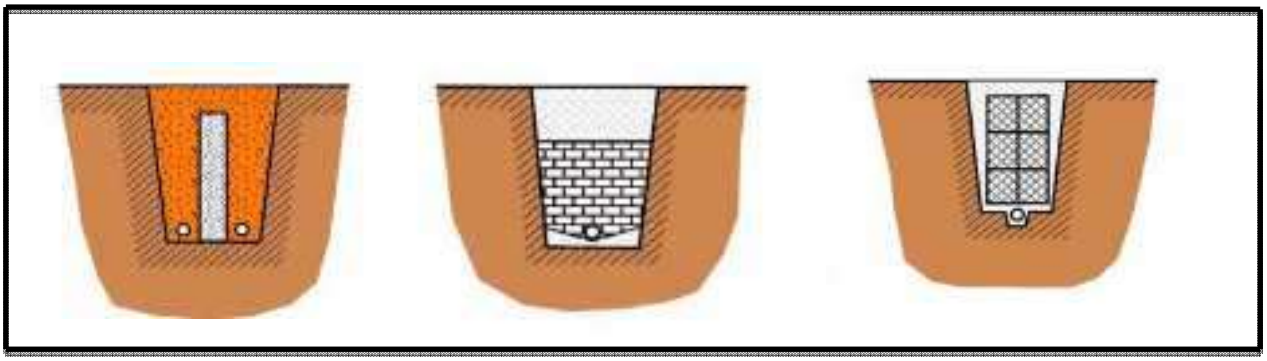


Figure II.8 : Types d'éperons drainants

- Un mur en pierres sèches, disposées en couches inclinées d'environ 30° vers le terrain, avec un niveau de graviers et de sable entourant le tube drainant.

- Un écran de gabions revêtu d'une couche de sable ou protégé par un géotextile.

- Une cloison centrale en béton séparant des parties latérales en matériel drainant sablo graveleux, protégée ou non par du géotextile.

V – 1 – 1– f- Les tranchées drainantes:

Les tranchées drainantes sont des structures allongées, disposées perpendiculairement aux écoulements. Elles ont une profondeur de 4 à 6 m et une largeur d'environ un mètre (0.80 à 1.20 m).

Dans le cas des versants peu inclinés (5 à 10º), le fond de l'excavation peut avoir une pente uniforme. Pour les pentes plus élevées ou pour des tranchées très longues, un terrassement doit être réalisé. Le fond de la tranchée est constitué par un exutoire en béton, sur lequel on dispose un tube en PVC, en béton ou en métal. Le tube est recouvert par un corps drainant, qui peut être constitué par:

- Des graviers et des sables lavés, contenant peu de particules fines recouverts par une couche de terrain végétal d'environ 50 cm d'épaisseur.

-Une couche de graviers lavés d'une épaisseur de 5 à 20 mm, complètement enveloppée dans un géotextile mis à contact avec le terrain à drainer. Le remplissage de la tranchée est ensuite complété par une couche de sable, puis par du terrain végétal.

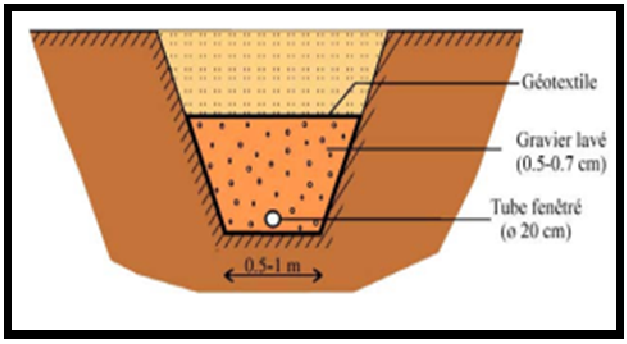


Figure II .9 : Tranchée drainant

V-1-2- Domaine d'utilisation:

Les drains subhorizontaux sont principalement utilisés:

- Dans les interventions de confortement des glissements rotationnels. Ils sont alors placés à la hauteur des zones d'arrachement.
- Dans tous les cas où l'inclinaison du versant est élevée.

Les drains subhorizontaux sont couramment associés à des puits verticaux de grand diamètre ou à des galeries drainantes. Ils sont alors disposés en éventail sur un ou plusieurs niveaux, ou parallèlement entre eux.

Les éperons drainants sont utilisés dans les interventions de confortement des pentes en mouvement qui nécessitent, à cause de la profondeur du plan de glissement, des caractéristiques lithologiques ou de l'inclinaison du terrain, l'association d'une action résistante par rapport aux poussées des terrains en mouvement à l'action drainante elle-même.

Les galeries drainantes sont couramment associées aux drains subhorizontaux et aux puits. Elles sont utilisées dans les interventions de confortement et déstabilisation des pentes en mouvement, dans le cas de conditions hydrogéologiques particulières (présence de zones de failles ou d'intense fracturation, contact entre le substratum rocheux et les dépôts de couverture, etc.). Afin de garantir la stabilité des ouvrages importants, ces situations requièrent toutes un abaissement du niveau de la nappe.

Les tranchées drainantes sont utilisées pour le drainage des eaux d'infiltration et de la nappe. L'abaissement du niveau piézométrique et la réduction des pressions d'eau dans le

terrain permettent d'obtenir une augmentation de la cohésion, améliorant ainsi les conditions de stabilité du versant.

Les tranchées drainantes, de même que les éperons et les parois drainantes sont utilisées dans les interventions de confortement des glissements rotationnels et/ou des glissements peu profonds.

V-1- 3 - Modifications géométriques:

La pente du talus et la présence des sols de mauvaises caractéristiques sont les principaux facteurs dans la mobilisation du glissement de terrain.

Pour cela, la modification géométrique et morphologique s'impose en premier lieu, elle peut être envisagée par plusieurs méthodes selon la nature du problème; parmi ces méthodes on cite:

V-1-3-1- Déchargement:

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

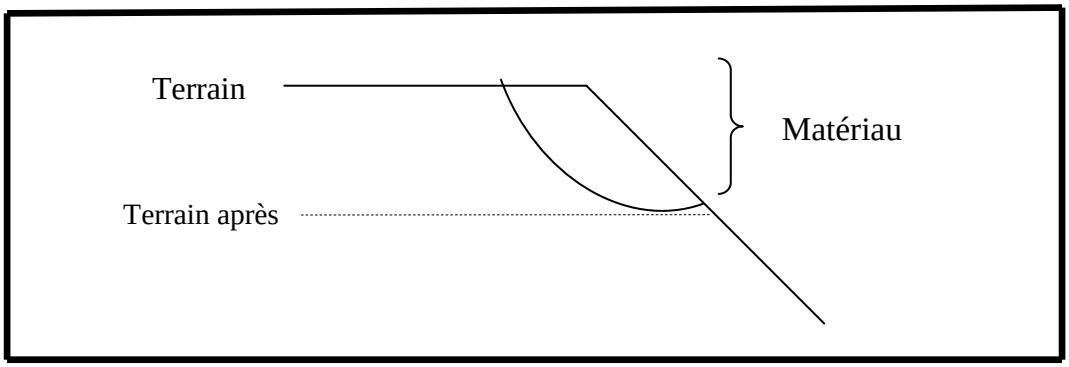


Figure II.10 : pente modifiée par déchargement de la masse glissante

V-1- 3 - 2 – Reprofilage :

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

V-1-3- 3 - Substitution:

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. Cela permet de reconstituer le profil du talus initial.
Il importe de vérifier la stabilité au cours des phases de travaux et celle du talus définitif dans lequel on prend en compte les caractéristiques du matériau de substitution et du matériau en place.

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

V-2 - Organes résistants en pied:

Cette méthode consiste à stabiliser la masse du sol par l'installation d'un organe résistant dans la partie avale du talus, prenant en compte le contour du cercle de glissement pour assurer que cet organe ne soit pas importée par le glissement.
Il existe plusieurs types d'organe tel que les murs de soutènement en béton (armé ou non armé) ou en terre renforcer (par géotextile, cloues, armature), et les palplanches dont le choix du type dépend de la nature du problème ainsi du coût économique.

V-2- 1- Les ouvrages de soutènement:

Un ouvrage de soutènement peut retenir soit des terres en remblai, c'est-à-dire rapportées, soit le terrain en place. On dit, dans ce dernier cas, qu'il s'agit d'un ouvrage de soutènement en déblai.

L'effort de poussée exercé par le massif de terre retenu peut être repris de diverses manières. Trois modes principaux peuvent être distingués :

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

La figure ci-après donne la classification de ces ouvrages d'après le mode de reprise de la poussée.

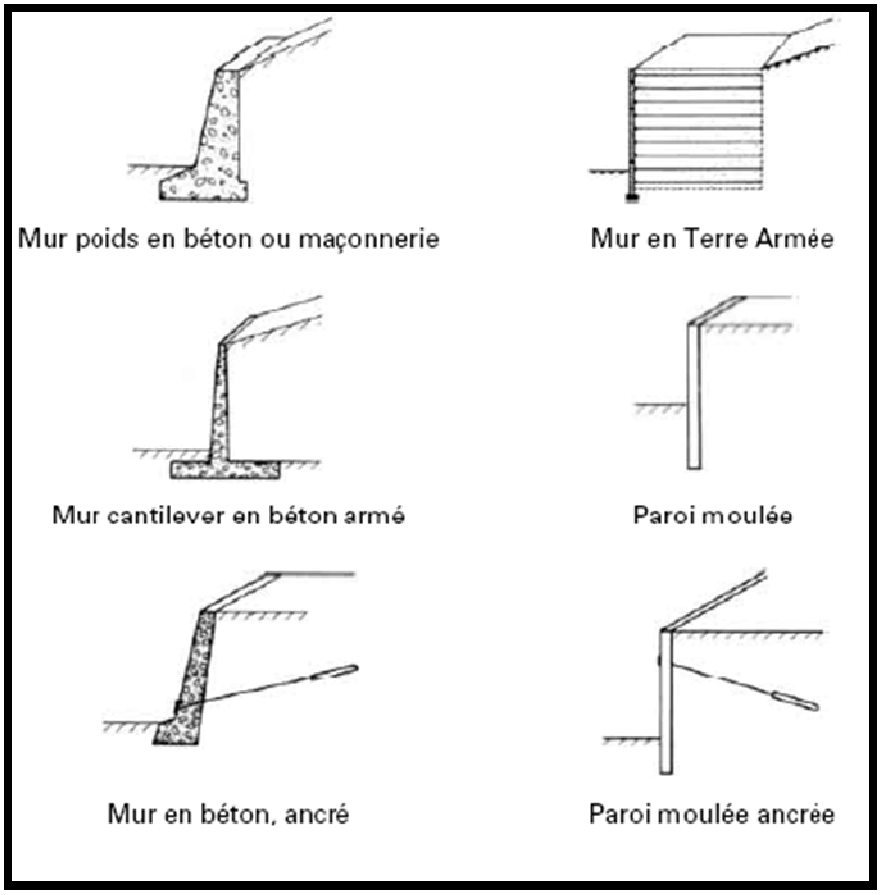


Figure II.10: Classification des ouvrages de soutènement d'après le mode De reprise de la poussée

V-2- 2 - Ouvrages de soutènements souples:

Pour les ouvrages souples, Il s'agit de murs construits à partir d'éléments préfabriqués: Murs renforcés par géotextiles, armatures métalliques ou synthétiques, etc.

Ces ouvrages fonctionnent comme des massifs poids. On les dimensionne en vérifiant la sécurité vis-à-vis de deux mécanismes de rupture : la rupture interne (la méthode de calcul dépend du type d'ouvrage et de la modélisation de l'interaction sol-structure) et de la rupture externe.

L'ouvrage a une fonction locale, il protège une route par exemple, mais il suit le mouvement et sa déformabilité lui permet de le faire sans grand dommage.

Ces techniques, qui supportent des déformations du sol, sont couramment utilisées pour traverser des zones à évolution lente, impossible à arrêter au vu de leurs dimensions. Les calculs sont menés pour vérifier la stabilité interne et on vérifie que la stabilité générale n'est pas trop perturbée par la présence de l'ouvrage. La stabilité locale est en général assurée par le caractère monolithique de l'ouvrage.

V-3-Méthode de renforcement des sols:

Ce domaine se repose sur une généralisation du concept de sol armé et comprend des techniques très variées comme les micros pieux, le clouage et les géotextiles.

V-3-1 - Technique de renforcement par clouage :

Parmi les techniques de renforcement de sol, celle concernant le clouage des sols; qui peut être utilisé soit pour la réalisation de massifs de soutènement, en déblai, soit pour le renforcement de talus existants.

Le schéma ci-dessous donne le dispositif général de Tirants d'ancrage.

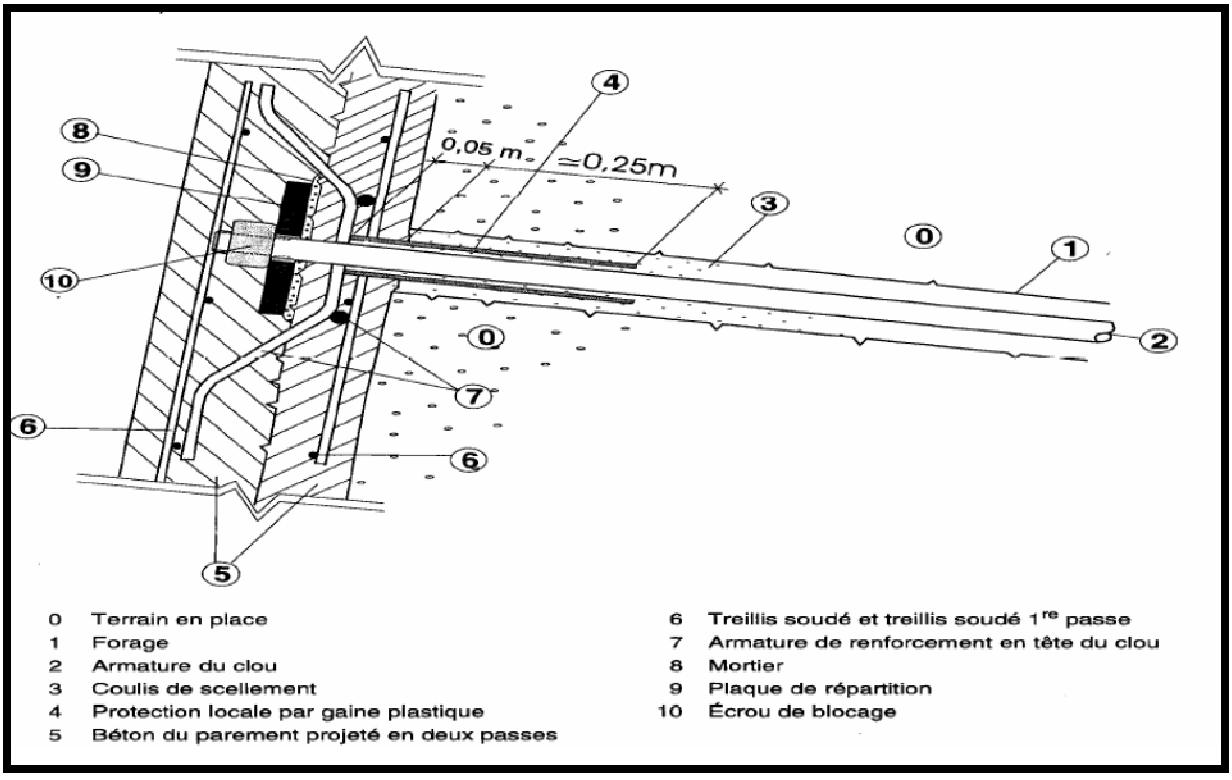


Figure II.11: dispositif du tirant d'ancrage

Le principe de ces renforcements est de mobiliser des efforts de traction et de cisaillement dans les armatures (et de flexion dans une moindre mesure), ce qui nécessite des déplacements entre le sol d'ancrage et l'élément.

V-3-1 - a - Caractéristiques mécaniques et géométriques des clous:

- Il est nécessaire de faire approvisionner des aciers de longueur à la commande afin d'éviter l'utilisation de connecteurs de raboutage coûteux d'une part et nécessitant d'augmenter le diamètre de forage d'autre part.
- L'emploi de barres de fortes capacités à la traction permet de réduire proportionnellement la longueur forée.

V-3-1 -b – Différents types d'armatures d'ancrages:

On distingue plusieurs types d'armatures :

- les barres pleines (type HA, ou équivalent) généralement en diamètre Ø 28 à 50 mm et mises en œuvre dans des forages réalisés préalablement en diamètre Ø 75 à 150 mm ;
- les clous auto-ferrants, l'armature étant constituée par une barre creuse utilisée comme tige de forage, munis de taillants permettant des forages en diamètre Ø 75 à 135 mm.

V-3-2 - Technique de renforcement par géotextiles:

En quelques années, l'emploi des géotextiles s'est révélé l'une des techniques les plus populaires d'amélioration des sols et des ouvrages en terre. On leur attribue quatre modes d'action qui peuvent être combinés : le drainage, la filtration, la séparation de couches de granulométrie différente et le renforcement mécanique.

Ce dernier aspect, qui a été utilisé plus tardivement que les trois autres, donne maintenant lieu à des applications de plus en plus nombreuses et très prometteuses. La déformabilité et la grande résistance des nappes de géotextile s'adaptent en effet particulièrement bien aux propriétés mécaniques des sols meubles.

V-3-2 -a - Définition des géotextiles :

Les géotextiles appartiennent à la famille des Géosynthétiques, terme générique désignant un produit dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel. Il se présente sous forme de feuille, de bandelette ou d'une structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Les géotextiles possèdent plusieurs caractéristiques permettant de les utiliser pour :

- La séparation : Il évite le mélange de deux sols ou matériaux de remblai de nature différente.
- La filtration : Il maintient le sol et permet le passage de fluides à travers ou dans son plan.

- Le drainage : Il collecte et transporte les eaux pluviales, souterraines et/ou d'autres fluides dans son plan.
- La protection : Il empêche ou limite les endommagements localisés par un élément ou un matériau donné.
- Le renforcement : Il a la capacité de résister pour améliorer les propriétés mécaniques du sol ou d'autres matériaux de construction.

V-3-2 - b - Le choix de géotextile non tissé adapté à la protection :

Les critères sont la résistance au poinçonnement exprimée en kilo Newton (KN), la résistance à la traction et la valeur de perforation dynamique exprimée en millimètre (mm) qui s'évaluent à travers des critères et tests précis.

V-3-3 - Durabilité et comportement à long terme:

Les ouvrages en sol renforcé sont classés en trois catégories: ouvrages provisoires, temporaires et permanents, suivant leur durée de service. Les limites entre ces catégories varient suivant le règlement et le type de renforcement. À titre d'exemple, pour le clouage des sols, la durée de service d'un ouvrage provisoire est inférieure à 18 mois, celle d'un ouvrage

temporaire est inférieure à 30 ans, tandis que les ouvrages permanents sont calculés pour 100 ans.

VI-Conclusion :

Après avoir bien défini ce qu'est un glissement, ses causes, ses différents types, ses méthodes de confortement ainsi que les zones qui lui sont propices,. Il est nécessaire d'entreprendre une investigation géotechnique, géologique et hydrogéologique, de procéder à une auscultation bien détaillée, choisir la méthode adéquate ainsi que les diverses solutions assurant le confortement du glissement.

CHAPITRE III : CONFORTEMENT PAR LES GEOTEXTILES

I- Introduction :

Dans le domaine du génie civil un nouveau concept de produit a été créé : « les géotextiles », Il s'agit de produits employés principalement dans le domaine de la géotechnique et sont constitués de fibres textiles.

Depuis les années 70, il se présente sous forme de nappes poreuses a structure bidimensionnelle (bande, tissées, grillage, filets, membranes….ext), dans le but d'améliorer ses propriétés mécanique et assurer sa stabilité. La facilité de la mise en œuvre et le faible cout des géotextiles par rapport à d'autres techniques ont fait de ces derniers des matériaux indispensables dans la solution de différents problèmes géotechnique notamment ceux qui sont liées au renforcement.

Les géotextiles sont réalisés a l'aide de fibres synthétiques car les fibres naturelles se dégradent rapidement lors de leur contact au sol ; parmi les fibres synthétique dont les géotextiles sont fabriqués on a : le polypropylène qui se présente 75 % des applications, le polyester, le polyéthylène

La nature de fibre qui constituent un géotextile a une grande importance sur les performances des géotextiles : d'une part leur diamètre, longueur et caractéristiques mécanique ont une influence sur les propriétés mécanique des géotextiles.

II- type des géotextiles :

Il existe deux types de géotextiles

II-1- Les géotextiles tissés :

Obtenus par entrecroisement de deux sériés de fils ou bandelettes, le mode d'entrelacement s'appelle 'armure' ; il en existe trois principales la toile, le croisé et le satin.

Les tissés sont soit des tissés de fils manofilament, soit des tissés de fils multi filament dont chaque fil et constitué de plusieurs brins élémentaire, soit des tissés de bandelettes. Ces fils sont entrecroisés dans le plan de deux directions perpendiculaires : les fils de chaine (sens

machine) passant dessus et dessous les files de trames (sens travers) et réciproquement pour former une étoffé très anisotrope.

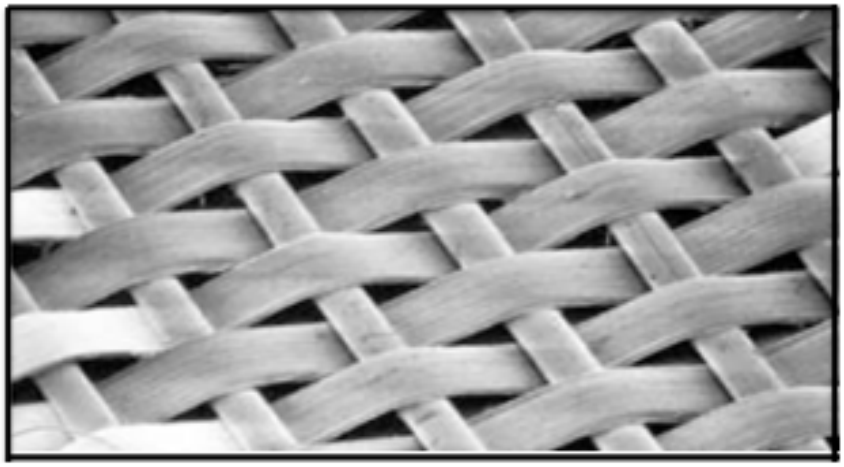
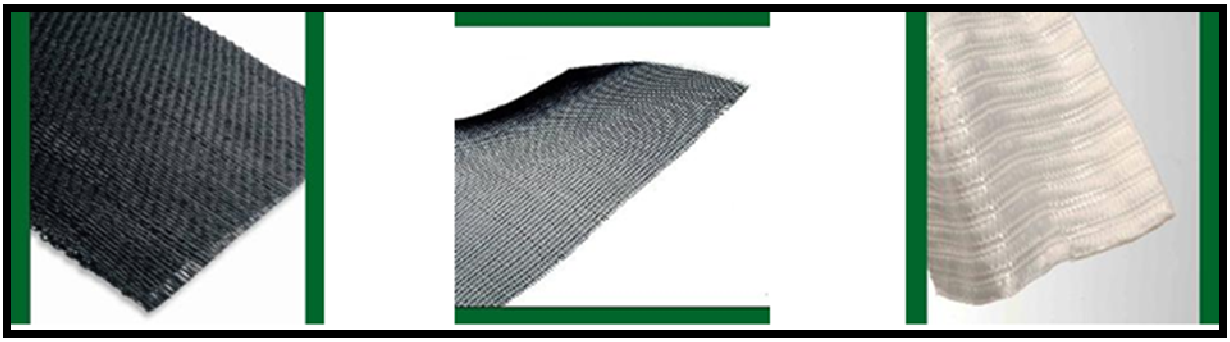


Figure III.1 : Géotextiles tissés.



(a) (b) (c)

Bandelettes de Polypropylène noir

man filament en polyéthylène

multi filament en polyester blanc

Figure III.2 : Types Géotextiles tissés.

Les avantages des géotextiles tissés sont :

- ils présentent une meilleure homogénéité, même pour des masses surfaciques faibles
- les géotextiles tissés ont des qualités très intéressantes quant à leur résistance mécanique
- ils assurent des bonnes résistances à la rupture.

Parmi les inconvénients de ce type de géotextiles on a :

- les étapes de filature et de tissage nécessitent des couts plus importants par rapport à autre type.
- ils ont une déformabilité relativement faible qui peut être insuffisante pour certaine application géotechnique ou le géotextile doit s'adapter à des grandes déformations.

II-2- Les géotextiles non tissés :

Les géotextiles non tissés représentent la plus importante part du marché. Ils sont constitués de fibres ou de filaments continus disposés de façon désordonnée et liés par différentes procédés mécaniques, thermique ou chimique. On retrouve principalement trois procèdes de fabrication distincts : les non tissés aiguilletés, les non tissés thermo-soudés, les non tissés liées chimiquement.

II-2-1- les géotextiles non tissés aiguilletés :

Les géotextiles non tissés aiguilles souples, épais lourds présentent des valeurs de résistance au poinçonnement adaptés a la protection

L'aiguilletage est un procédé purement mécanique dans lequel des aiguilles hérissées d'ergots en traversent la nappe de filaments ou de fibres dans un mouvement alternatif rapide. Les liaisons sont donc glissantes et entraînent une grande souplesse et une grande déformabilité du textile.

Les ergots des aiguilles entraînent les fibres qu'elles rencontrent et les enchevêtrent pour donner à la nappe une cohésion importante.

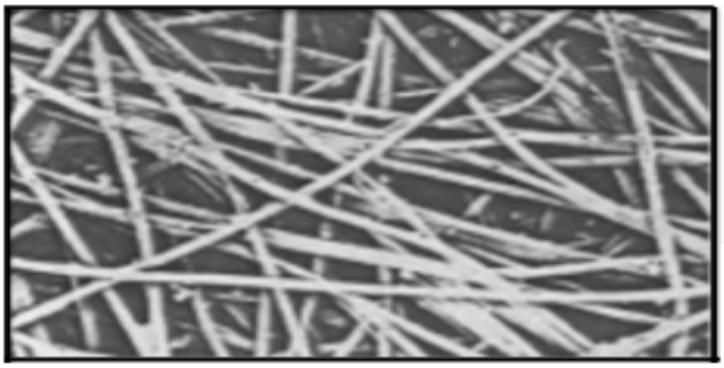


Figure III.3 : géotextile non tissés aiguillètes.

Les principes caractéristiques de ce procédé sont :

- ce procédé ne produit aucune liaison rigide de fibre a fibre et conduit à des matériaux

Pouvant absorber de très grandes déformations sans rupture et manifestant une Résistance importante a la déchirure

- ce procédé conduit à une forte porosité.

II-2-2- les géotextiles non tissés thermo - soudés :

Les géotextiles de ce procédé consistent à comprimer à chaud la nappe de fibres an la faisant passer entre deux rouleaux et en élevant simultanément la température on obtient par conséquent une soudure superficielle des fibres entre elles.

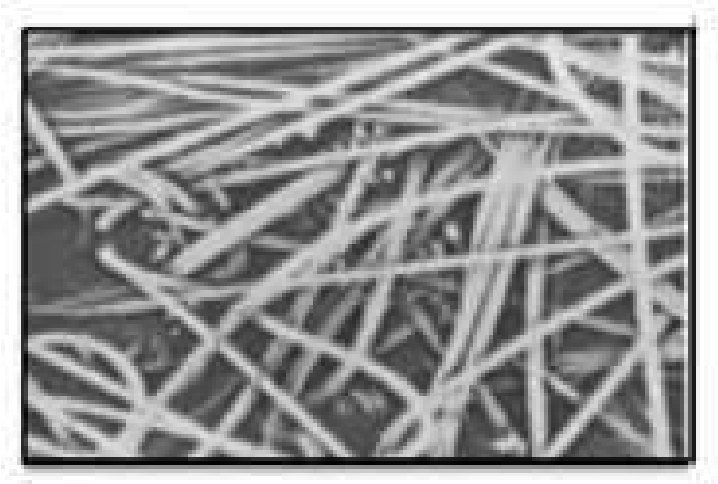


Figure III.4 : les géotextiles non tissés thermo – soudés.

Ce procédé conduit à une très bonne liaison entre les fibres surtout pour les nappes de masse surfacique peu élevée et donne des matériaux moins souples que ceux obtenus par l'aiguilletage.

II-2-3- Les géotextiles non tissés liés chimiquement :

Ce procédé qui est surtout utilisé pour lier les fibres coupées consiste à imprégner la nappe de fibres d'un liant, ce procédé est peu utilisé en raison de son coût.

A) les tricotés :

Géotextiles produit par entrelacement d'un ou plusieurs fils, filaments ou d'autres éléments

Ils sont constitués de mailles successives disposées en colonne et en rangées.

B) les géocomposites :

Assemblage de plusieurs matériaux de façon à combiner leurs propriétés dont au moins l'un des constituants est un produit géosynthétiques.

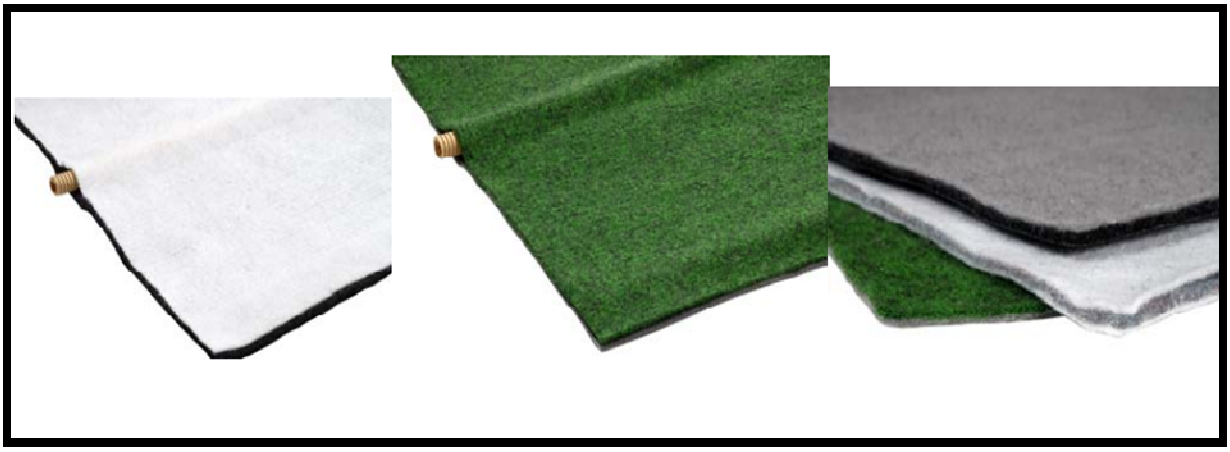


Figure III.5 : géocomposites.

Le produit est composé de deux filtrantes, d'une nappe drainantes ainsi que le mini drain. Ces composants 100% polypropylène sont associés entre eux par aiguilletage. Les mini drains sont des tubes annulés comportant deux perforations par gorge alternées à 90 °.

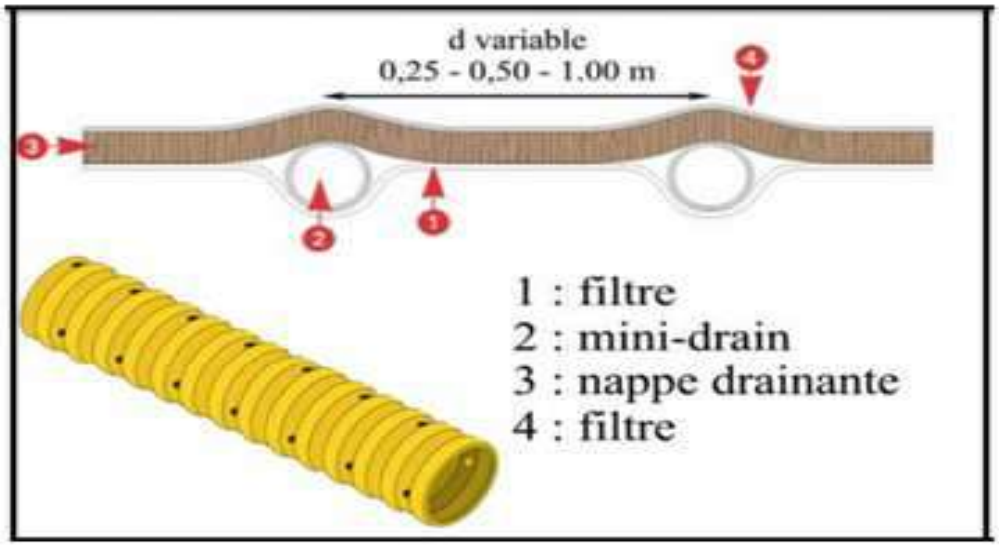


Figure III.6 : composantes de Géocomposite.

Parmi les combinaisons qu'on rencontre souvent, on a l'association d'une grille et d'un non tissé ou l'association de deux aiguilletés de fibrométries différents

Dans le premier cas, la grille donne au composite une résistance et une rigidité, le non tissé apporte ses propriétés filtrantes

Concernant le deuxième cas, la couche qui a les plus grosses fibres assure la fonction de drainage et celle qui composée par les plus fines fibres remplis la fonction de filtre.

III- Fonction de géotextiles :

Il est possible de distinguer dans les applications des géotextiles six fonctions principales: drainage, filtration, séparation, protection, lutte contre l'érosion et renforcement.

Ces fonctions sont complémentaires mais généralement une est considérée comme la fonction principale par rapport aux autres.

Afin de pouvoir remplir ces fonctions, les géotextiles doivent présenter diverses propriétés dépendant des conditions du sol, de l'eau et des sollicitations.

Le tableau suivant donne une vue d'ensembles des principales fonctions et des propriétés déterminantes du géotextile.

III- 1- Drainage :

Les géotextiles sont utilisés pour collecter, canaliser et transporter les liquides.

L'introduction d'un géodrains (géotextiles de drainage) conçu spécialement pour améliorer le drainage des sols permet l'écoulement de l'eau dans son plan.

Les géotextiles utilisés pour cette fonction sont des géotextiles de drainage entre deux produits de séparation ou de filtration, ils remplaçant favorablement les tranché drainantes, on les emplois pour le drainage de fondation, les ouvrage routiers et les murs de soutènement.

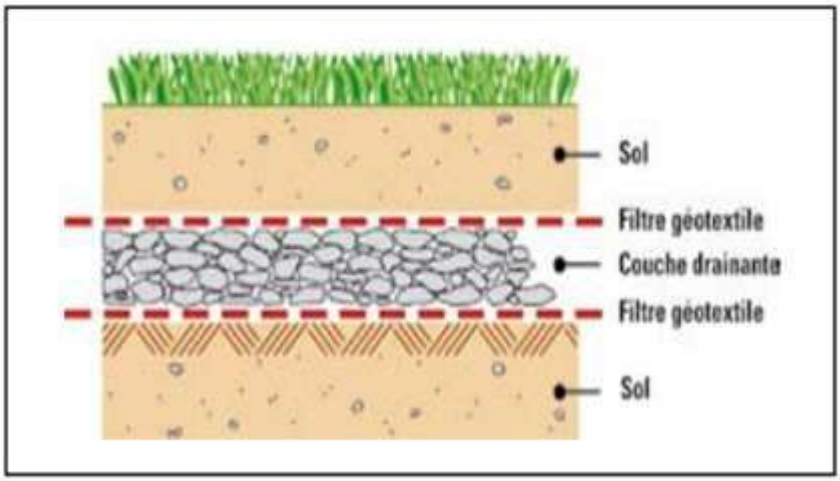


Figure III.7 : Couche de drainage en agrégats.

III- 2- séparations :

Cette fonction, la plus anciennement reconnue aux géotextiles, permet empêcher la contamination des sols qui n'est pas souhaitable dans une structure de chaussés, car elle contribue a diminuer sa capacité de transmission hydraulique, sa résistance a supporter les charger sans déformations

L'introduction d'un géotextile entre deux matériaux hétérogènes permet à ces deux matériaux de conserver leur intégrité, pour empêcher leur mélange.

Les géotextiles utilisés pour cette fonction sont des géotextiles non tissés a ouverture de filtration inférieure a 150 Um

III- 3- Filtration :

Le filtre géotextile permet le passage de l'eau provenant d'un sol, retenir les particules de sol et empêcher la contamination des matériaux adjacents

Les géotextiles utilisés pour cette fonction sont des géotextiles non-tissés.

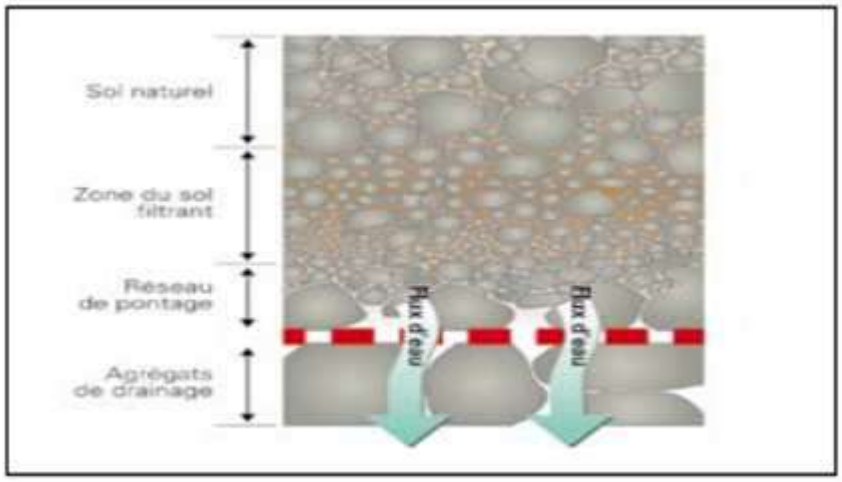


Figure III.8 Filtre de sol naturel à proximité du géotextile.

III- 4- Renforcement :

Les géotextiles sont des matériaux capables de résister aux efforts de traction. Cette résistance dépend principalement de mode d'utilisation du géotextile et de la nature de ce dernier.

L'introduction d'un géotextile à module élevé permet de renforcer un sol faible en traction mais fort en compression. Ainsi, en répartissant les charges sur une plus grande surface, les géotextiles augmentent la résistance au cisaillement des sols adjacent.

Les géotextiles utilisés pour cette fonction sont des géotextiles tissés.

Les géotextiles jouent un rôle mécanique dans le renforcement des sols, engendrant ainsi les trois fonctionnements ou comportement

III- 4-1- Fonctionnement d'armature :

Si l'on considère que le sol de couverture travaille comme une poutre sur deux appuis, le sol transmet au géotextile des efforts de tension sous l'effet de chargement.

III- 4-2- Fonctionnement en membrane :

A cause de la reprise des efforts tangentiels, le géotextile peut reprendre des efforts normaux en travaillant comme une membrane, du fait de sa présentation en nappe et de sa continuité lorsqu'il est sollicité en traction **Figure II.12**

L'effet de membrane intervient lorsque le géotextile posé sur un sol déformable est sollicite par des charges verticales. L'effet de traction dans le sol se transmet au géotextile tout en soulageant le sol incapable de l'absorber ; cette force dans le plan s'équilibre avec la composante horizontale de la charge provenant de la diffusion des charger verticale appliquées.

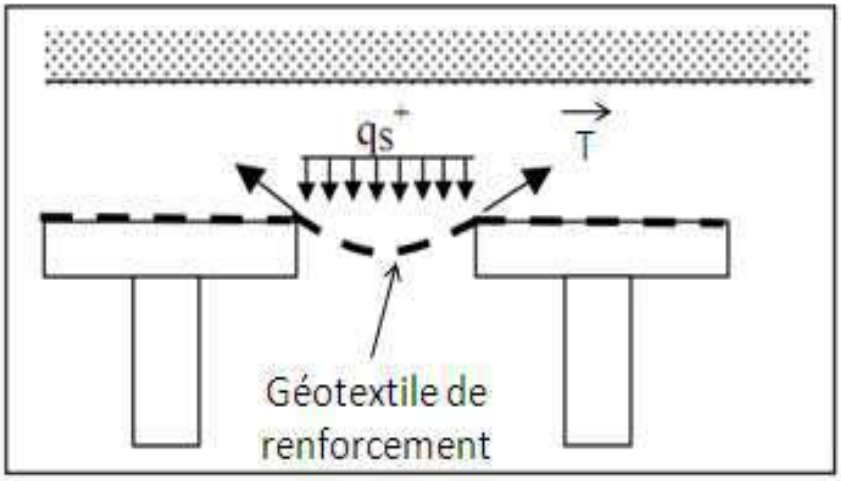


Figure III.9 : L'effet de membrane.

Cet effet présente une grande importance dans la construction de routes provisoires ou il permet de réduire la formation d'ornières (trous) de manière considérable. Plus le module de géotextiles est élevé, plus la possibilité de réduire la formation d'ornières est grande.

III- 5- La lutte contre l'érosion :

Le géotextile limite dans ce cas les mouvements des particules de sol en surface, mouvements causés par l'eau ou le vent. Plusieurs technique sont employées pour la lutte contre l'érosion .un géotextile relativement ouvert maintiendra une couche de sol sur la pente. Un géotextile fermé agira comme un matelas de protection, la lutte contre l'érosion par géotextiles est en général compatible avec des objectifs de végétalisation, ils sont utilisés comme substrat a la

végétation pour des ouvrages tels que la stabilisation extérieure de talus, la canalisation de fossés et la protection de berges.

Les géotextiles utilisés pour cette fonction sont des géotextiles de végétalisation.

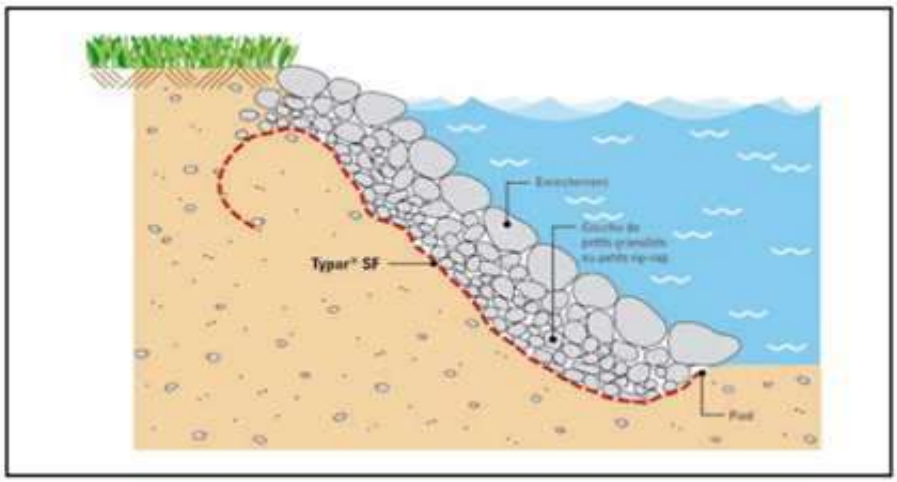


Figure III.10 : Géotextile utilisé pour lutte contre l'érosion.

III- 6- Protections :

La Fonction consistante est d'empêcher ou à limiter les endommagements localisés concernant un élément ou un matériau donné en utilisant un géotextile ou un produit.
Les propriétés les plus importantes d'un géotextile par rapport à son rôle de protection sont la résistance à la perforation par clous. On montre que des propriétés telles que l'épaisseur et le poids spécifique du produit ne peuvent garantir à elles seules une bonne efficacité de protection.

Tableau III.1: les principales fonctions et les propriétés déterminantes du géotextile

Propriétés	Fonctions					
	Drain	Filtre	Séparatio	Renforceme	Protectio	Lutte
Épaisseur	***	*			***	*
Compressibilité		**			*	
Permittivité	**	***	**			**
Transmissivité	***	*				*
Distribution des pores	***					
Résistance à la traction			*	**	*	*
Raideur				***		
Déformation			***	*	*	**
Résistance au déchirement			**	**	***	
Résistance au percement			***	**	***	*
Frottement				****	**	**

*** -propriété d'importance majeure

** -propriété d'importance moyenne

* -propriété d'importance faible.

IV- Propriétés des géotextiles :

On mesure les propriétés des géotextiles par le biais d'essais utilisés pour les textiles traditionnels ou par ceux qui sont développés pour les géotextiles.

IV-1- Épaisseur et comportement en compression

Le comportement en compression d'un géotextile dépend du type et du mode de fabrication. En effet, les géotextiles non tissés, les tissés sont peu compressibles alors que les non tissé aiguilleté et les mats sont très compressibles et leur épaisseur diminue sous l'effet d'une contrainte de compression tout en sachant qu'ils retrouveront leur épaisseur initiale des que la contrainte de compression cesse.

On mesure l'épaisseur et la compressibilité d'un géotextile en appuyant l'échantillon entre deux plaques.

La résistance à la compression joue un rôle important pour un géotextile et notamment pour celui qui a une fonction d'amortisseur du fait qu'il est soumis à des compressions concentrées appelées poinçonnement.

IV-2- Perméabilités :

Tous les géotextiles laissent l'eau passer perpendiculairement à leur plan et certains géotextiles peuvent remplir même la fonction de drain en acheminant l'eau dans leur plan

La perméabilité des géotextiles est mesurée à l'aide d'un perméamétre qui fonctionne selon le même principe qu'un perméamétre utilisé pour mesurer la perméabilité des sols

IV-3- Rétentions :

C'est une propriété qui dépend de la dimension des ouvertures du géotextile et qui consiste à retenir les particules fines des sols.

En effet, les géotextiles tissés et non tissés peuvent retenir les particules fines de sol et remplir les fonctions d'un filtre ou de séparateur grâce aux dimensions des ouvertures entre les fils tissés et filaments non tissés qui est de l'ordre de quelques dizaines a quelques centaines de microns.

IV-4- Comportements en traction et allongement à l'effet maximal :

La résistance a la traction et l'allongement à l'effet maximal sont des caractéristiques importantes et indispensables pour remplir le rôle de renforcement.

Ces deux caractéristiques peuvent être mesurées par le biais d'un essai réalisé sur une éprouvette rectangulaire ou on obtient par la suite une courbe représentant la force par unité de largeur en fonction de la déformation et qui a une forme dépendant du type du géotextile ainsi que le rapport de la largeur sur longueur de l'éprouvette.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Déformation et résistance en traction de différent type de géotextiles

Type de géotextiles	Déformation	Résistance a la traction
Non tissé de faible résistance	30 à 50 %	1 à 10 kn/m
Non tissé courant	30 à 50 %	10 à 30 kn/m
Non tissé fort	30 à 50 %	30 à 100 kn/m
Tissé courant	10 à 25 %	10à50 kn/m
Tissé fort	10 à 25 %	50à100 kn/m
Tissé très fort	10 à 25 %	100à1000 kn/m

IV-5- Résistances au déchirement :

C’est la résistance que présente un géotextile pour empêcher les déchirures locales engendrées par les effets d’une action de percement et une action de traction de se développer

La résistance au déchirement est généralement exprimée en newtons [N].

IV-6- Comportements à long terme

Lors de la mise en place d’un géotextile, ce dernier sera automatiquement soumis a des sollicitations qui sont dues aux contraintes de service et aux conditions climatiques

Le comportement à long terme est défini par trois phénomènes qui sont le fluage, la fatigue et la durabilité.

IV-6-1- Le fluage :

On parle du fluage lorsqu’on a une déformation sous charge constante, c'est-à-dire une déformation variable en fonction du temps.

Certains chercheurs considèrent que le comportement du fluage est principalement lié au type de polymère et non au procédé de fabrication.

D'autres expériences ont montré que la perte des caractéristiques mécaniques due aux agressions mécaniques lors de la mise en place est plus importante que celle due au fluage

IV-6-2- Fatigue :

Les géotextiles se rompent par fatigue lorsqu'ils sont soumis a des sollicitations répétées ou alternées provenant soit de l'ouvrage (exemples : machine) soit des conditions climatiques (exemple : vent).

Pour les géotextiles tissés, la rigidité ne varie pas en fonction du nombre de cycles tant que l'effort de traction maximum ne dépasse pas l'effet de rupture

Pour les géotextiles non tissés, c'est tout à fait le contraire, c'est-à-dire la rigidité dépend du nombre de cycles.

IV-6-3- la durabilité :

Si on suit manière continue l'évolution dans le temps des propriétés d'un géotextile remplissant ses fonctions, on distingue deux types différents d'altérations qui sont les suivant :

- les altérations dont la cause directe est la fonction que remplit le géotextile ainsi les conditions de sa mise en œuvre
- les altérations qui sont liées à l'environnement physico-chimique qui entoure le géotextile

Pour les altérations dues aux fonctions des géotextiles, on doit les prendre en compte dans le choix du géotextile surtout dans la conception et le dimensionnement.

Pour les altérations dues a l'environnement, on doit déterminer si les géotextiles ont une durée de vie qui peut être longue que celle des matériaux utilisés en technique routière.

V- Endommagement des géotextiles :

Lorsque les géotextiles ont été introduits les fabricants et les distributeurs, dans leur enthousiasme pour ces produits, ont parfois surestimés le potentiel de ces produits à résister aux phases de mise en place. Des essais sur sites ont été effectués en Allemagne dans les années 70 sur des géotextiles fins et de faible grammage installés entre des matériaux anguleux et compactés. Lorsque les géotextiles ont été retirés du sol des dommages sévères pouvaient être observés.

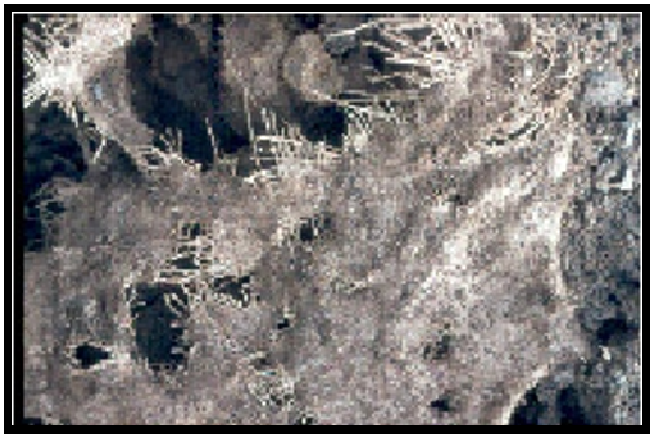


Figure III.11 : dommages sur géotextiles extraits.

Cette expérience et d'autres à travers le monde ont consolidés l'idée de développer des critères pour évaluer l'endommagement des géotextiles. Depuis des travaux intensifs ont été menés à la fois par les producteurs et les utilisateurs pour développer de meilleurs méthodes d'évaluation des endommagements et des critères pour la sélection des produits.

Les géotextiles dans les applications de génie civil sont généralement utilisés pour satisfaire à l'une ou plusieurs des fonctions suivantes : séparation, filtration, drainage, renforcement, protection. Les impacts mécaniques sur ces géotextiles peuvent réduire voire totalement détruire leur capacité à répondre au besoin. D'autre part il est à noter que le géotextile doit remplir sa fonction malgré les dommages. il faut donc évaluer quels seront les dommages subits par le géotextile.

V-1- Mécanismes d'endommagement :

Les dommages mécaniques sur les géotextiles peuvent apparaître sur les géotextiles depuis la production, le stockage, la manutention, l'installation et enfin l'utilisation. Durant leur mise en œuvre les géotextiles seront soumis à différentes agressions mécaniques. Le type de dommage variera selon le type de sol, le matériau, les équipements et les procédures de construction et les conditions climatiques. Les caractéristiques des géotextiles influeront également sur le type de dommage Durant les phases de mise en œuvre, les équipements utilisés, les conditions de sol, le matériau d'apport sont des facteurs importants. Les contraintes induites sur le géotextile sont différentes que l'on se trouve sur un sol mou avec un matériau d'apport rond de fort diamètre ou sur un sol dur avec un matériau d'apport

anguleux. Néanmoins d'autres facteurs peuvent avoir également une influence significative. Par exemple les dommages subits lors du compactage à une température de –10°C seront différents de ceux subits à 30°C. La quantité, mais aussi le mode d'endommagement varieront avec les caractéristiques du géotextile. Un géotextile non tissé aiguilleté épais et lourd (grande déformation, relativement faible résistance) est pour le même impact enclin à avoir un mode d'endommagement différent d'une géogrille extrudée (faible déformation, haute résistance).

Six mécanismes d'endommagement sont présentés avec leurs caractéristiques typiques et les situations dans lesquels ils apparaissent.

V-1- 1- Abrasion :

L'abrasion est typiquement causée par un glissement répété du géotextile sur un matériau abrasif. Ce type de dommage apparaît principalement lorsque le géotextile se trouve en surface (revêtement de canal, berge…). Ce sont des cas typiques ou il y a des mouvements cycliques entre le géotextile et le sol en contact (voies ferrées, routes temporaires).

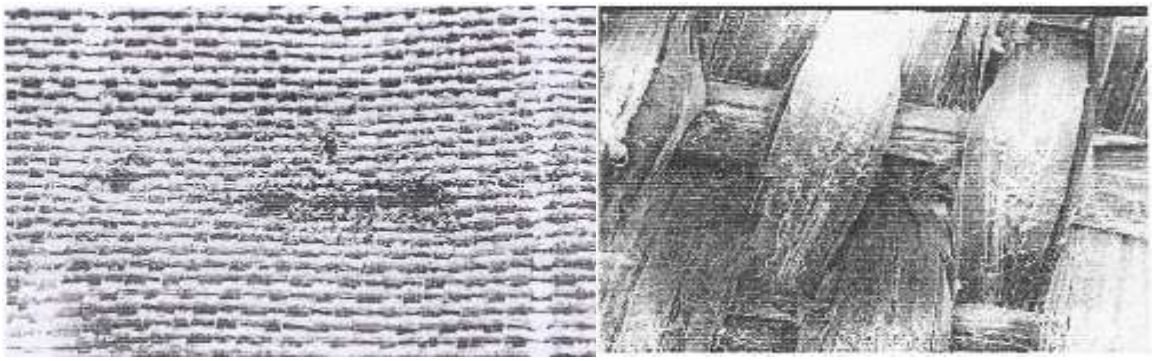


Figure III.12 : exemples d'abrasion de surface d'un géotextile tissé en polypropylène.

La figure montre des dommages sévères sur un géotextile polyéthylène relativement léger (240 g/m²) alors qu'un géotextile polyester polyamide plus lourd (400 g/m²) est presque intact. L'abrasion peut se produire sur tout type de géotextile, mais les non tissés aiguilletés sont particulièrement sensibles à ce type d'endommagement, car la surface est plus facilement abrasive. De plus, l'abrasion peut aussi se produire avec des matériaux granulaires fins. Des recherches [Ehrler et al. 1999], ont montré que des abrasions sévères pouvaient apparaître des particules petites mais anguleuses (sable de quartz de diamètre maximum 200 microns). Cette abrasion conduit à des pertes de résistance de plus de 50%, ce qui doit être pris en compte. L'abrasion réduira l'épaisseur du géotextile ce qui conduira localement à des réductions de

résistance et aussi des changements des propriétés de filtration. Des abrasons sévères peuvent conduire à la destruction totale des géotextiles.

V-1- 2- Entaille :

Les entailles sont causées quand des matériaux tranchants sont en contact direct avec les géotextiles avec une possible combinaison avec les équipements vibrants. Ce phénomène et principalement observé sur les rubans de grilles en polyéthylène extrudé.

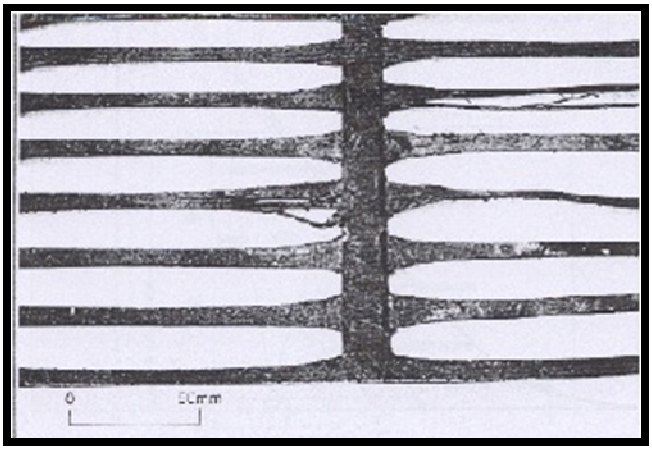


Figure III.13 *:* exemples d'entailles sur un ruban de grille en polyéthylène.

Le matériau d'apport était dans ce cas un gravier qui a été compacté fortement en utilisant un équipement à vibrations. Les entailles ne causent pas des pertes immédiates de résistance lorsqu'elles sont dans la direction de la charge, mais elles le peuvent lorsqu'elles sont perpendiculaires à la charge.

V-1- 3- Poinçonnement :

Le poinçonnement intervient lorsque le matériau d'apport pointu et tranchant et versé directement sur le géotextile, ou par compactage lorsque des équipements lourds sont utilisés sur des fines couches de matériaux d'apport. Cette situation apparaît lorsque les géotextiles sont utilisés en séparation et filtration pour des digues ou sous des routes ou des voies ferrées. Ce mécanisme est surtout lié aux géotextiles tissés ou non tissés, le poinçonnement des géogrilles n'ayant que peut de sens. Généralementn, les géotextiles non Tissés avec une flexibilité relativement faible sont plus sensibles à ce type d'endommagement.



Figure III.14 : poinçonnement d'un géotextile.

La Figure II -15 géotextile non tissé thermolié est placée sur un sol relativement dur avec une fine couche de matériau mou sous le géotextile. Le matériau d'apport est constitué de pierres tranchantes et pointues. Les pierres ont poinçonnées le géotextile et la sous couche. La correspondance entre le poinçonnement du géotextile et l'empreinte dans la sous couche es clairement visible. Durant l'extraction il a pu être observé que malgré un nombre (relativement faible) de trous la fonction de séparation était assurée.

V-1- 4- Rupture sous contrainte :

Les ruptures sous contraintes apparaissent lorsque le géotextile est soumis à de fortes contraintes ou déformations et est typiquement lié à l'utilisation des géotextiles en séparation sur sols mous avec des matériaux d'apport de large diamètre. Ces ruptures apparaissent également lorsque des équipements lourds sont acheminés sur des routes recouvertes d'une fine couche de graviers sur une sous couche molle [Richardson, 1998]. La sous couche se déforme et le géotextile suit cette déformation par des déformations locales. Si le géotextile n'est pas flexible les déformations conduiront à des sur contraintes entraînant la rupture du géotextile. Le géotextile n'est plus alors capable de remplir ses fonctions de séparation ou de renforcement.

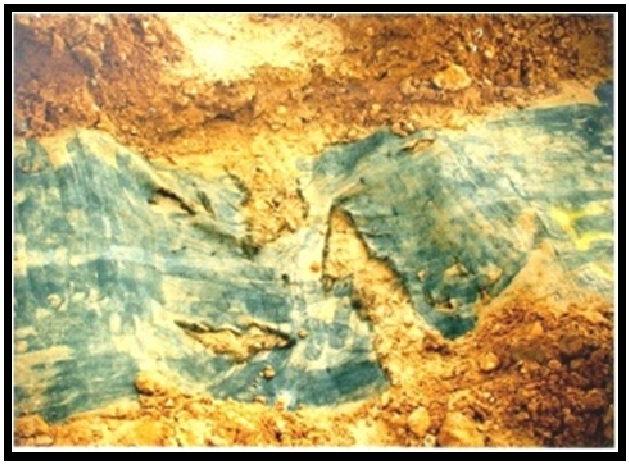


Figure III.15 géotextile avec rupture en déformation causée par le trafic.

La **Figure III.15** montre un exemple de contrainte sur un géotextile causée par le versement de matériaux de grand diamètre sur un sol mou. La déformation de la sous couche sous l'effet du poids des matériaux d'apport entraîne des contraintes locales dans le géotextile non tissé utilisé comme séparateur. Le géotextile était dans ce cas un non tissé thermolié avec une flexibilité insuffisante pour supporter ces grandes déformations de la sous couche.

V-1- 5- Rupture des fibres :

Les ruptures des fibres interviennent lorsque des matériaux tranchants agissant comme des couteaux coupent les fibres des géotextiles. Ce mécanisme est courant si les matériaux tranchants coupent un géotextile en appui sur un support rigide et ceci surtout dans le cas de géotextiles tissés, de géogrilles ou de bandes de renforcement. Les fibres dans ces géotextiles sont relativement fines et peuvent être facilement coupées, ceci réduisant leur résistance.

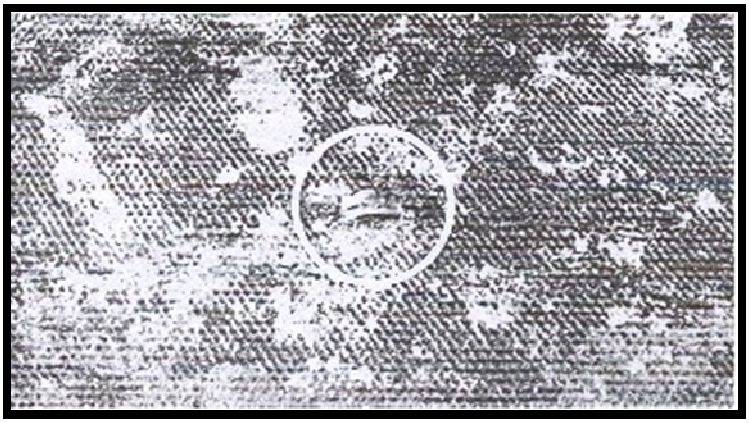


Figure III.16 : coupure de fibres sur une géogrilles.

La Figure III.16 un exemple de coupure de fibres dans une bande. La bande dans ce cas

était recouverte de matériaux tranchants.

Les géogrilles et les bandes sont souvent revêtues (par du PVC) ce revêtement réduisant la sensibilité à la coupure et donc les pertes de résistance.

V-1- 6- Déchirure :

La déchirure apparaît lorsque le géotextile est sujet à des forces de déchirement tendant à le vriller. Le déchirement est un mécanisme qui apparaît lorsque le géotextile a été préalablement endommagé par un autre mécanisme comme des ruptures en contrainte ou des coupures de fibres entraînant une propagation de la déchirure et une sur contrainte sur les fibres restantes.



Figure III .17 : géotextile endommagé en déchirure.

Figure III.17 montre un, exemple de déchirure d'un géotextile non tissé aiguilleté qui apparaît lors de l'extraction

VI- La mise en œuvre des géotextiles :

La mise en œuvre des géotextiles ne pose pas de problèmes techniques pour une utilisation courante mais elle nécessite certaines précautions qui sont les suivantes :

- le géotextile ne doit pas être exposé aux rayonnements solaires pendant une longue durée
- on doit aussi surveiller les conditions de stockage.
- lors de la mise en œuvre, on doit éviter de dérouler à l'avance de grandes surfaces ou de laisser des rouleaux entamés sur le chantier

Avant la mise en œuvre des géotextiles, on doit considérer les aspects suivants :

- la préparation du terrain avant la mise en place du géotextile.
- le mode d'ancrage dans le sol.
- Le mode de mise en œuvre des matériaux recouvrant le géotextile.

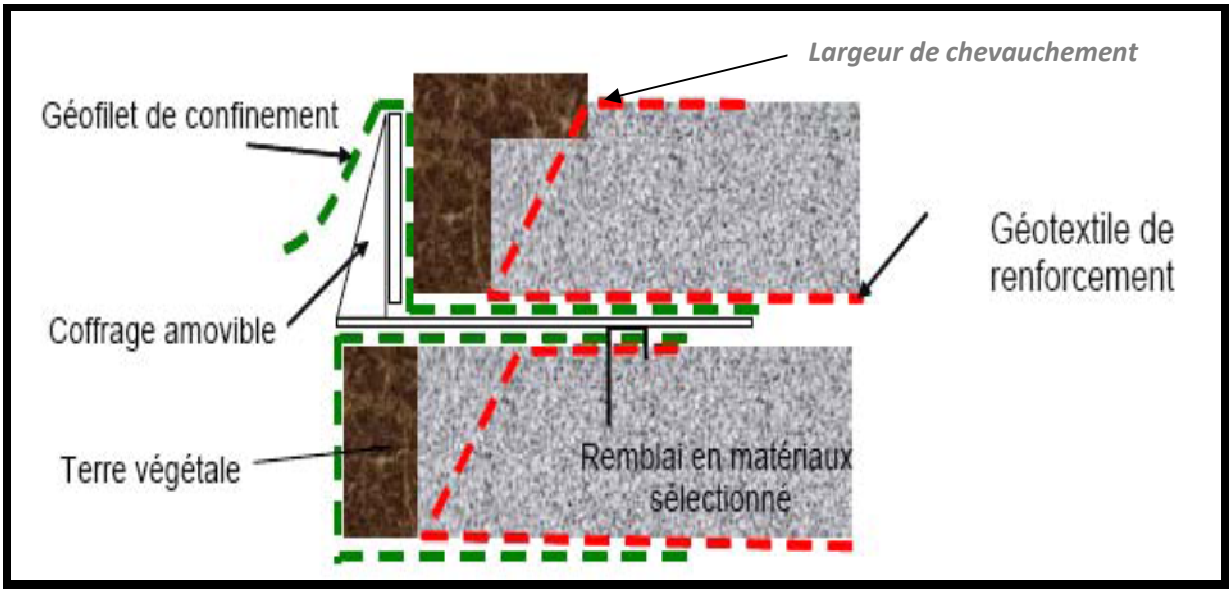


Figure III.18 : Mise en œuvre du géotextile

VII- CONCEPTION DES TALUS RENFORCES PAR DES GEOTEXTILES :

VII-1- Phasage de construction :

Le facteur le plus important dans le succès du fonctionnement d'un mur mécaniquement stabilisé (MSE wall) est la construction elle-même du mur qui repose sur des séquences planifiées. Dans ce genre de murs, il n'y a pas de semelles en béton, et la première nappe de géotextiles repose directement sur le sol de fondation. Les séquences de construction sont résumées dans la figure suivante :

1. Mise en place du dispositif de construction.
2. Etendre le géotextile sur le dispositif de telle manière que la queue obtenue mesure environ 1 m.
3. Mise en place du remblai à moitié de la hauteur totale d'élévation.
4. Elever un petit peu une fine bande de matériau de telle façon qu'elle dépasse légèrement la hauteur du dispositif.
5. Mise en place de la queue du géotextile.
6. Reprendre le remblayage jusqu'à la hauteur totale du dispositif de construction.
7. Replacer le dispositif pour une nouvelle couche.

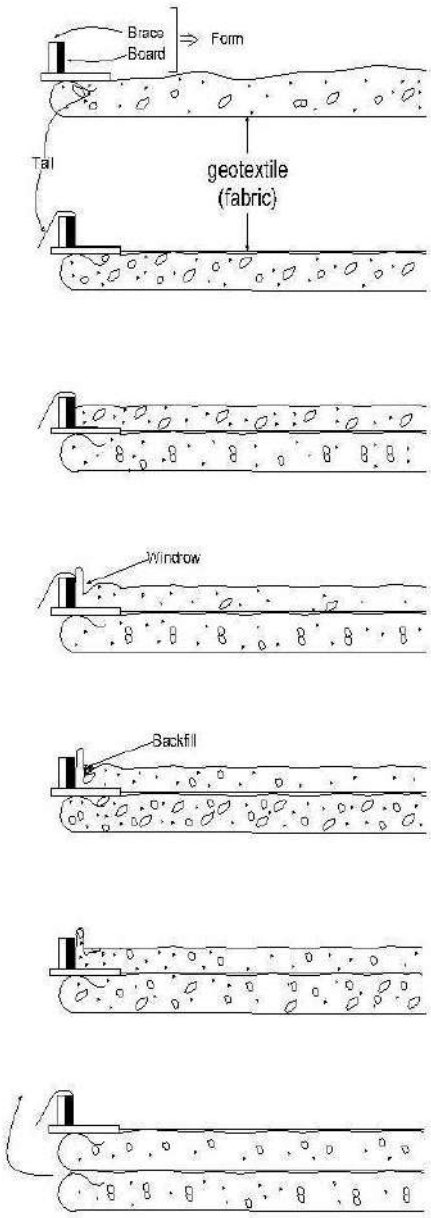


Figure III.19 : Phasage de construction

VII-2- Méthode de conception :

La procédure de calcul du sol renforcé par géotextiles se résume dans les étapes suivantes :

VII-2-1- Évaluation de la résistance à la traction admissible sur la base du coefficient de sécurité combine :

$$T_{adm} = T_{ult} \frac{1}{(FS)_{DI} X (FS)_{FL} (FS)_{DC} X (FS)_{DB}}$$

$\mathbf{T_{adm}}$: La résistance à la traction admissible

$\mathbf{T_{ult}}$: La résistance ultime

$\boldsymbol{FS}$: Le facteur de sécurité

Les différents indices sont expliqués dans le tableau suivant

Tableau III.3 : Les différents coefficients de sécurité combine

	Signification	**Valeurs**
$(FS)_{DI}$	Dommages dus à l'Installation	1.1 à 2.0
$(FS)_{FL}$	Fluage	2.0 à 4.0
$(FS)_{DC}$	Dégradation Chimique	1.0 à 1.5
$(FS)_{DB}$	Dégradation Biologique	1.0 à 1.3

VII-2-2- Détermination de la pression totale sur le mur en géotextiles :

Le mur en géotextiles est soumis à trois types de pressions : une pression provenant des poids du remblai, une pression due aux surcharges et une pression provenant des poids des véhicules circulant sur la chaussée. Si l'on utilise les coefficients de poussée de Rankine et la théorie d'élasticité de Boussinesq, les différentes pressions (montrées sur la figure précédente) peuvent être exprimées par les équations suivantes :

$$\sigma_{hs} = K_a \gamma z$$

$$\sigma_{hq} = K_a q$$

$$\sigma_{hl} = P \frac{x^2 z}{R^5}$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} + \sigma_{hl}$$

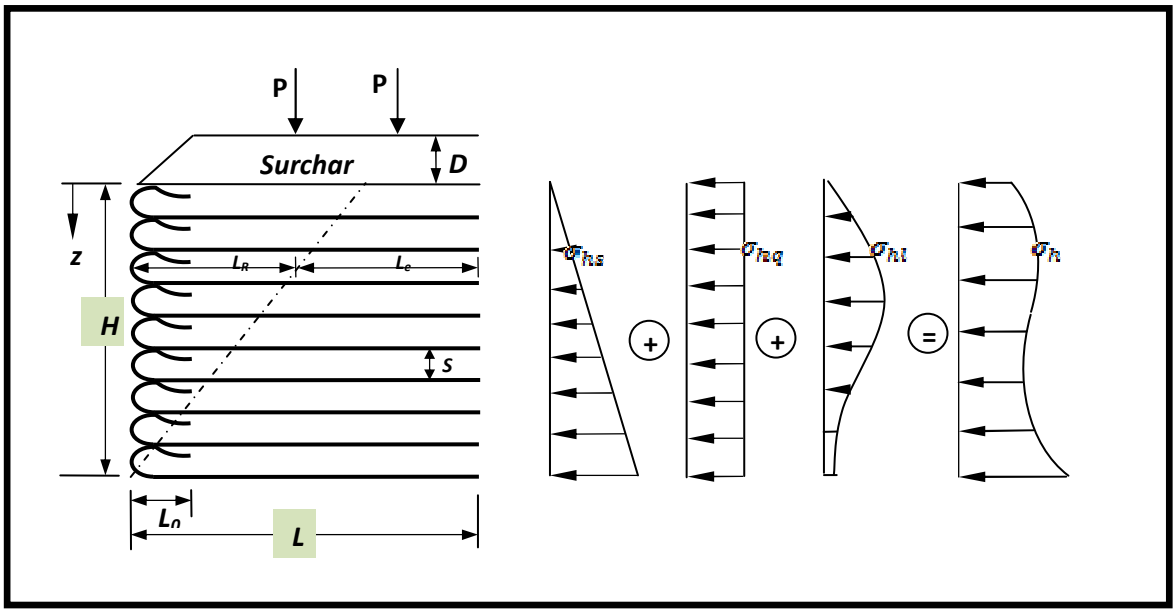


Figure III .20 : La pression totale sur le mur en géotextiles.

Où σ_{hs} est la pression latérale des terres, $K_a = tan^2(45 - \phi/2)$ est le coefficient de poussée de Rankine, ϕ l'angle de frottement interne du remblai retenu par le mur en géotextiles, γ poids volumique du remblai, z est la profondeur comptée à partir de la surface à la couche en question, σ_{hq} est la pression latérale due à la surcharge, $q = \gamma_q D$ est la surcharge appliquée en surface, γ_q est le poids volumique du sol de surcharge, **D** est la profondeur du sol de surcharge.

σ_{hl} Est la pression latérale provoquée par la circulation des véhicules, **P** est la charge concentrée sur la surface du remblai, **x** est la distance séparant la force et le mur.

σ_h est la pression totale à laquelle le mur est soumis.

VII-2-3- Évaluation de l'espacement entre les couches des géotextiles a la base du remblai ou les valeurs des contraintes sont maximales :

$$S_v = \frac{T_{adm}}{\sigma_h FS}$$

Où S_v est l'espacement vertical (épaisseur d'élévation),

T_{adm} Est la contrainte admissible dans le géotextile évaluée par l'équation ci-dessus,

FS Est un facteur de sécurité

VII-2-4- Détermination de la longueur d'ancrage, la longueur passive et la longueur totale des géotextiles :

La longueur totale des géotextiles est la somme de la longueur d'ancrage L_e et de la longueur passive L_R :

$$L = L_e + L_R$$

Expression dans laquelle la longueur passive est donnée par :

$$L_R = (H - z)\tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

Et la longueur d'ancrage est donnée par :

$$L_e = \frac{S_v\,\sigma_h\,FS}{2(C_a + \gamma z\,\tan\delta)}$$

Expression dans laquelle :

- S_v est l'espacement vertical entre les nappes de géotextiles,
- σ_h est la pression latérale totale à la profondeur envisagée,
- FS est un facteur de sécurité adopté,
- C_a est une cohésion caractérisant l'interface sol/géotextile (=0 dans le cas d'un matériau pulvérulent),
- γ poids volumique du matériau de remblai,
- z est la profondeur comptée à partir de la surface et
- δ est l'angle de frottement caractérisant l'interface sol/géotextile.

VII-2-5- Détermination de la longueur de recouvrement :

La détermination de la longueur de recouvrement se fait de la même manière que la longueur d'ancrage avec quelques exceptions. La profondeur z doit être évaluée à mi-hauteur de la couche et la pression latérale totale doit être réduite à moitié. Cela nous permet d'écrire :

$$L_0 = \frac{S_v\,\sigma_h\,FS}{4\,(C_a + \gamma z\,\tan\delta)}$$

VII-3- Étude de la stabilité externe du mur en géotextile :

Pour l'étude de la stabilité externe d'un mur renforcé par des géotextiles, on doit procéder par un traitement similaire à un mur poids (Gabions, …etc). Les modes de rupture par renversement, par glissement ou par poinçonnement doivent être envisagés (Figure suivante) :

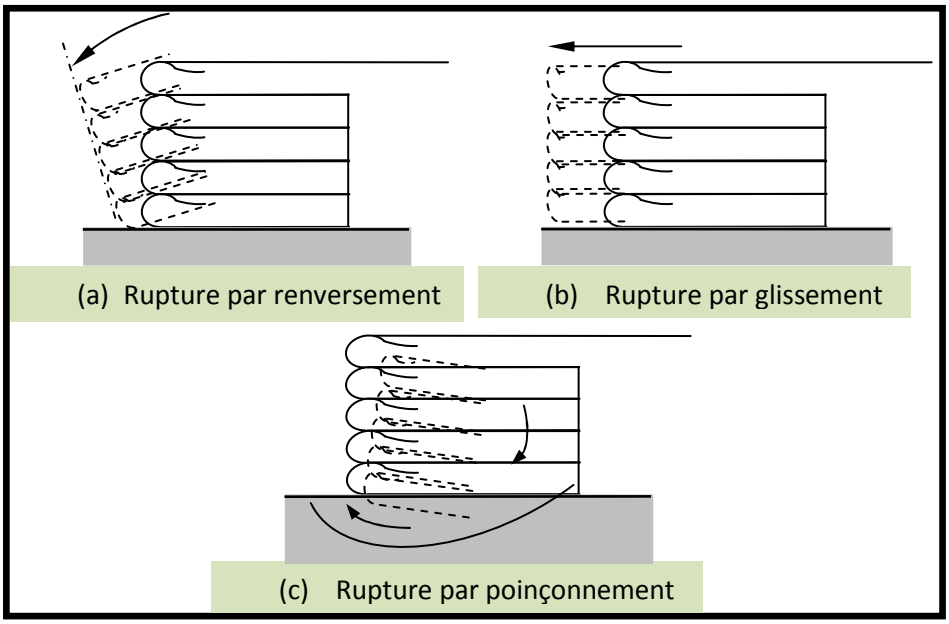


Figure III.21 : Modes de rupture

Pour évaluer les facteurs de sécurité correspondant aux différents modes de rupture, la figure suivante donne les différents paramètres permettant un calcul aisé :

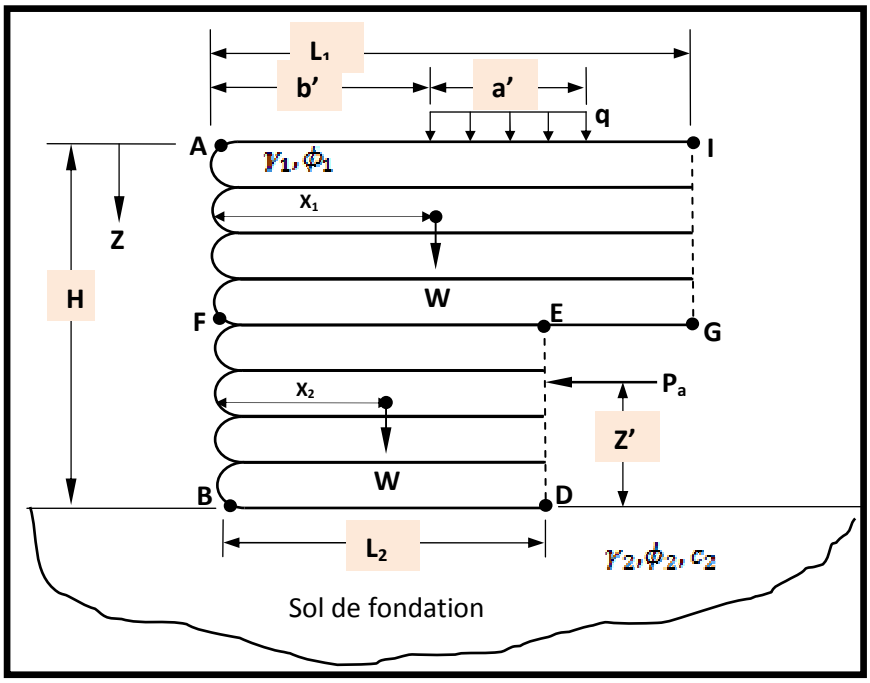


Figure III .22 : les différents paramètres

VII-3- 1- Stabilité vis-à-vis le renversement :

En prenant la somme des moments par rapport au point B, le moment de renversement se calcule par :

$$M_0 = P_a\, z'$$

Où $P_a = \text{force active(de poussée)} = \int_0^H \sigma_a\, dz = \frac{1}{2} K_a \gamma_1 H^2$

Le moment résistant peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$M_R = W_1 x_1 + W_2 x_2 + \cdots + qa'\left(b' + \frac{a'}{2}\right)$$

Où $W_1 = (L'aire\ AFEGI)(1)(\gamma_1)$

$W_2 = (L'aire\ FBDE)(1)(\gamma_2)$

$$FS_{renversement} = \frac{M_R}{M_0}$$

VII-3-2- Stabilité vis-à-vis le glissement :

Le facteur de sécurité vis-à-vis le glissement peut être évalué par l'expression suivante :

$$FS_{glissement} = \frac{(W_1 + W_2 + \cdots + qa')(\tan\delta)}{P_a}$$

Où $\delta = (2/3)\phi_1$.

VII-3-3- Stabilité vis-à-vis le poinçonnement :

La résistance limite du sol de fondation peut être évaluée par la formule analytique suivante :

$$q_u = C_2' N_c + \frac{1}{2}\gamma_2 L_2 N_\gamma$$

Où N_c et N_γ sont des facteurs de portance fonctions de l'angle de frottement interne du sol de fondation ϕ_2.

Le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture par poinçonnement s'exprime par l'équation suivante :

$$FS_{poinçonnement} = \frac{q_u}{\sigma_{0(H)} + Q}$$

Où $\sigma_0 = \gamma_1 H$ et $Q =$ valeur des contraintes à la base du mur dues aux surcharges appliquées en surface.

VIII-ETUDE D'UN CAS :

Introduction :

Notre étude de cas consiste en l'analyse de la stabilité d'un talus renforcé par géotextiles ;

Le glissement, situé sur la route nationale n 64 au niveau du PK 26+000 à EL-oumaria au Nord-est de la wilaya de Médéa, En plus le glissement a touché des axes routiers et aussi des habitations limitrophes à la sortie de la ville.

VIII-1- Calcul et Vérification :

- **Hypothèses de calcul :**

Plusieurs facteurs on été pris en compte pour l'évaluation du risque de glissement comme la variation du niveau de la nappe, la chaussée, la surcharge du trafic routier, le séisme et en fin le renforcement du talus.

Deux cas de figures ont été traités : cas sans stabilisation et un autre cas avec renforcement. Le renforcement dans ce site est constitué de remblai formé de matériaux noble (TVO) renforcé par des géotextiles disposés sous forme de nappes espacées de 0.80 m.

Le calcul est fait selon les deux cas suivants :

- Etat actuel du site ;
- Site après confortement.

L'étude de stabilité a été effectuée à l'aide du programme TALREN version 4 dont le calcul est basé sur la méthode des tranches. Ce programme consiste à tester plusieurs surfaces de ruptures probables des glissements observés correspondant à des coefficients de sécurité minimums (Fs ≤1).

En rupture circulaire, le coefficient de sécurité (Fs) est calculé par les approches de Bishop et Jambu (perturbation circulaire) et en rupture non circulaire, par la méthode des perturbations non circulaires.

Dans ce programme, excepté la géométrie, toutes les données du problème sont modifiables simplement de façon itérative, ce qui permet de tester successivement des jeux de valeurs (géométrique, hydraulique, paramètres géotechniques) et donc de dégager l'influence de chacun des paramètres sur la stabilité.

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

vers le haut. Le profil est alors décrit par des segments reliant un ensemble de points, délimitant chacun d'eux une partie propre de la pente.

Les caractéristiques géotechniques utilisées dans les calculs sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Caractéristiques des sols :

N°couche	Densité Kn/m3	Cohésion Kpa	Angle frottement °	Frottement qs Kn
argile altérée	18	10	15	60
Argile saine	19	150	18	120
Marne saine	21	200	22	200

Le remblai utilisé a une cohésion de 5 kPa, un angle de frottement de 35° et un poids volumique de 20 kN/m^3. Les géotextiles ont une résistance à la traction de 100 kN/ml.

Niveau d'eau à -2m sous la chaussée.

Les différentes simulations ont abouti aux résultats suivants:

- **Talus sans renforcement :**

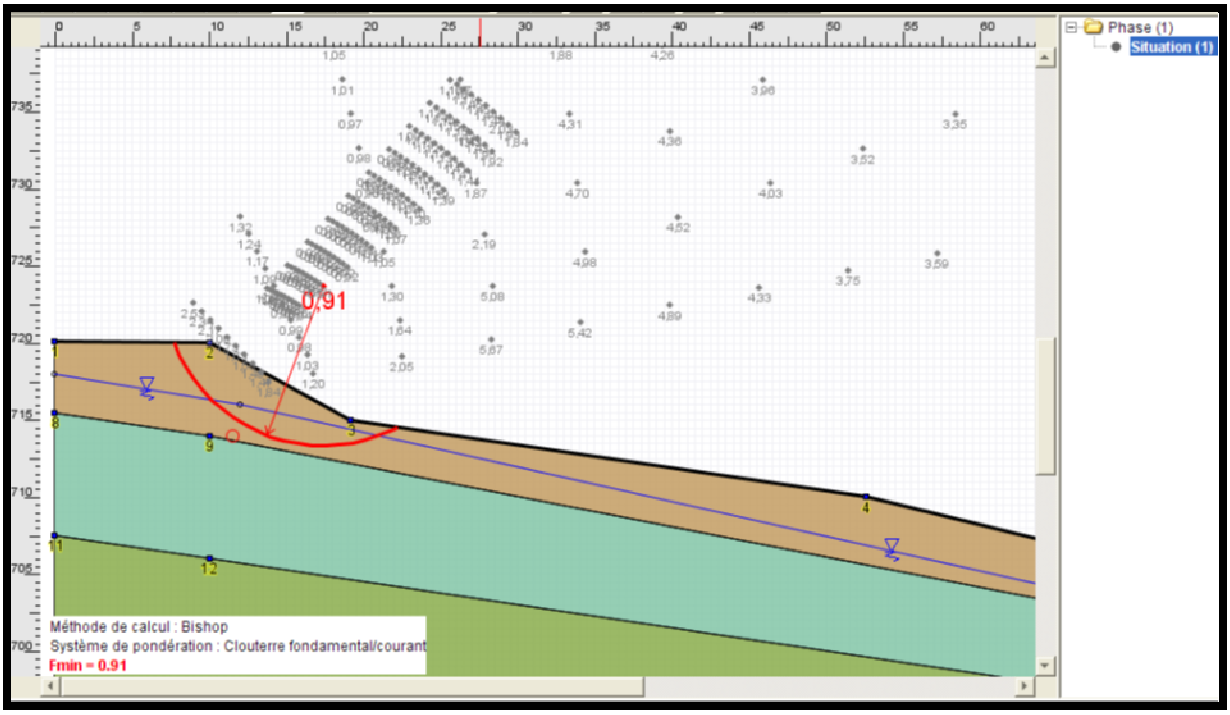


Figure III.23 : Talus sans confortement

Tableau III.5 : Caractéristiques des couches sans confortement

Couche	φ(°)	C (kpa)	F	Observation	Fu	Observation
Argile altérée	15	10	1.0	précaire	0.91	instable
Argile saine	18	150				
Marne saine	22	200				

- **Talus renforcé par mur en géotextile – situation au séisme (A=0.25g) :**

Pour un espacement vertical de 0.5m entre nappes et une résistance à la traction de 100kn/ml :

Le coefficient de sécurité est de 1.25 pour une largeur de la butée de 5m et 6m de hauteur.

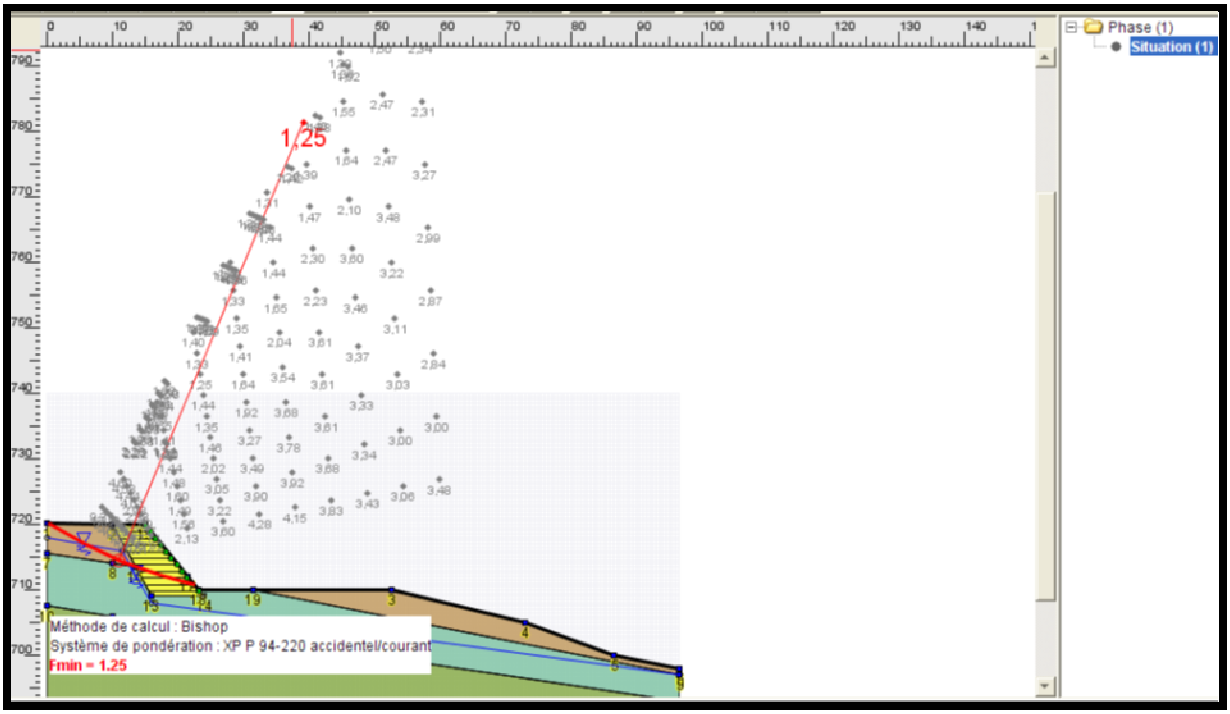


Figure III.24 : Talus renforcé en géotextile

Tableau III.6 : Caractéristiques des couches après confortement

Couche	φ(°)	C (kpa)	F	Observation	Fu	Observation
Argile altérée	15	5	1.34	stable	1.25	stable
Argile saine	18	50				
Marne saine	22	200				

Les différentes simulations ont abouti à des coefficients de sécurité F, De 1.34, sans prise en compte de la pression interstitielle ; et Fu de 1.25 en considérant la pression interstitielle et ceci par renforcement en géotextile.

Calcul de la résistance à la traction admissible sur la base du coefficient de sécurité combine :

$(FS)_{DI}$ = 1.5, $(FS)_{FL}$ = 2.0, $(FS)_{DC}$ = 1.3, $(FS)_{DB}$ = 1.3

$$T_{adm} = 100 \times \frac{1}{1.5 \times 2.0 \times 1.3 \times 1.3}$$

T_{adm} = 19.7 kn/m

Calcul de la pression totale sur le mur en géotextiles :

- **Calcul de la pression latérale des terres :**

$$\sigma_{hs} = K_a \gamma z$$

$K_a = tan^2(45 - \phi/2)$ = 0.27

σ_{hs} = 0.27 x 20 x 6(2/3)

σ_{hs} = 21.6

- **Calcul de la pression latérale due à la surcharge :**

$$\sigma_{hq} = K_a q$$

σ_{hq} = 0.27 x 20

σ_{hq} = 5.4

- **la pression totale à laquelle le mur est soumis :**

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq}$$

σ_h = 21.6 + 5.4

σ_h = 27

Calcul de l'espacement entre les couches des géotextiles a la base du remblai ou les valeurs des contraintes sont maximales :

$$S_v = 19.7 / (27x1.35)$$

$$S_v = 0.5 \text{ m}$$

Détermination de la longueur de recouvrement :

$$L_0 = 0.5 \times 27 \times 1.35 / 4(20 \times 6 \times \tan 23)$$

$$L_0 = 0.1 \text{ m}$$

Calcul de la longueur d'ancrage, la longueur passive et la longueur totale des géotextiles :

Tableau III.7 : les résultats de la langueur des nappes géotextile

Couche No.	Profondeur, z (m)	Espacement, S_v (m)	L_e (m)	$L_e min$ (m)	L_R (m)	L_{Calc} (m)	L_{spec} (m)
13	**0.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**3.12**	**3.42**	**3.50**
12	**0.50**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**2.86**	**3.16**	
11	**1.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**2.60**	**2.90**	
10	**1.50**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**2.34**	**2.64**	**3.00**
9	**2.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**2.08**	**2.38**	
8	**2.50**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**1.82**	**2.12**	
7	**3.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**1.56**	**1.86**	
6	**3.50**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**1.30**	**1.60**	
5	**4.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**1.04**	**1.34**	**1.50**
4	**4.50**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**0.78**	**1.08**	
3	**5.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**0.52**	**0.82**	
2	**5.50**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**0.26**	**0.56**	
1	**6.00**	**0.5**	**0.3**	**0.1**	**0.00**	**0.30**	

VIII-2- Étude de la stabilité externe du mur en géotextile :

- **Stabilité vis-à-vis le renversement :**

W_1 = (3.5 x 1) x (1) x (20)

W_1 = 70 Kn

x_1 = 3.5 / 2 = 1.75

W_2 = (3 x 2) x (1) x (20)

W_2 = 120 Kn

x_2 = 3 / 2 = 1.5

W_3 = (1.5 x 2) (1) (20) = 60 Kn

x_3 = 1.5 / 2 = 0.75

b' = 2.5 m

a' = 6 m

$$M_R = (70)(1.75) + (120)(1.5) + (60)(0.75) + (20)(6)(2.5 + 3)$$

M_R = 810.92

P_a = 97.2

$$M_0 = (97.2)(2)$$

M_0 = 194.40

$$FS = \frac{810.92}{194.40}$$

$$FS = 4.18$$

- **Stabilité vis-à-vis le glissement :**

$$FS_{glissement} = \frac{(70 + 120 + 60 + 120)(0.42)}{97.2}$$

$$FS_{glissement} = 1.6$$

- **Stabilité vis-à-vis le poinçonnement :**

Pour ϕ_2 =18° on a : N_c = 13.1, N_γ = 3.69

q_u = (30) (13.1) + 0.5 (19) (1.5) (3.69)

q_u = 445.25

$$FS_{poinçonnement} = \frac{445.25}{140}$$

$$FS_{poinçonnement} = 3.18$$

CONCLUSION :

Les terres ont un module d'élasticité assez faible et donc ne sont pas capable de supporter toutes les forces que les constructions exercent lors de la mise en œuvre des charges. Les forces de traction ainsi apparues peuvent être transmises et absorbées par des géotextiles, lorsque les géotextiles agissent comme un renfort, alors on parle de la terre renforcée

Les géotextiles comprennent un grand nombre de produits manufacturés, à base de matériaux synthétiques et naturels, sous la forme de feuilles, bandes, utilisés en ingénierie géotechnique, environnement et dans les ouvrages routiers.

Dans notre cas étudié Le coefficient de sécurité minimum pour le site à son état actuel est inférieur à 1,30 (environ 1,05), ce qui représente un risque prononcé d'instabilité et de glissement.

La solution proposée qui consiste en la substitution de la couche à faible résistance épaisse de dix (6) mètres par un remblai renforcé par des nappes de géotextiles a conduit à une nette amélioration du coefficient de sécurité au glissement, qui dépasse la valeur de 1,30 (environ 1,34)

CHAPITRE IV ELABORATION D'UN UTILITAIRE DE CALCUL (EXCEL 2007)

I Introduction :

Microsoft Excel, dont le nom officiel actuel est Microsoft Office Excel, est un logiciel de tableur de la suite bureautique Microsoft Office, développée et distribuée par l'éditeur Microsoft ; il est destiné à fonctionner sur les plates-formes Microsoft Windows ou Mac OS X. Le logiciel Excel intègre des fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, d'analyse de données (notamment de tableau croisé dynamique) et de programmation, laquelle utilise les macros écrites dans le langage VBA (Visual Basic for Applications) qui est commun aux autres logiciels de Microsoft Office. Depuis sa création au début des années 1980 mais surtout à partir de sa version 5 (en 1993), Excel a connu un grand succès tant auprès du public que des entreprises prenant une position très majoritaires face aux logiciels concurrents, tel Lotus 1-2-3. La version actuelle du logiciel est Excel 2010 sous Windows et Excel 2011 sous Mac OS X ; dans ces deux environnements, Excel utilise des fichiers portant l'extension **xls** ou **xlsx** (à partir de la version 2007). Chaque fichier correspond à un classeur lequel contient des feuilles de calculs organisées. Chaque feuille correspond à un tableau de lignes et de colonnes pouvant contenir des valeurs (numériques ou non) ainsi que des formules permettant les calculs. Suivant les versions, les classeurs peuvent aussi inclure les éléments de programmation que sont les macros.

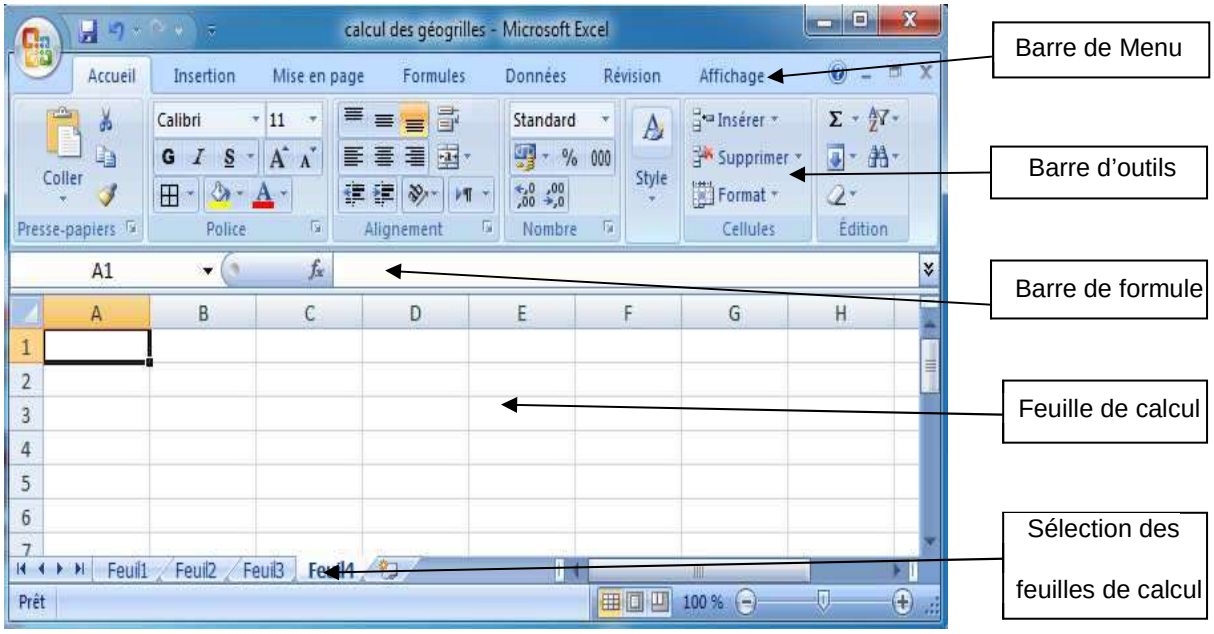


Figure IV.1: Interface d'Excel 2007

II Historique :

À l'origine, Microsoft a commercialisé un tableur appelé Multiplan en 1982 qui fut très populaire sur les systèmes CP/M (plus populaire que Lotus 1-2-3 en France, mais pas dans le reste du monde). La première version d'Excel est sortie en 1985 (Multiplan ne fut pas réutilisé) pour les ordinateurs Apple Macintosh alors que la première version pour Windows, la 2.05 (en ligne avec celle pour Macintosh), est sortie en 1987. Elle incluait un Moteur d'exécution (Runtime) de la version 2.1 de Microsoft Windows.

Avec l'introduction de Windows 3.0 en 1990, les ventes d'Excel dépassèrent celles de Lotus 1-2-3 et il atteignit la première place dans la liste des ventes (en nombre de licences). Cet accomplissement permit à Microsoft de détrôner le leader mondial du logiciel en se positionnant comme un véritable concurrent et démontra ainsi ses capacités à développer des logiciels avec interface graphique utilisateur (GUI).

Les tableurs ont été les premières applications importantes pour les ordinateurs personnels et lorsque Excel fut empaqueté avec Microsoft Word et Microsoft PowerPoint dans la suite Microsoft Office (4.x), l'interface de ces deux derniers programmes a dû être revue pour être conforme avec celle d'Excel.

La version 14 actuelle pour systèmes Windows (XP SP2 et ultérieur) se nomme aussi Microsoft Office Excel 2010 et la version actuelle pour Macintosh se nomme quant à elle, Microsoft Excel 2011.

III FONCTIONNEMENT :

III-1- Principes simples des formules :

Il est possible de faire calculer beaucoup de choses à Excel en saisissant une « formule » dans une cellule.

- Par exemple commencez par saisir = dans la cellule **A10** ce qui indique à Excel que vous attendez de lui un calcul dont le résultat s'affichera dans **A10**.
- Ensuite entrez les Arguments après le = donc dans A10 tapez =**A1+A2**
- Rendez la main à Excel en tapant la touche **retour à la ligne** ce qui signifie à toi de jouer.
- Le résultat de l'addition s'affiche dans **A10** (A condition qu'il y ait des nombres dans A1 et A2 évidemment)

- Similaire : dans **A10** si on saisit : =**A1*A2** le résultat sera la multiplication des nombres contenus dans A1 multipliés par A2.
- Similaire : dans **A10** si on saisit : =**A1/A2** le résultat sera la division des nombres contenus dans A1 divisé par A2.
- Similaire : dans **A10** si on saisit : =**A1+A2+A4** le résultat sera l'addition des nombres contenus dans A1, A2 et A4.

- Similaire : dans **A10** si on saisit : =**A1+(A2*A4)** le résultat sera l'addition du contenu de A1 avec le résultat de la multiplication A2 par A4.

Note : la parenthèse permet de décomposer clairement à Excel le calcul qu'il doit effectuer.

Excel contient aussi des Fonctions, paramétrables ou non, avec des catégories diverses répertoriées par les dernières utilisations (les plus courantes) ou en simple liste de choix...

Somme :

Par exemple la Fonction : '**SOMME'** effectue l'addition d'une zone désignée plage.

Sélectionnez par exemple la cellule **A21** et commencez par saisir = (Le = signifie à Excel que vous attendez de lui un calcul). Rentrer le nom de la Fonction : **SOMME**. Écrivez entre parenthèses les références des cellules ce qui signifie à Excel quelle plage de cellules il doit prendre en compte pour calculer la somme. Vous obtenez ainsi dans la cellule A21 **=SOMME (A2:A20)** En appuyant sur retour à la ligne, Excel effectue la somme du contenu des cellules A2 jusqu'à A20 et l'affiche dans **A21**.

Nota : les ' : ' entre A2 et A20 signifient **jusqu'à.**

Moyenne :

Si vous tapez par exemple =**MOYENNE (A1:A20)** En appuyant sur retour à la ligne Excel effectue la moyenne du contenu des cellules A1 jusqu'à A20.

Maintenant :

Si vous tapez par exemple =**MAINTENANT ()** En appuyant sur retour **à la** ligne Excel affiche la date du jour et l'heure (de façon dynamique) Nota : les parenthèses sont indispensables bien qu'il n'y ait pas d'arguments à décrire.

Autres fonctions :

Dans le **Menu Insertion**, la commande **Fonction**…, Excel propose un gros catalogue de fonction prêtes à l'emploi avec une description de leur usage.

Les Fonctions Complémentaires :

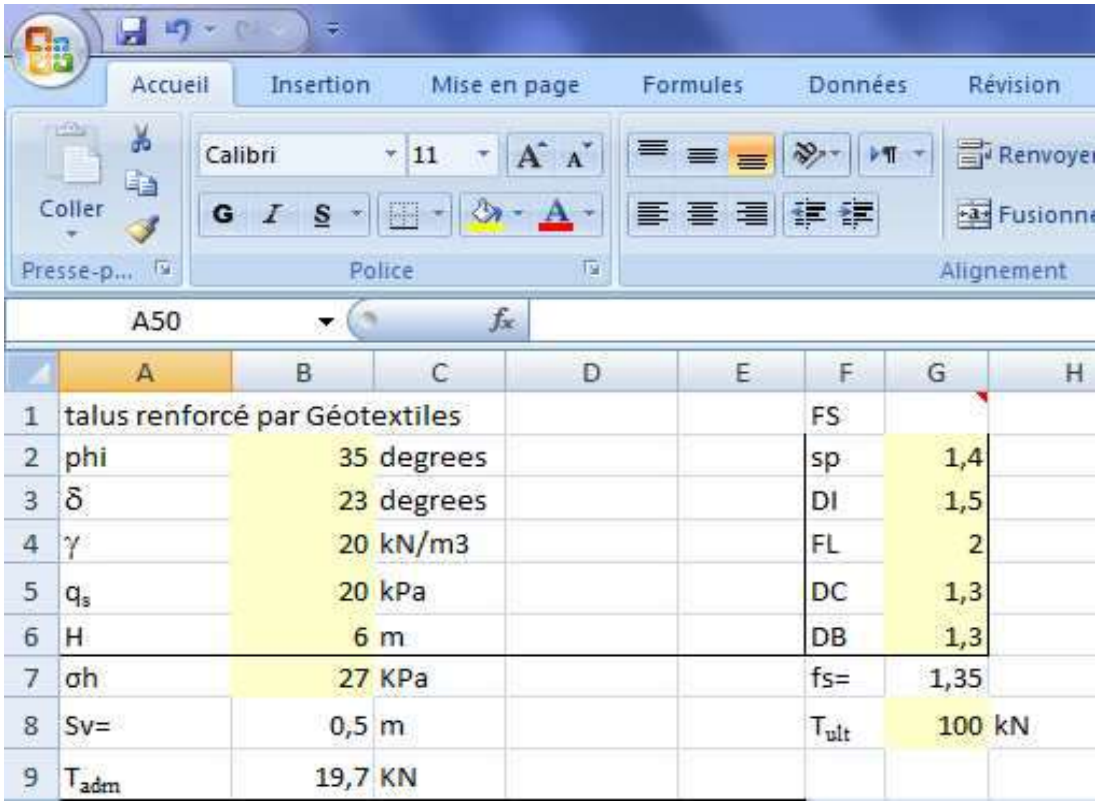
Certaines formules reposent sur des packs externes de fonctions complémentaires (par exemple, **Utilitaire d'analyses**).

III-2-Caractéristiques :

Cette application est un tableur ; autrement dit, elle se présente sous forme de tableaux structurés en lignes et colonnes dans des onglets séparés avec, pour chaque cellule qui compose chaque feuille, des caractéristiques particulières pour les calculs, des outils de génération de graphiques, des outils d'analyse croisée dynamique et un module de programmation par macro ou en développement direct avec le langage Visual Basic pour Application (VBA).

IV-PRESENTATION DE LA METHODE DE CALCUL :

IV-1- Déclaration des données : cette étape consiste a la saisie des données, chaque cellule contient une donnée



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	talus renforcé par Géotextiles					FS		
2	phi	35	degrees			sp	1,4	
3	δ	23	degrees			DI	1,5	
4	γ	20	kN/m3			FL	2	
5	q_s	20	kPa			DC	1,3	
6	H	6	m			DB	1,3	
7	σh	27	KPa			fs=	1,35	
8	Sv=	0,5	m			T_{ult}	100	kN
9	T_{adm}	19,7	KN					

Figure IV.2 : Déclaration des données

Les valeurs : phi, δ, γ, q_s , H, $(FS)_{sp}$, $(FS)_{DI}$, $(FS)_{FL}$, $(FS)_{DC}$, $(FS)_{DB}$ sont des données **.**

IV -2- évaluation de la résistance a la traction admissible sur la base du coefficient de sécurité combine :

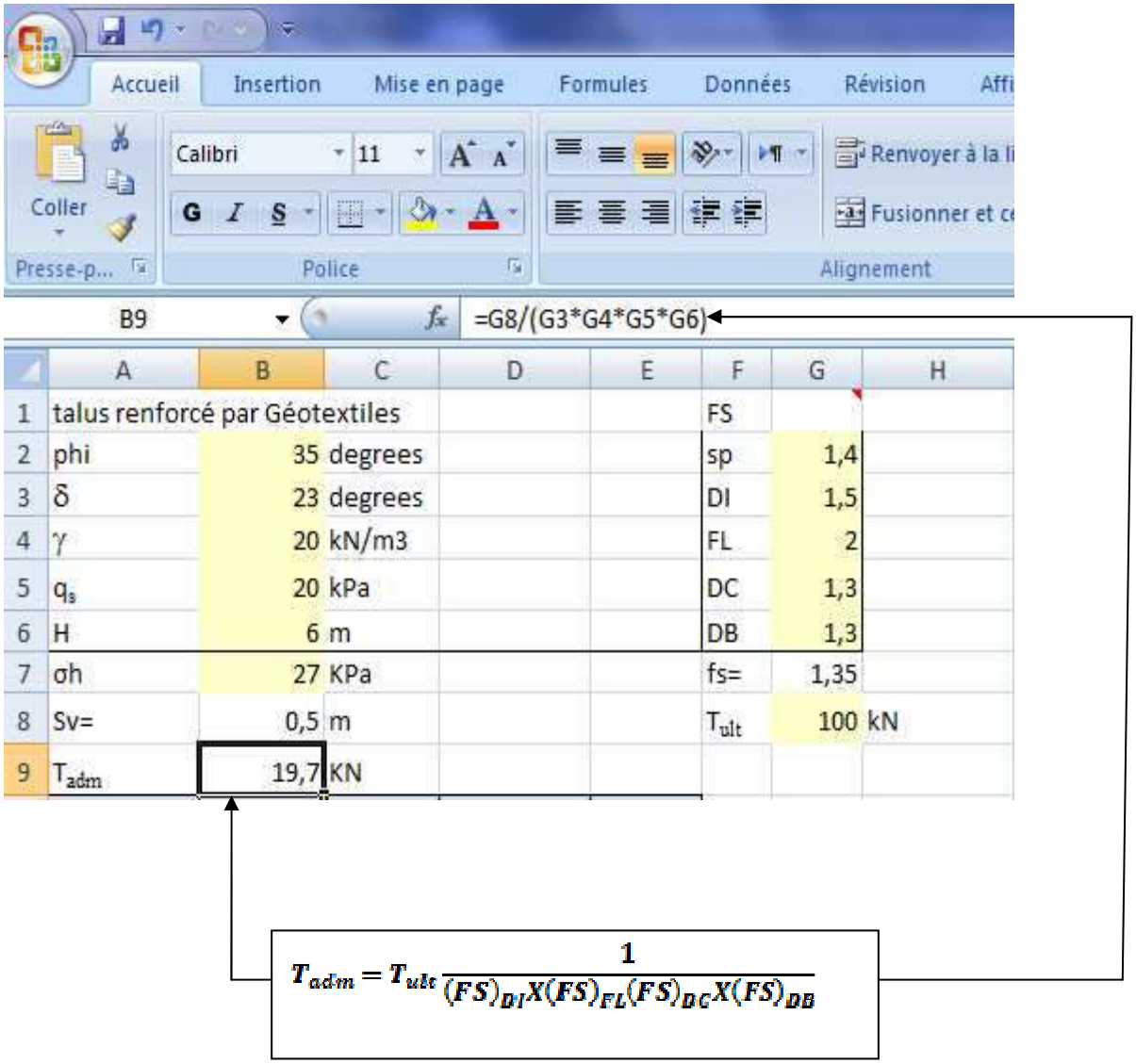


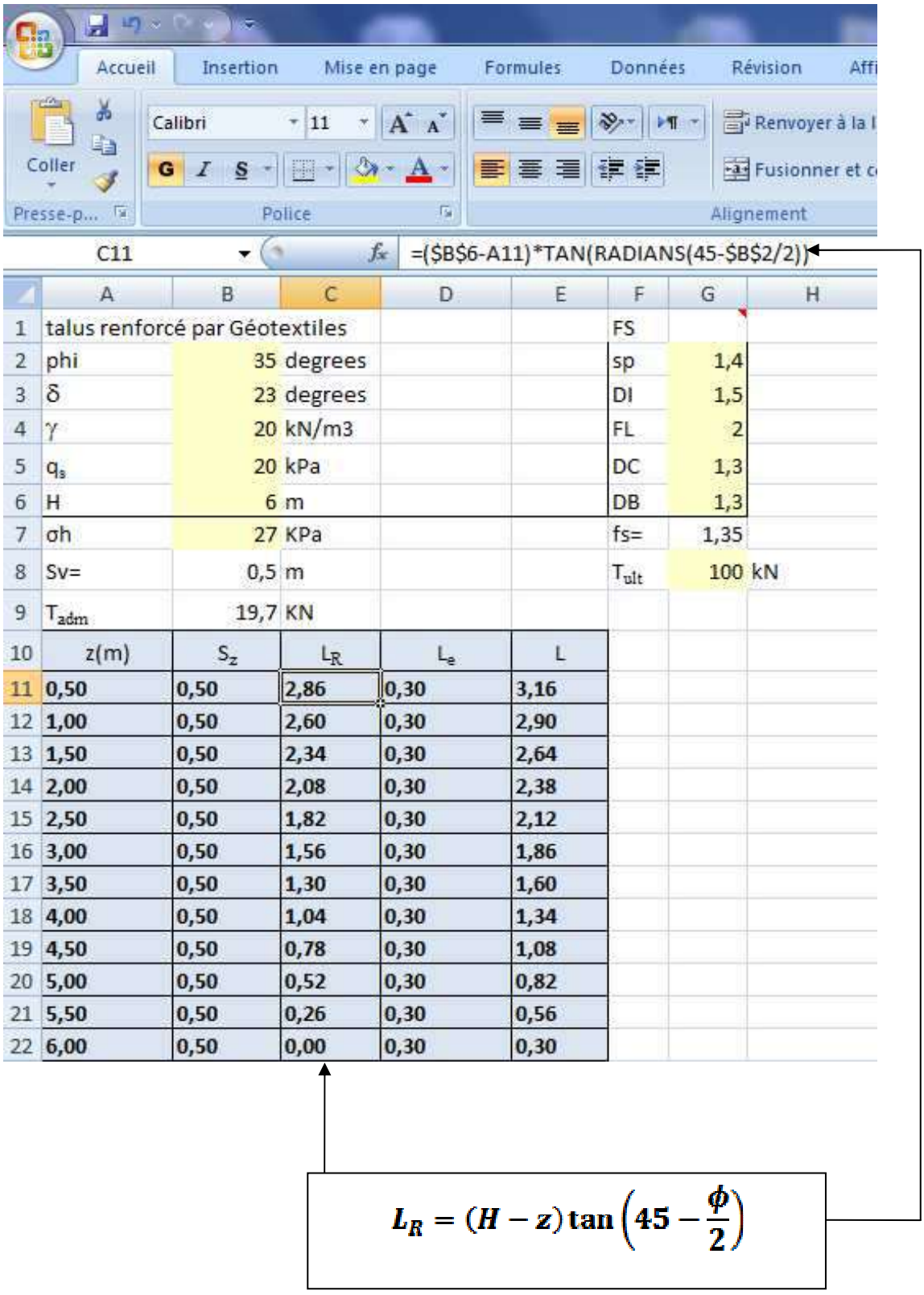
Figure IV.3 : Calcul de la traction admissible

T_{adm} Est calculé par la formule ci-dessus, cette dernière est introduite dans l'Excel, sachant que chaque cellule a une valeur.

Même calcul sera effectué pour les autres valeurs : σ_h, Sv, .

Chaqu'une a sa propre formule donc la fonction dans l'Excel sera modifiée.

IV -3- détermination de la longueur passive des géotextiles :

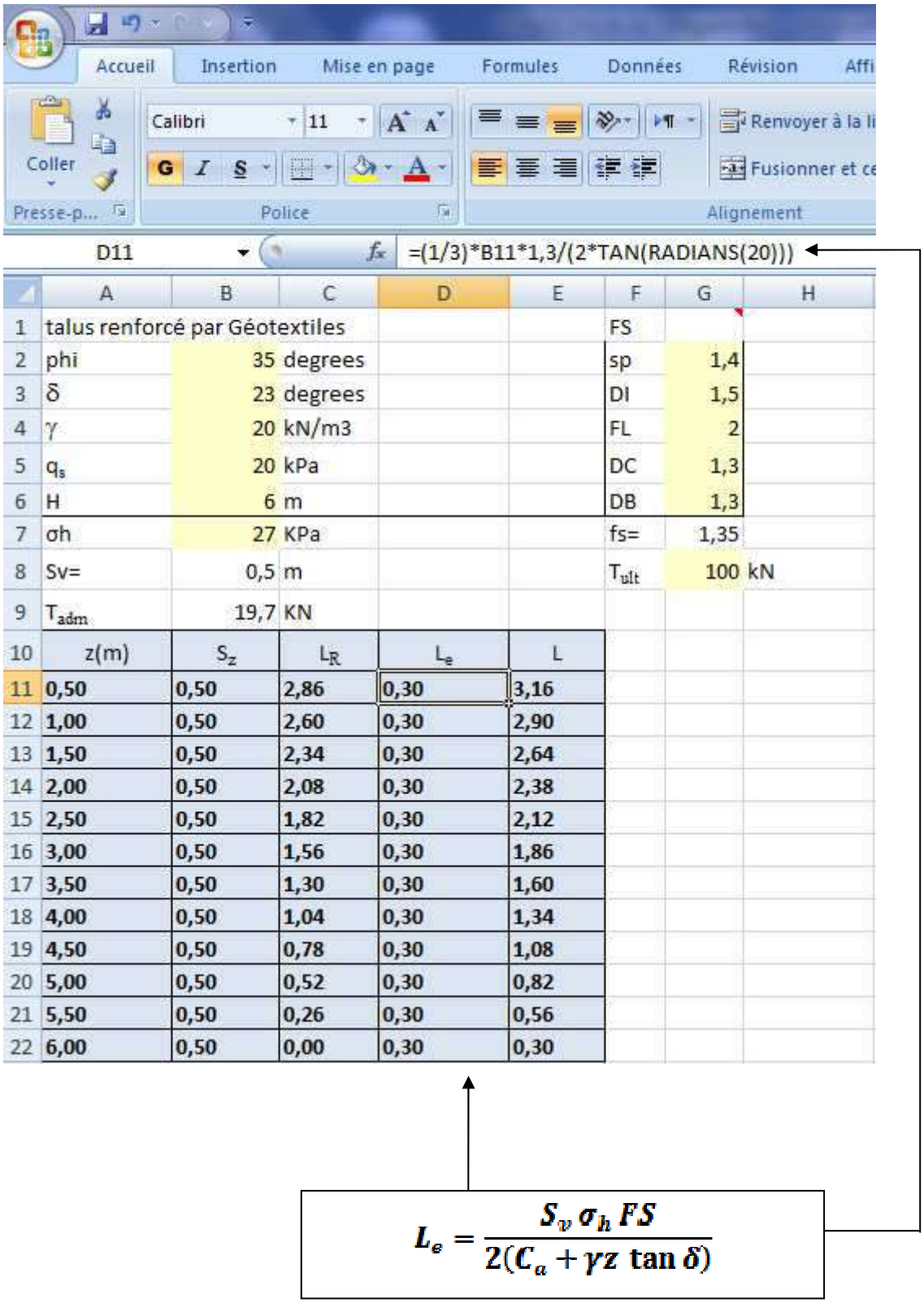


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	talus renforcé par Géotextiles					FS		
2	phi	35	degrees			sp	1,4	
3	δ	23	degrees			DI	1,5	
4	γ	20	kN/m3			FL	2	
5	q_s	20	kPa			DC	1,3	
6	H	6	m			DB	1,3	
7	σh	27	KPa			fs=	1,35	
8	Sv=	0,5	m			T_{ult}	100	kN
9	T_{adm}	19,7	KN					
10	z(m)	S_z	L_R	L_e	L			
11	0,50	0,50	2,86	0,30	3,16			
12	1,00	0,50	2,60	0,30	2,90			
13	1,50	0,50	2,34	0,30	2,64			
14	2,00	0,50	2,08	0,30	2,38			
15	2,50	0,50	1,82	0,30	2,12			
16	3,00	0,50	1,56	0,30	1,86			
17	3,50	0,50	1,30	0,30	1,60			
18	4,00	0,50	1,04	0,30	1,34			
19	4,50	0,50	0,78	0,30	1,08			
20	5,00	0,50	0,52	0,30	0,82			
21	5,50	0,50	0,26	0,30	0,56			
22	6,00	0,50	0,00	0,30	0,30			

$$L_R = (H - z)\tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

Figure IV.4 : Calcul de la longueur passive

IV -4- détermination de la longueur d'ancrage, des géotextiles :

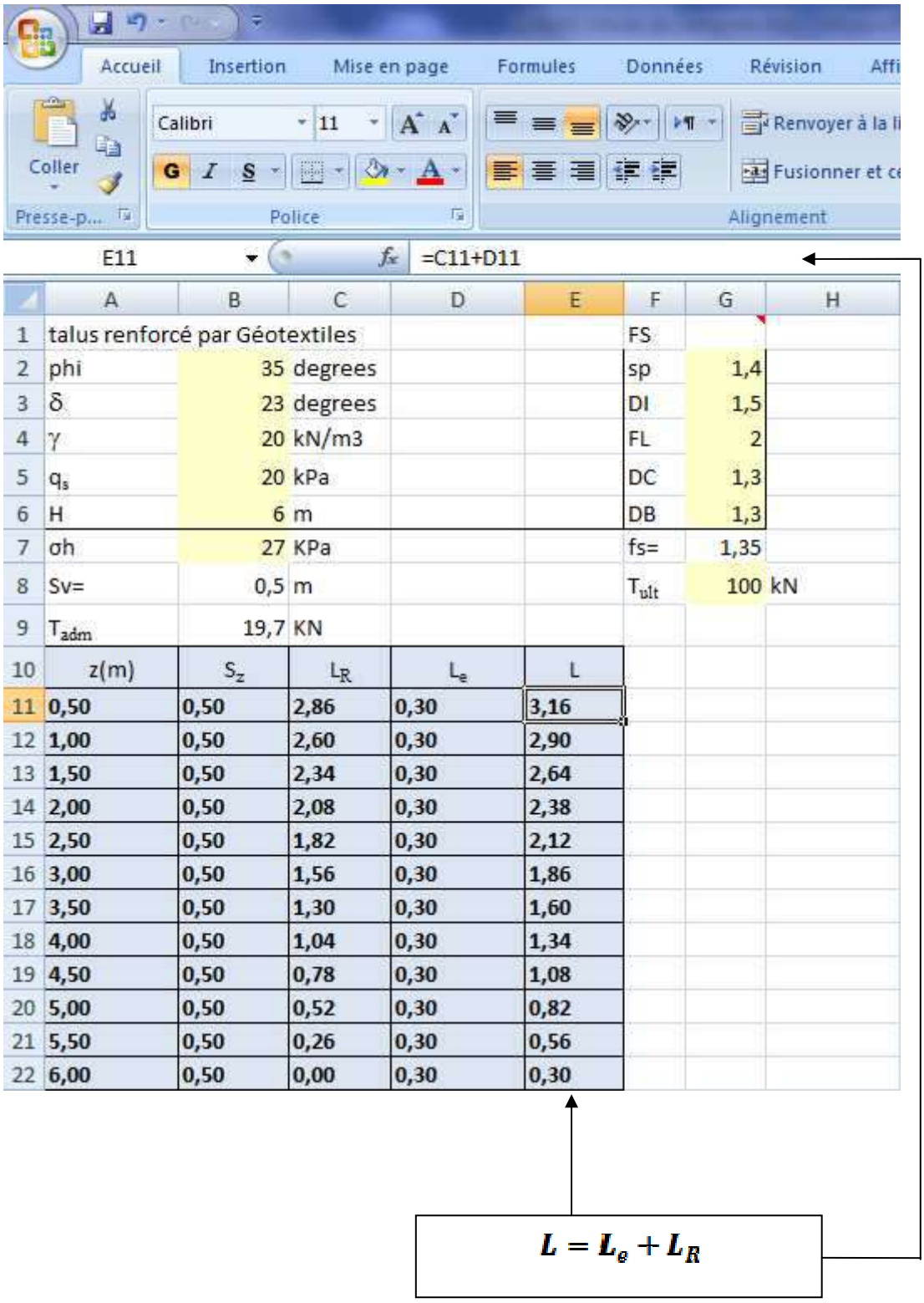


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	talus renforcé par Géotextiles					FS		
2	phi	35	degrees			sp	1,4	
3	δ	23	degrees			DI	1,5	
4	γ	20	kN/m3			FL	2	
5	q_s	20	kPa			DC	1,3	
6	H	6	m			DB	1,3	
7	σh	27	KPa			fs=	1,35	
8	Sv=	0,5	m			T_{ult}	100	kN
9	T_{adm}	19,7	KN					
10	z(m)	S_z		L_R	L_e	L		
11	0,50	0,50		2,86	0,30	3,16		
12	1,00	0,50		2,60	0,30	2,90		
13	1,50	0,50		2,34	0,30	2,64		
14	2,00	0,50		2,08	0,30	2,38		
15	2,50	0,50		1,82	0,30	2,12		
16	3,00	0,50		1,56	0,30	1,86		
17	3,50	0,50		1,30	0,30	1,60		
18	4,00	0,50		1,04	0,30	1,34		
19	4,50	0,50		0,78	0,30	1,08		
20	5,00	0,50		0,52	0,30	0,82		
21	5,50	0,50		0,26	0,30	0,56		
22	6,00	0,50		0,00	0,30	0,30		

$$L_e = \frac{S_v \sigma_h FS}{2(C_a + \gamma z \tan \delta)}$$

Figure IV.5 : Calcul de la longueur d'ancrage

IV -5- détermination de la longueur totale des géotextiles :



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	talus renforcé par Géotextiles					FS		
2	phi	35	degrees			sp	1,4	
3	δ	23	degrees			DI	1,5	
4	γ	20	kN/m3			FL	2	
5	q_s	20	kPa			DC	1,3	
6	H	6	m			DB	1,3	
7	σh	27	KPa			fs=	1,35	
8	Sv=	0,5	m			T_{ult}	100	kN
9	T_{adm}	19,7	KN					
10	z(m)	S_z		L_R	L_e	L		
11	0,50	0,50		2,86	0,30	3,16		
12	1,00	0,50		2,60	0,30	2,90		
13	1,50	0,50		2,34	0,30	2,64		
14	2,00	0,50		2,08	0,30	2,38		
15	2,50	0,50		1,82	0,30	2,12		
16	3,00	0,50		1,56	0,30	1,86		
17	3,50	0,50		1,30	0,30	1,60		
18	4,00	0,50		1,04	0,30	1,34		
19	4,50	0,50		0,78	0,30	1,08		
20	5,00	0,50		0,52	0,30	0,82		
21	5,50	0,50		0,26	0,30	0,56		
22	6,00	0,50		0,00	0,30	0,30		

Figure IV.5 : Calcul de la longueur totale

Conclusion :

Vu que les calculs étaient très compliqués. L'Excel étais un bon moyen de nous les facilité. Puisqu'on devait résoudre plusieurs opérations en changeant plusieurs variables dans une même fonction, ce qui concerne les longueurs de géotextiles (passive, d'ancrage ou total) Lors de notre calcul. En bref on a eu tous nos résultats grâce a la même fonction programmé dans ce logiciel (Excel).

CONCLUSION GENERALE

Les glissements de terrain dans constituent un véritable problèmes aux gestionnaires des ouvrages publics et au privé, vu les désordres qui peuvent être causés par ce phénomène allant d'un simple mouvement de terrain qui nécessite un simple soutènement à un vrai glissement spectaculaire qui cause des désordres importants et désagréments non souhaitables aux habitants et porte atteinte à l'économie nationale par les coûts de traitements trop élevés mais inévitables.

Les géosynthétiques dans les différents domaines évoqués, présentent un avantage technique de construction; ils sont à considérer comme une alternative vis-à-vis desautres techniques traditionnelles. Ainsi, à travers leur moindre cout de transport, la possibilité d'utiliser les matériaux existants et la rapidité d'exécution les solutions géosynthétiques sont compétitives, économiques et permettent d'améliorerlaqualité des ouvrages et leur durée de vie.

Le confortement d'un glissement de terrain passe, d'abord, par la localisation de la surface de rupture dans le sol afin de connaître ses dimensions en particulier sa profondeur. En plus de cette donnée, il est de la plus grande importance d'avoir une idée sur son origine : surcharges, écoulements d'eau, altération des sols ou simplement ruissellement exceptionnel .Le choix de la méthode de confortement en dépend.

Le renforcement des sols par géotextile est classé parmi les meilleures alternatives pour l'amélioration de la stabilité des pentes et des remblais, vus les avantages multiples qu'elle peut offrir.

Les nappes de géotextile inclus dans le talus reconstitué s'avèrent de grande influence sur la stabilité de ce dernier. Elle est fonction des espacements des nappes et d'autant plus prononcée lorsque leur espacement est réduit. Par conséquent, le géotextile est un moyen efficace de renforcement pour l'amélioration des remblais utilisés dans le domaine de la construction.

Le dimensionnement d'un mur en géotextiles et le calcul des longueurs des nappes aux différents niveaux ce fait d'une manière facile à l'aide d'un logiciel informatique (L'EXCEL 2007), ce dernier a été choisi grâce à ces fonctions de calcul qui nous ont aidés pour évaluer

les différents paramètres dans notre exemple étudié.

Enfin, cette étude du glissement nous approfondie énormément nos connaissances concernant le traitement des glissements de terrains et des talus d'une façon générale qui est un phénomène difficile à gérer et qui demande des connaissances profondes dans plusieurs domaines, géotechnique, géologique, hydrogéologique, hydraulique, en plus de ce que nous ont appris dans le calcul de géotextiles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] NICOLAS RACANA. « Etude du comportement mécanique d'un massif en sol renforcé par Géotextile cellulaire ». Thèse de doctorat. Université BLAISE PASCAL-CLERMONTII. 20 Décembre 2002.

[2] Fiche Technique des produits Solmax-Texel Géosynthétiques Inc. « Les Géosynthétiques au cœur des structures composites Histoire, état actuel et avenir ». 11 avril 2005

[3] EMMANUEL RICHAUD. « Durabilité des Géotextiles en Polypropylène». Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure d'Art set Métiers Centre de Paris.13 Octobre2006

[4] Fiche Technique des produits Texel « Géotextiles Solutions haute performance pour vos travaux de génie civil » Conception et production de géotextiles non-tissés.01/01/2003.

[5] Fiche Technique des produits Fibertex « Guide de dimensionnement des géotextiles ».

[6] Olivier G. Vermeersch et Jacek Mlynarek « Les géotextiles : outils d'avenir. 2ème partie. Propriétés et performances » Centre des Technologies Géosynthétiques SAGEOS, Saint- Hyacinthe, Québec 1998

[7] Christian Chapeau & Jean-Louis Durville « L'eau et les risques de glissement de terrain »

[8] T. Bensaid « Etude d'un glissement de terrain à el harrouche sur la RN3 PK 45+000 W. SKIKDA » mémoire PFE 2006

[9] G. DEGOUTTE & P .ROYET « Aide mémoire de mécanique des sols »édition 2005

[10] M .FAKIHI «Confortement du glissement de terrain au niveau du PK 255 de la RN 6 liaison FES-TAZA »

[11] M.CASSAN « Géotechnique de l'ingénieur »