République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

Université Dr. Yahia Farès de MEDEA



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil Option : Géotechnique

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master II option :Génie Géotechnique

Thème

Contribution à l'Etude des Murs de Soutènement Gabion Renforcés par des Géogrilles

Proposé par :

Dr.Djillali Amar Bouzid

Encadré par :

Dr.Djillali Amar Bouzid

Présenté par :

Abdellatif Mohamed

kerrouche Akram

Promotion 2012


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Louage à dieu qui nous à donné tant de courage, de force, de

Patience et de volonté pour l'élaboration de ce modeste travail qui a

Eté réalisé au niveau du département de GENIE CIVIL de MEDEA.

A qui nous tenons à exprimer toute notre gratitude à

Dr. Dj AMAR BOUZID pour ses conseils fructueux, ainsi qu'à tout

son personnel

Pour nous avoir aidé et fait profiter de leur compétence, afin de

Mener à bien notre mémoire.

Nous tenons à exprimer notre gratitude.

Nous n'oublions pas de remercier vivement et de tout cœur,

L'ensemble des enseignants de géotechnique.

En fin, à tous ceux qui ont participés de loi ou de prés à la

Réalisation de ce travail.

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier le dieu puissant

Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui ont su planter en moi tout ce qui est de plus beau en ce monde, et qui se sont consacrées à m'inculquer la bonne éducation pour avoir la plus grande des satisfactions et me voir munie des plus grandes distinctions.

A mes très chers parents dont je ne saurai remercier assez pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi.

A mes frères MOUNIM, DJALIL et le petit YOUSEF

A mes sœurs ASMAA et IMEN

A tout la famille ABDELLATIF

A touts mes amis et spécialement M'HAMED,RADHOUANE FOUED, BILLEL, ALI, SAMIR , MARWAN ISMAIL Tohami , SALAH , MOHAMED .....

A Tous mes collègues des 2 années master géotechnique.

Et à toutes personnes que j'ai connues et j'ai aimées et toutes qui m'aime.

MOHAMED

Sommaire

Chapitre I

I.1. Introduction :..... 1

Chapitre II

II.1. Introduction : 4
II.2 .Classification des Soutènements : 4
II. 3. Classification des Murs selon le Mode de Fonctionnement : 5
II .3.1. Fonctionnement par le Poids : 5
II .3.1.1. Différents Types de Mur Poids : 5
II .3.1.1. 1. Mur Poids en Béton Armé, en Maçonnerie ou à Enrochement : 5
II .3.1.1. 2. Mur Poids en Gabions : 6
1. Définition d'ouvrage en gabions: 6
2. Remplissage du gabion : 6
3. Les Avantages : 7
II .3.1.1. 3. Mur en Terre Armée : 7
1.Définition de la Terre Armée 7
2.Les constituants de Mur en Terre Armée 8
1)Les Eléments Préfabriqués sont 8
2)Le Matériau de Remblai : 8
3.Principe de la Terre Armée : 8
4.Les Avantages : 9
5.Mise en œuvre de la Terre Armée : 9
II .3.1.1. 4. Mur en Caisson (ou Mur Cellulaire) : 10
1.Définition : 10

2.Les Avantages et les Inconvenants : 10

II.3.2. Fonctionnement par Encastrement : 11

II.3.2.1.Différents types de Mur Encastrement : 11

II.3.2.1.1.Murs en Béton Armé du type Cantilever (Mur en T) : 11

1. Définition et principe : 11

2.Les Avantages : 12

3.Type de Mur Cantilever (Mur en T) : 12

A.Mur en T avec console : 12

B.Mur en T avec Contreforts : 13

II.3.2.1.2.Rideaux de Palplanches (non Ancrés) : 13

1. Type de Palplanches : 15

A. Les Palplanches en Bois : 15

B. Les Palplanches en Béton Armé : 16

C. Palplanches Métalliques: 16

1. Définition: 16

2.Caractéristiques : 17

3.Types de Palplanches Métalliques : 17

3.1.Profilés en U : 17

3.1.1.Les Avantages : 17

3.2.Profilés en Z : 18

3.2.1. Les Avantages : 18

3.3. Palplanches Plates AS500 : 18

3.4. Palplanche Raccord : 18

D.Les Palplanches PVC : 19

1. Les Avantages : 20

II.3.2.1.3.Mur en Paroi Moulée : 20

1.Domaine d'emploi : 20

2. Les Types de Paroi Moulée : 21

A. Paroi en Panneaux Coulés sur place : 21
1. Constitution : 21
1.1. Exécution de la tranchée à l'aide d'une benne Preneuse : 21
1.2.Bétonnage d'un panneau à 'aide de tubes plongeurs : 22
1.3.Recépage de la tête de la paroi : 22
B. Paroi en Panneaux Préfabriqués : 23
C. Paroi en Pieu Sécants (ou Jointifs) : 23
II.3.3. Fonctionnement par Clouage ou Ancrage : 24
II.3.3.1.Différents types de Mur Ancré : 24
II.3.3.1.1.Les Fouilles Blindées : 24
II.3.3.1.2.Mur renforcé par Clouage dans le Sol : 25
1.Réalisation d'un Mur Cloué : 26
II.3.3.1.3.Paroi Berlinoise : 27
1.Domaine d'application: 27
2.Utilisation : 27
3.Réalisation d'une Paroi Berlinoise : 28
II.3.3.1.4.Mur Ancré par des Tirants Précontraints : 29
II.4. Classification des Murs selon le Matériau de Construction : 30
II.4.1. Les Murs en Maçonnerie Ordinaire: 30
II.4.2.Les Murs à Enrochement : 30
II.4.3.Les Murs en Terre Armée: 30
II.4.4.Les Murs en Béton Armé : 30
II.4.5.Les Murs Métalliques: 30
II.5. Classification des Murs selon la Rigidité Relative Mur/Sol : 31
II.5.1. Mur Flexible : 31
II.5.2. Mur Rigide : 31
II.5.2. 1.Mur Rigide Fixe: 31
II.5.2. 2.Mur Rigide non Fixe 32

Chapitre III

III .1.Introduction : 33

III .2.Définition : 34

III.3.Historique de L'évolution des Géosynthétiques : 34

III.4.Les Types de Géosynthétiques : 35

III.4.1.Typologie des Géotextiles : 35

III.4.1.1. Géotextiles (GT): 35

1.Géotextile Non Tissé : 35

2.Géotricoté : 35

3.Géotissé : 36

III.4.1.2. Produits Apparentés aux Géotextiles : 36

III.4.1.2.1.Géogrille (GG) : 36

A.Géogrille Uniaxiale : 37

B.Géogrille Biaxiale : 37

III.4.1.2.2. Géofilet : 37

III.4.1.2.3.Géoespaceur : 38

III.4.1.2.4. Géobande : 38

III.4.1.2.7.Gèonets (GN) : 39

III.4.1.2.8. Gèopipes (GP) : 39

III.4.1.2.9.Gèofoams (GF) : 40

III.4.2. Typologie des Géomembranes (GM) : 40

III.4.2.1. Géomembranes (AFNOR NFP 84 500) : 40

A.Les Géomembranes Polyoléfines : 40

B.Les Géomembranes Bitumineuses : 41

III.4.2.2.Les Produits Apparentés aux Géomembranes : 41

III.4.3.Géocomposites (GC) : 42

III.4.3.1. Description du Géocomposites : 42

III.4.3.2.Fonctions du Géocomposites : 42

III.5.Les Avantage des Géosynthétiques : 43

III.6.Les Principales Caractéristiques des Géosynthétiques : 44

III.6.1.Les Caractéristiques Physiques : 44

III.6.2.Les Caractéristiques Mécaniques : 44

III.6.3.Les Caractéristiques Hydrauliques : 45

III.7.Fonctions des Géosynthétiques : 45

III.7.1.Séparation : 45

III.7.2.Filtration : 46

III.7.3.Drainage : 46

III.7.4.Renforcement : 47

III.7.5.Confinement des (barrières aux) Fluides/Gaz : 47

III.7.6.Contrôle de l'érosion : 48

III.8.Les Missions Principales des Géosynthétiques : 50

III.9.Les Applications Principales des Géosynthétiques: 51

III.10.Mode de Déformations des Géosynthétiques : 52

III.11.Conclusion : 53

Chapitre VI

IV.1. Introduction : 54

IV.2. Les murs de soutènement en gabions : 54

IV.2.1.Définition de mur gabion : 54

IV.2.2.Réalisation d'un mur de soutènement en gabions : 55

IV.2.2.1.Les types de cage : 55

1.Les gabions à double torsion : 55

2.Les gabions électrosoudés : 55

IV.2.2.1.1.Les types de Gabions à double torsion : 56

1.Les gabions boîtes : 56

2.Les Terramesh System : 56

3.Les Terramesh Vert : 57

4.Les gabions matelas : 57

5.Les gabions à cellules multiples : 58

6.Les gabions sacs ou cylindriques : 59

7.Les Grillages Anti-Fouisseurs : 59

8.Les Gabions Tubes 60

IV.2.2.1.2.Les types de Gabion électrosoudé : 60

1.Les gabions électrosoudés : 60

2.Les gabions prèremplis Électrosoudés : 61

3.Les Terramesh Minéral : 61

4.Les Eléments Multicellulaires à Déploiement Rapide : 62

IV.2.2.2.Remplissage : 62

IV.2.3.Les avantages de Mur en gabion : 64

IV.3. Les Géogrille : 65

IV.3.1. Définition: 65

IV.3.2. Les caractéristiques des géogrille : 65

IV.3. 3.Propriétés des géogrilles utilisées en renforcement : 66

IV.3. 4. Application des géogrilles en renforcement : 67

1.Renforcement des talus : 67

2. Augmentation de la portance des remblais routiers et des constructions routières et ferroviaires : 68

3.Constructions de murs en terre renforcée par géogrilles : 69

IV.3. 5.Comportement mécanique sol-géogrille : 69

1.Résistance et déformabilité : 69

2.Frottement sol-géogrille : 70

3.Mécanisme d'enclenchement sol-géogrille : 71

VI.4.Analyse de la stabilité interne de mur de soutènement gabion renforcée par des Géogrille : 72

VI.4.1.Analyse de la stabilité interne sans renforcement : 72

1.Détermination des forces agissant sur le mur : 72

A.La pression latérale : 73

B.Le coefficient de poussée est : 73

C.Le coefficient de butée est donné par : 74

D.La composante horizontale Pax : 74

E.La composante verticale Paz : 74

2.Vérification de Stabilité vis-à-vis le glissement : 75

3.Vérification de Stabilité vis avis le renversement : 75

4.Vérification de Stabilité vis avis au poinçonnement du sol : 76

VI.4.2.Analyse de stabilité interne avec renforcement (Utilisation de Géogrille) : 77

1.Evaluation de la résistance à la traction admissible du renforcement : 77

2.Evaluation de l'espacement vertical le long du mur: 78

3.Détermination de la longueur de renforcement nécessaire à la base du mur : 78

4.Détermination de la longueur totale du renforcement à différents niveaux : 79

Chapitre v

V.1. Introduction : ..... .80

V.2. Environnement : ..... .80

V.3. Fonctions d'Excel : ..... .83

V.4. Saies d'information ou une fonction : ..... .83

V.5. L'utilitaire de calcul « Excel 2007 » : 85

V.5.1. Le premier Classeur: 85

V.5.1.1.Présentation du premier Classeur : « Analyse de la Stabilité de Mur de Soutènement Gabion ».....86

1.La première partie : « Le Schéma de Calcule » 87

2. La deuxième partie : « Les Caractéristiques du Sol de Fondation et du Remblai et Les Différents Paramètres de Calcul »..... 87

3.La Troisième partie : « Calcul de la Pressions Latérale de Terre »..... 88

4.La quatrième partie : « Vérification de Stabilité d'un Mur Gabion »..... 89

V.5.2. Le deuxième Classeur: 90

V.5.2.1. Présentation du deuxième Classeur :«Calcul un Renforcement par Géogrilles..90

1.La première partie : « Le Schéma de Calcule » 91

2.La deuxième partie : « Calcul de pressions latérale de terre »..... 92

3.La Troisième partie : « Calcul de la Résistance à la traction ultime » 92

4.La quatrième partie : « Calcul de l'espacement vertical »... **Erreur ! Signet non défini.**93

5.La cinquième Partie et le dernière :« Calcul de La longueur de renforcement nécessaire à la base du mur et la longueur totale du renforcement à différents niveaux »..... 93

VI.5.Application : 95

VI.5.1.Calcul Pratique : 96

VI.5.1.1.Calcul de la stabilité de mur sans renforcement : 96

1.Le schéma de calcule :.....96

2.Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai :.....97

3.Les paramètres de calcul :.....97

4.Les résultats de calcul :.....98

5.Vitrification de la stabilité :.....99

VI.5.1.2.calcul de stabilité avec renforcement (utilisation des Géogrille) : 99

1.Le schéma de calcule :.....99

2. Calcul de la Pressions latérale de terre :..... 100

A. Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai : 100

B. Les paramètres de calcul : 100

C. Les résultats de calcul : 101

3. Calcul de la Résistance à la traction ultime : 101

4. Calcul de l'espacement vertical : 102

5. Calcul La longueur de renforcement nécessaire à la base du mur : 102

6. Calcul de la longueur totale du renforcement à différents niveaux : 102

Chapitre v

V.1.Conclusions : 103

Liste Des Figures

Chapitre II

Figure II. 1: Mur poids en béton armé 5
Figure II. 2 : Mur poids en Gabions 6
Figure II. 3 : Mur de soutènement en terre armée sous la ligne de chemin de fer à 7
Figure II. 4 : Schéma de principe de mise en œuvre de la terre armée. 9
Figure II. 5: Murs caissons avec éléments préfabriqués en béton armé 10
Figure II. 6 : Murs en caisson (ou mur cellulaire). 10
Figure II. 7 : Murs béton armé du type Cantilever 11
Figure II. 8 : Mur béton armé du type Cantilever avec console 12
Figure II. 9 : Mur béton armé du type Cantilever avec contreforts 13
Figure II. 10 : Les palplanches à module 14
Figure II. 11 : Les palplanches plates 14
Figure II. 12 : Palplanche en bois 15
Figure II. 13 : Rideau de palplanches en bois 16
Figure II. 14 : palplanche Profilés en U 17
Figure II. 15 : palplanche Profilés en Z 18
Figure II. 16 : Palplanche raccord 18
Figure II. 17 : Palplanche PVC 19
Figure II. 18 : Exécution de la tranchée 21
Figure II. 19 : Bétonnage des panneaux 22
Figure II. 20 : Recépage de la tète de la paroi 22
Figure II. 21 : Paroi en panneaux préfabriqué. 23
Figure II. 22 : Paroi en pieu sécants 23
Figure II. 23 : Fouille blindée, projet du métro d'Alger (Station 1er Mai) 24
Figure II. 24 : Photo d'un Clouage du mur 25
Figure II. 25 : Phases de réalisation d'un mur cloué (ou paroi clouée) 27
Figure II. 26 : Réalisation d'une Paroi Berlinoise. 28
Figure II. 27 : Mur ancré par des tirants précontraints 29
Figure II. 28 : Surface de contact mur/sol (ou interface mur/sol) 31
Figure II. 29 : Passage supérieur à cadre fermé (PSCF) 32

Chapitre III

Figure III 1: Géotextile non tissé aiguilleté……..……..36
Figure III 2 : Géotextile non tissé thermolié.....36
Figure III 3 : Géotextile tissé de mono Filament.....36
Figure III 4 : Géogrilles uniaxiale……..……..37
Figure III 5 : Géogrilles biaxiale 37
Figure III 6: Géofilet.....37
Figure III 7 : Géoespaceur 38
Figure III 8 : Géotextile alvéolaire 38
Figure III 9 : Les gèonets.....39
Figure III 10 : Les Gèopipes.....39
Figure III 11 : Les gèofoams. 40
Figure III 12 : Géomembrane PEHD.....41
Figure III 13 : Géosynthétiques bentonitiques (GSB) 41
Figure III 14 : Exemples de géocomposites 42
Figure III 15 : Exemple de Séparation par Le géosynthétique 45
Figure III 16 : Exemple de Filtration par Le géosynthétique 46
Figure III 17 : Exemple de Drainage par Le géosynthétique 46
Figure III 18 : Exemple de Renforcement par Le géosynthétique. 47
Figure III 19 : Exemple de Confinement des fluides/gaz par Le géosynthétique 48
Figure III 20 : Exemple Contrôle de l'érosion par Le géosynthétique.....48
Figure III 21 : Modes de déformation d'un géosynthétique.....52
Figure III 22 : Inclusion en condition de traction.....52
Figure III 23 : Effet Membrane 53

Chapitre VI

Figure IV. 1: Gabions à double torsion. 55
Figure IV. 2: Gabions électrosoudé. 56
Figure IV. 3: gabion boîtes. 56
Figure IV. 4: gabion Les Terramesh System. 57
Figure IV. 5: Les Terramesh Vert. 57
Figure IV. 6 : Les gabions matelas. 58
Figure IV. 7 : Les gabions à cellules multiples. 58
Figure IV. 8 : gabion sacs ou cylindriques. 59
Figure IV. 9 : Les Grillages Anti-Fouisseurs. 59
Figure IV. 10 : gabions Tubes. 60
Figure IV. 11 : Les gabions électrosoudés. 60
Figure IV. 12 : Les gabions prèremplis Électrosoudés. 61
Figure IV. 13 : Les Terramesh Minéral. 61
Figure IV. 14 : Les Eléments Multicellulaires à Déploiement Rapide. 62
Figure IV. 15 : Vue de dessus d'un gabion. 63
Figure IV. 16 : Agrafes entre les différents 63
Figure IV. 17 : Tirants de renfort 63
Figure IV. 18 : géogrilles 65
Figure IV. 19 : Talus renforcés par géogrilles 67
Figure IV. 20 : Remblais renforcés par géogrilles 68
Figure IV. 21 : Murs en terre renforcée par géogrilles. 69
Figure IV. 22 : Essai de traction. 70
Figure IV. 23 : Boîte de cisaillement. 70
Figure IV. 24 : Mécanisme d'enclenchement sol-géogrille. 71
Figure IV. 25 : Les forces agissant sur le gabion. 72
Figure IV. 26 : schéma de calcule. 77

Chapitre V

Figure V. 1 : L'Environnement Excel……..81
Figure V. 2: Saies d'une fonction……84
Figure V. 3: le premier Classeur«Analyse de la Stabilité de Mur de Soutènement Gabion».86
Figure V. 4: La première partie du premier Classeur……...……...87
Figure V. 5: La deuxième partie du premier Classeur……87
Figure V. 6 : La troisième partie le premier Classeur……..88
Figure V. 7: La quatrième partie du premier Classeur……89
Figure V. 8 : Feuille le deuxième Classeur «Calcul Géogrille de Renforcement »……..…90
Figure V. 9: La première partie du deuxième Classeur……...91
Figure V. 10: La deuxième partie du deuxième Classeur……91
Figure V. 11: La Troisième partie du deuxième Classeur……..….92
Figure V. 12: La quatrième partie du deuxième Classeur……..……....93
Figure V. 13: La cinquième partie du deuxième Classeur……..…….93
Figure V. 14 : Route national 64C PK 100+00…….…...95
Figure V. 15 : les forces principales agissant sur le gabion…….....96
Figure V. 16 : schéma de calcule……99

Liste Des Tableaux

Chapitre II

Tableau II.1 : Ordre de grandeur des caractéristiques dimensionnelles des murs en sol cloué…… 26

Chapitre III

Tableau III.1 Types et fonctions des différents géosynthétiques……..……49

Tableau III.2. Les Applications Principales des géosynthétiques…….……51

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Les différents facteurs de sécurité…….…….....78

Chapitre V

Tableau V.1 : Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai……..…..……..97

Tableau V.2 : Les paramètres de calcul……...…..…..…97

Tableau V.3 : les résultats de calcul……..……98

Tableau V.4 : Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai……..…..……100

Tableau V.5 : Les paramètres de calcul ……100

Tableau V.6 : Les résultats de calcul……..……...101

Tableau V.7 : Les différents facteurs de sécurité……..….....101

Tableau V.8 : Les résultats de calcule les longueurs de renforcement……...……102

Résumé :

Ce travail consiste à contribution à l'étude des murs de soutènement gabion renforcés par des géogrilles.

Pour cela nous avons commencé par études des différents murs de soutènement on a définie tout les types. A près ca on à étudiée tout les types des géosynthétiques et leurs applications.

Ensuite nous avons fait l'analyse des murs de soutènement gabion renforcés par géogrilles. Pour déterminer les longueurs totales de géogrille de renforcement à différents niveaux et La longueur de renforcement nécessaire à la base du mur.

Enfin nous avons élaborée d'un utilitaire de calcul

Abstract:

This work is a contribution to the study of gabion retaining walls reinforced with geogrids.

For all this we started with studies of different retaining walls we set all types. A close ca be studied in all types of geosynthetics and their applications.

Then we analyzed the gabion retaining walls reinforced with geogrids. to determine the total length of the building at different levels and the length of reinforcement required for the base of the wall.

Finally we developed a utility computing

ملخص :

هذا العمل هو مساهمة لدراسة الجدران الاستنادية gabionالمعززة ب Géogrilles .
من أجل هذا بدأنا بدراسة مختلف الجدران الاستنادية و عرفنا كل géosynthétique بكل أنواعها وبينا مختلف تطبيقاتها

ثم قمنا بتحليل الجدار ا gabion المعزز ب géogrille من اجل تحديد الطول الكلي لgéogrille لمختلف المستويات

و طول اللازم لتعزيز قاعدة الجدار .

في الأخير قمنا بتحليل و اختبار برنامج للحساب

Chapitre I

Introduction générales

Introduction :

Les murs de soutènement sont des ouvrages généralement verticaux qui permettent de contenir des terres, ou tout autre matériau granulaire ou pulvérulent, donnant à celui-ci une meilleure stabilité. On trouve des murs de soutènement en pierres sèches, en béton armé, en acier, en pierres de taille, en briques, en moellons, voire en bois ou en polymère.

Lorsque les massifs de terres ne peuvent plus présenter une stabilité satisfaisante vis-à-vis du glissement, ils doivent être retenus par des ouvrages dit ouvrages de soutènement. Ces constructions reprennent les efforts des poussées dues à l'action des terrains se situant en arrière d'eux. Il ya plusieurs types d'ouvrages de soutènement mais les plus connues et les plus utilisés ce sont les murs de soutènement.

Il y a un type de mur de soutènement comparé à d'autres techniques de soutènement, celles ci présentent plusieurs avantages ; sa mise en œuvre simple, rapide, modulable, drainante, résistante, souple, robuste, durable et simple d'installer et de réaliser...etc. Ce type appelé le mur de soutènement gabion.

La technique de renforcement des sols et des murs par géosynthétiques est développée pour une large variété d'applications dans plusieurs domaines (hydraulique, travaux public, environnement… etc.). Selon le domaine d'application ou la fonction de l'ouvrage.

Les géosynthétiques améliorent les propriétés du sol là où il fait défaut. En tant que les géogrilles est un produit apparent il est de plus en plus utilisé dans le renforcement des murs et du sol. La présence de géogrille crée un mécanisme du confinement qui améliore sa résistance au cisaillement et à la traction.

Le géogrille (GG) appartient à une grande famille qui s'appelle les géosynthétiques .C'est une structure plane à base de polymère, constituée par un réseau ouvert et régulier d'éléments résistants à la traction et pouvant être assemblés par extrusion, par collage ou par entrelacement, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants, utilisée en contact avec le sol ou d'autres matériaux pour renforcer les fondations, remblais, murs et sols...etc. Le géogrille facilement utilisable a été l'une des innovations les plus spectaculaires dans le domaine de la géotechnique.

Nous avons, dans le cadre de notre projet de fin d'étude de master en génie civil, option génie géotechnique, un travail de recherche dont le titre est « Contribution à l'Etude des Murs de Soutènement Gabion Renforcés par des Géogrilles » il s'agit en fait d'analyser la stabilité interne de mur de soutènement gabion sans et avec renforcement par des géogrilles et de programmer les étapes de calcul dans deux classeur d'Excel 2007. Cela peut faciliter énormément les calculs.

- Le premier classeur vérifie la stabilité de mur gabion sans renforcement.
- Le deuxième classeur calcule les espacements minimum et maximum ainsi les longueurs du renforcement par géogrille à des différents niveaux.

La première partie de notre projet ; étude des différents types de mur de soutènement abordera :

- Le classement des murs de soutènement.
- La définition de chaque type de mur de soutènement.
- Quelques avantages de ce mur de soutènement.
- La réalisation de quelques types.

La deuxième partie est « Les Géosynthétique et Leurs Applications » comportera :

- La définition des géosynthétiques.
- Les Types des géosynthétiques.
- Les Avantages des géosynthétiques.
- Les fonctions et les applications des géosynthétiques.

La troisième partie intitulée « Analyse des Murs de Soutènement Gabion Renforcés par Géogrilles ». Dans cette partie on définie le mur de soutènement gabion ainsi que sa réalisation. Nous citerons tous les types de ce mur qui sont les mêmes que ceux du géogrille pour étudier :

- La stabilité d'un mur gabion sans renforcement.
- L'analyse de la stabilité interne avec renforcement.

Enfin, on étudiera un exemple pour tester le fonctionnement de notre programme (Etude des glissements sur RN 64 & 08) La RN 64C entre El Aissaouia et Deux bassins (Tablat) PK 100+ 00.

La quatrième et dernière partie « Elaboration d'un Utilitaire de Calcul », dans cette partie on va présenter les deux classeurs que nous avons programmés :

- le premier classeur permet la vérification de stabilité d'un mur gabion.
- Le deuxième classeur pour calculer un sol renforcé par géogrilles.

Chapitre II

Etude des différents types de mur de soutènement

II.1. Introduction :

Les murs de soutènement sont des ouvrages généralement verticaux qui, permettent de contenir des terres, ou tout autre matériau granulaire ou pulvérulent, donnant à celui-ci une meilleure stabilité. On trouve des murs de soutènement en pierres sèches, en moellons, en pierres de taille, en briques, en béton armé, en acier, voire en bois ou en polymère.

Les murs de soutènement ont pour but de maintenir le sol en place dans le cas où on effectue des remblais, déblais ou pour des ouvrages tels que : quais, canaux, culées de port, terrasses...

Ils ont aussi pour but de protéger d'autres ouvrages contre l'érosion ou les crues...etc.

Le rôle des ouvrages de soutènement est de retenir les massifs de terre. Il en existe une grande variété se caractérisant par des fonctionnements différents et conduisant à des études de stabilité interne spécifiques.

II.2 .Classification des Soutènements :

Les ouvrages de soutènement sont classés suivant déférentes méthodes, Dans ce travail on class les ouvrages de soutènement par la classification suivante

1. Mode de fonctionnement :
   - Fonctionnement par le poids.
   - Fonctionnement par encastrement.
   - Fonctionnement par ancrage ou clouage.
2. Matériau du mur :
   - Maçonnerie
   - Enrochement
   - Béton armé
   - Terre armée
   - Acier etc.
3. Rigidité relative mur/sol :
   - Mur rigide
   - Mur flexible

II. 3. Classification des Murs selon le Mode de Fonctionnement :

II .3.1. Fonctionnement par le Poids :

Ce type de mur assure la stabilité du système mur/ sol par son poids propre. Le poids du mur peut contribuer à sa stabilité et à la reprise des poussées, sans subir des déplacements pouvant rompre le sol derrière

II .3.1.1. Différents Types de Mur Poids :

II .3.1.1. 1. Mur Poids en Béton Armé, en Maçonnerie ou à Enrochement :

C'est le type d'ouvrage le plus classique et le plus ancien. Ils peuvent être réalisés en béton non armé, en maçonnerie. Ils peuvent être constitués d'un assemblage de pierres sèches, de gabions ou d'éléments préfabriqués, en béton armé ou non (blocs, caissons ou boîtes remplis de terre,...).

Ces murs, relativement étanches, sont la plupart du temps pourvus d'un dispositif de drainage.



Figure II. 1: mur poids en béton armé.

II .3.1.1. 2. Mur Poids en Gabions :

1. Définition d'ouvrage en gabions:

Composés éléments indépendants, appelés cellules du gabion, dont la juxtaposition permet de construire un mur.

La cellule est une caisse ou cage en grillage métallique galvanisé, remplie de matériaux de grandes dimensions, tels que les galets, les cailloux, et les graviers.

La technique de gabionnage d'origine pharaonique, utilisée en vue du renforcement et de lutte contre l'érosion du Nile, en ayant recours aux roseaux et roches.

2. Remplissage du gabion :

Un grillage souple nécessite un remplissage plus soigné pour éviter les torsions du gabion. Les cubes de gabion composés de panneaux électro soudés (treillis rigides) permettent une disposition en vrac, sauf sur la couche supérieure pour qui veut soigner l'esthétisme.

Les cailloux utilisés sont généralement issus de roches sédimentaires carbonatées ou siliceuses de taille homogène. Attention à la taille des mailles du gabion, les pierres ne doivent pas pouvoir passer au travers surtout si les gabions font office de murs de soutien.



Figure II. 2 : mur poids en Gabions

3. Les Avantages :

Comparée à d'autres techniques de soutènement, celle du mur en gabions présente plusieurs avantages :

- durable,
- modulable
- rapidité du procédé
- une simplicité d'installation et de réalisation : les treillis rigides permettent de disposer les pierres aléatoirement sans que cela ne déforme la structure.
- une résistance et une adaptabilité à son lieu d'implantation en s'adaptant aux variations du sol (tassement, affaissement),
- une bonne intégration paysagère.
- l'adaptation à une diversité de forme du mur.

II .3.1.1. 3. Mur en Terre Armée :

1. Définition de la Terre Armée :

Le procédé de la terre armée, ou sol renforcé, est basé sur l'association d'un remblai compacté et d'éléments préfabriqués. Le remblai représente la part la plus importante en volume.



Figure II. 3 : mur de soutènement en terre armée sous la ligne de chemin de fer à grande vitesse à Tokaido au Japon.

2. Les constituants de Mur en Terre Armée :

1) Les Eléments Préfabriqués sont :

- les armatures avec le matériau de remblai, sont les deux constituants essentiels de la terre armée,
- les éléments de parement qui permettent de réaliser des faces d'ouvrages verticales. Le parement n'a qu'un rôle secondaire dans le fonctionnement ; par contre il limite généralement la déformabilité d'ensemble du massif armé et influe directement sur son esthétique.

La technique des éléments préfabriqués permet d'obtenir les caractéristiques suivantes :

- une rapidité et une facilité d'exécution des ouvrages, sans nécessité de main d'œuvre spécialisée,
- une grande déformabilité du parement lui permettant de supporter sans dommage des tassements différentiels importants.

Les éléments sont préfabriqués en usine et assemblés sur place, ce qui permet leur standardisation et un bon contrôle de la qualité.

2) Le Matériau de Remblai :

Les matériaux de remblai peuvent être soit des sols naturels, soit des matériaux d'origine industrielle. Ils ne doivent contenir ni terre végétale, ni matière putrescible (qui peut pourrir), ni déchets domestiques.

La qualité de ces matériaux répond à des critères bien déterminés. On distingue parmi ceux-ci

- d'une part des critères géotechniques
- d'autre part des critères chimiques ou électrochimiques

3. Principe de la Terre Armée :

Le principe de cette technique est simple, créer une liaison permanente entre les deux constituants (terre et armature) grâce aux efforts de frottement qui se développent aux points de contact du sol et des armatures. On obtient ainsi un matériau composite original qui offre de nombreux avantages par rapport aux matériaux traditionnels du génie civil.

4. Les Avantages :

- la souplesse qui permet de réaliser des ouvrages fondés directement sur les sols de fondation compressibles ou sur des pentes peu stables,
- la grande résistance vis-à-vis des efforts statiques et dynamiques,
- la rapidité d'exécution, grâce à l'emploi d'éléments entièrement préfabriqués,
- l'esthétique des ouvrages dont le parement se prête à des traitements architectoniques variés.
- les économies considérables.

5. Mise en œuvre de la Terre Armée :

La mise en œuvre de la terre armée, assimilable à un remblai classique, est rapide et facile d'exécution.

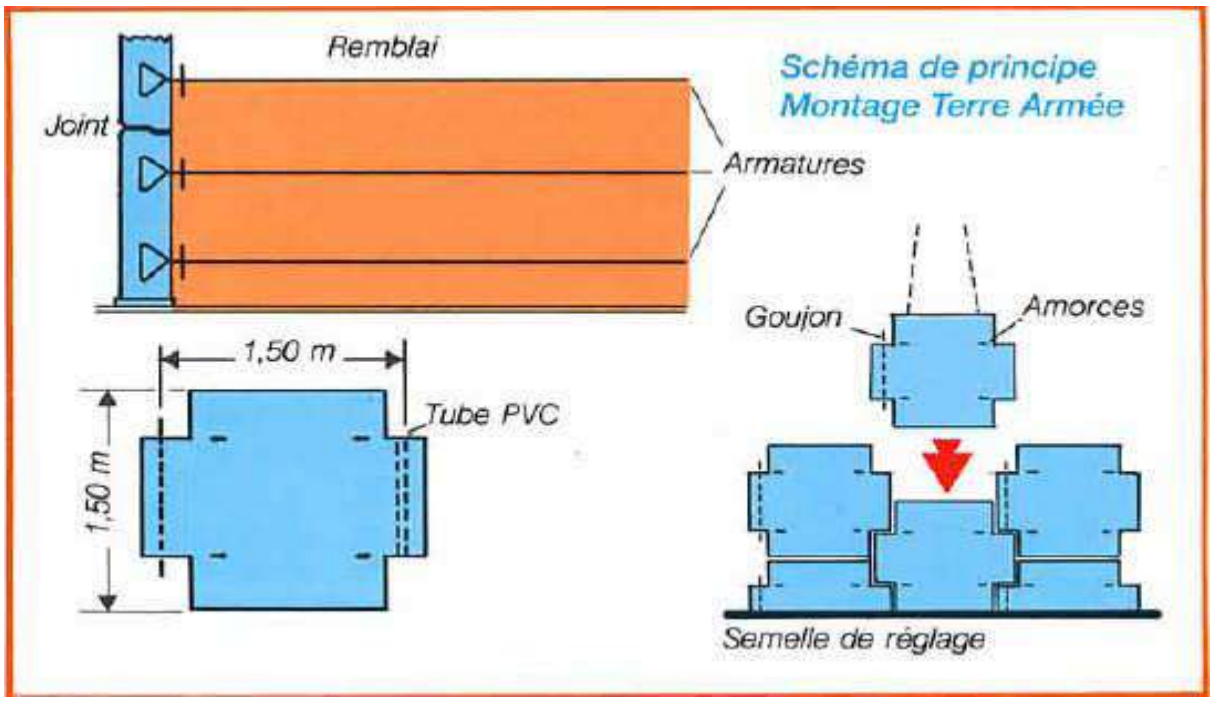


Figure II. 4 : Schéma de principe de mise en œuvre de la terre armée.

Elle se fait par couches successives :

1. Montage d'un niveau d'éléments de parement
2. Remblaiement d'une couche de sol et éventuellement compactage
3. Pose d'un lit d'armatures et fixation des armatures sur le parement par boulonnage.

II .3.1.1. 4. Mur en Caisson (ou Mur Cellulaire) :

1. Définition :

Les murs caissons sont constitués par un assemblage d'éléments structuraux préfabriqués en béton armé ou en acier (figure **5**), formant une série de cellules sans fond et remplies de terre appelées **caissons.** Ce type de mur est très ancien et a été utilisé pendant des siècles dans les Alpes autrichiennes avec des éléments en bois (troncs d'arbre).

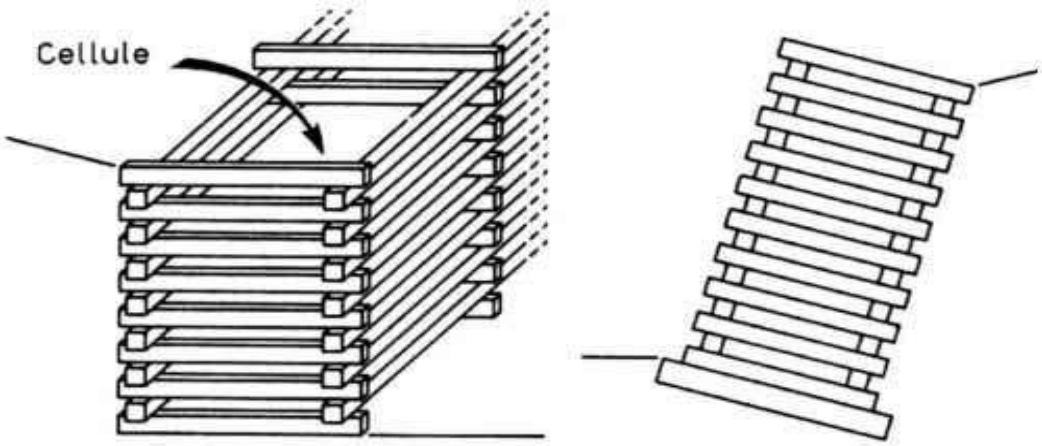


Figure II. 5: Murs caissons avec éléments préfabriqués en béton armé

2. Les Avantages et les Inconvenants :

Compétitivité, rapidité et facilité d'exécution sont les principaux avantages de ces murs caissons. Ils sont, par contre, limités en hauteur à cause de leur élancement et l'un des facteurs les plus importants restent leurs déplacements latéraux.



Figure II. 6 : Murs en caisson (ou mur cellulaire).

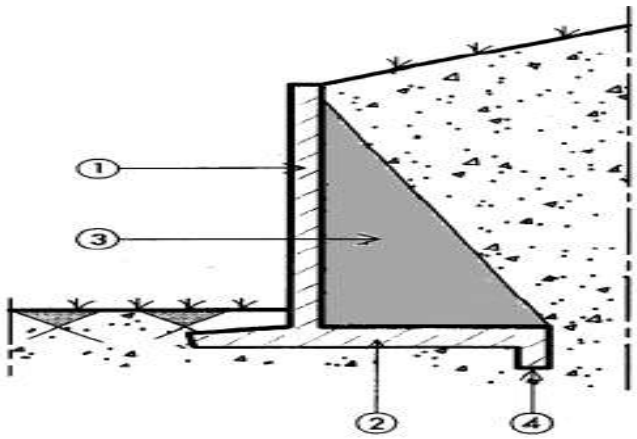
II.3.2. Fonctionnement par Encastrement :

Ce type de mur assure la stabilité du système mur/ sol par l'encastrement de sa semelle. La semelle du mur doit avoir une largeur suffisante pour résister aux différentes formes d'instabilité (glissement de la semelle, renversement, etc.).
Les rideaux de palplanches, les parois moulées fonctionnent par encastrement, mais en faisant Intervenir. La partie fichée du mur dans le sol.

II.3.2.1.Différents types de Mur Encastrement :

II.3.2.1.1.Murs en Béton Armé du type Cantilever (Mur en T) :

1. Définition et principe :



1 . Mur –Voile
2 . Semelle
3 . contrefort
4 . Bèche

Figure II. 7 : Murs béton armé du type Cantilever

Ce type de mur de soutènement est très couramment employé. Ils sont constitués d'un voile résistant en béton armé encastré sur une semelle de fondation, en béton armé également, et généralement horizontale. La semelle peut-être pourvue d'une bêche pour améliorer le stabilité de l'ouvrage au glissement.

Ils sont normalement pourvus d'un dispositif de drainage disposé à l'arrière du voile auquel est associé un dispositif d'évacuation des eaux (barbacanes). Ces murs sont bien adaptés pour la réalisation d'ouvrages en remblai comme en déblai, en site terrestre hors d'eau. Ils sont souvent économiques pour des hauteurs qui atteignent jusqu'à 6 à 8 mètres, voire une dizaine de mètres. Ils nécessitent en principe un terrain de fondation de qualités moyennes à bonnes, susceptible de faibles tassements (quelques centimètres au plus), dans la mesure où le recours à des fondations profondes (ou éventuellement à un traitement préalable du sol) rend généralement la solution peu avantageuse.

2. Les Avantages :

- son coût (au point de vue quantité de béton en comparaison avec les murs poids béton)
- sa capacité à reprendre des efforts de poussée importants (moyennant console, contreforts)
- sa conception partielle en atelier
- sa facilité de mise en œuvre

3. Type de Mur Cantilever (Mur en T) :

Lorsque les dimensions du talus à maintenir deviennent trop importantes ou lorsque les propriétés du sol l'exigent, le mur Cantilever peut présenter quelques variantes :

- Mur en T avec console.
- Mur en T avec contreforts.

A. Mur en T avec console :

Une console est généralement placée, lorsque la hauteur du mur dépasse les 6 à 8 m (ordre de grandeur), pour diminuer la flexion du voile en béton et réduire l'effet de poussée. Puisque la flexion du voile est réduite, l'épaisseur du mur est également diminuée.

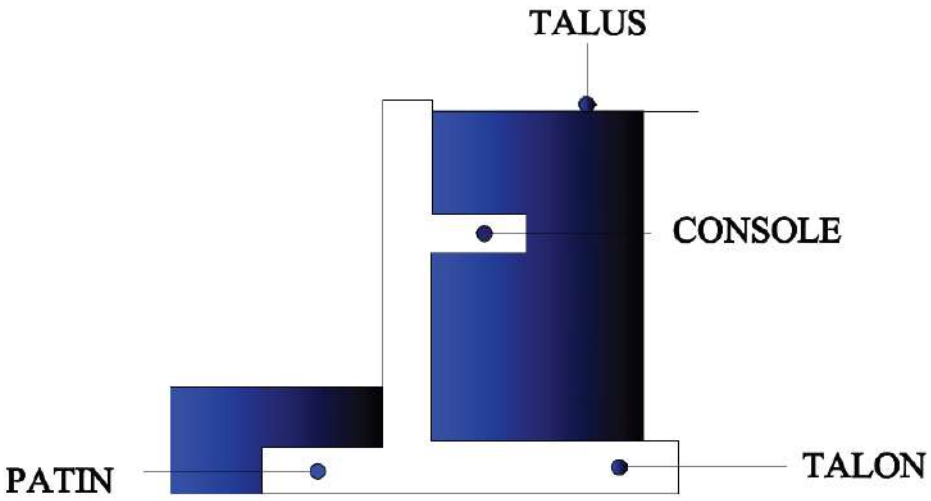


Figure II. 8: Mur béton armé du type Cantilever avec console

B. Mur en T avec Contreforts :

Les contreforts, placés à distance égale les uns des autres (variant entre 2.5 à 5 m | ordre de grandeur), agissent en tant que raidisseurs du voile du mur (lorsque ce-denier dépasse environ 6 à 8 m). Ils sont employés pour des murs qui ont une longueur considérable.
Ces contreforts peuvent être placés aussi bien du côté du talus que de l'autre. Cependant, s'ils sont posés du côté du talus, le remblaiement est rendu moins aisé. C'est pourquoi, la pose se fait souvent du côté opposé au talus avec néanmoins un effet esthétique discutable.

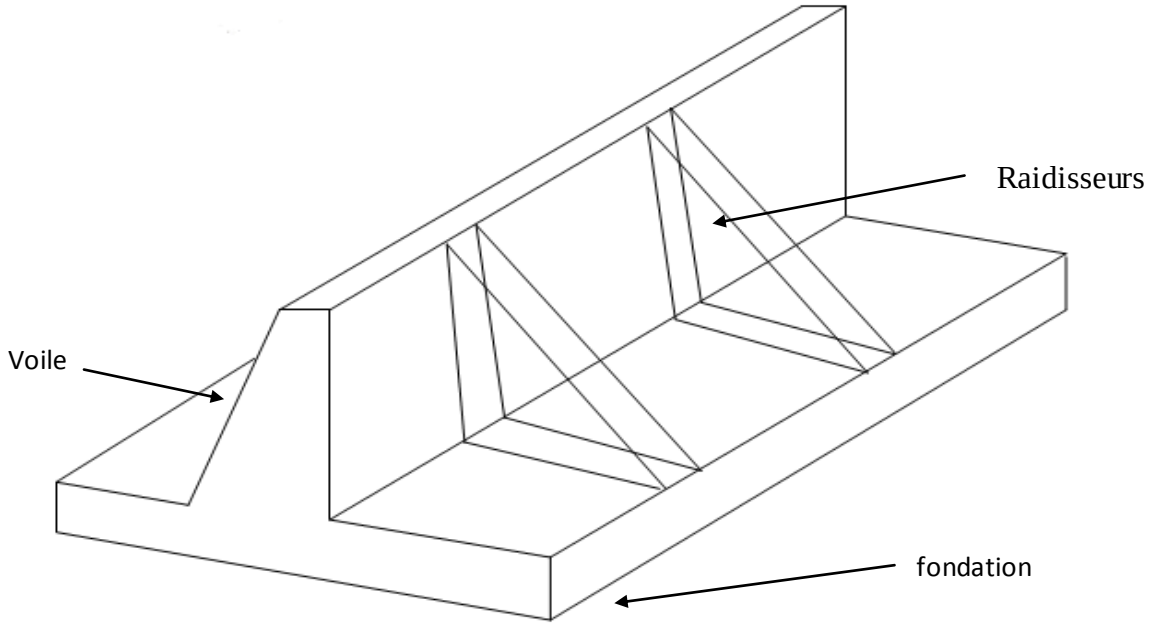


Figure II. 9 : Mur béton armé du type Cantilever avec contreforts

II.3.2.1.2.Rideaux de Palplanches (non Ancrés) :

Les rideaux de palplanches sont des soutènements plans souples installés dans le sol par battage ou fonçage. Ils sont largement utilisés dans les travaux de génie maritime et génie civil, tels que dans les quais portuaires ainsi que dans le Soutènement des fouilles et remblais.

Les palplanches peuvent êtres construites en plusieurs types de matériaux (acier, aluminium, bois, béton armé, glass en fibre, vinyle, PVC etc.). Le choix de matériaux dépend des conditions de terrain et d'autres facteurs.

Les rideaux qu'elles constituent sont assimilables à des murs ou des parois supportant la poussée des terres en place, ou des remblais et des dénivelés d'eau. On distingue :

- les palplanches à module ou à inertie.

- les palplanches plates.

Les premières se comportent comme des poutres verticales, mobilisant la butée au niveau de leur encastrement dans le sol et supportant les poussées dues aux dénivellations de terrain et d'eau (exemple : palplanches Larsen).

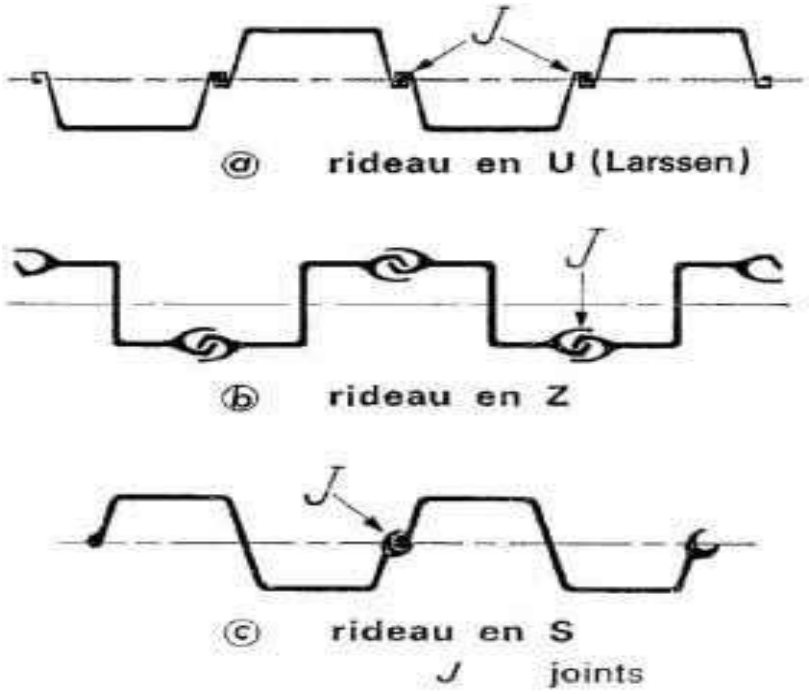


Figure II.10 : Les palplanches à module

Les secondes permettent de réaliser des enveloppes cylindriques fermées, contenant des matériaux dont les poussées engendrent des tractions importantes dans les joints, ces derniers sont, de ce fait, conçus pour résister à des efforts de l'ordre de 2 à 3 MN/m, portés à 5 MN/m tout récemment.

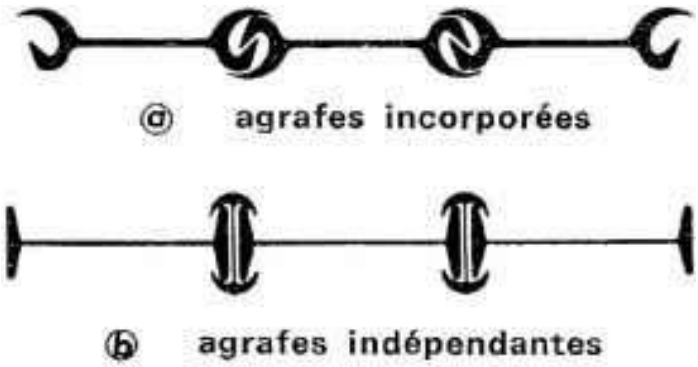
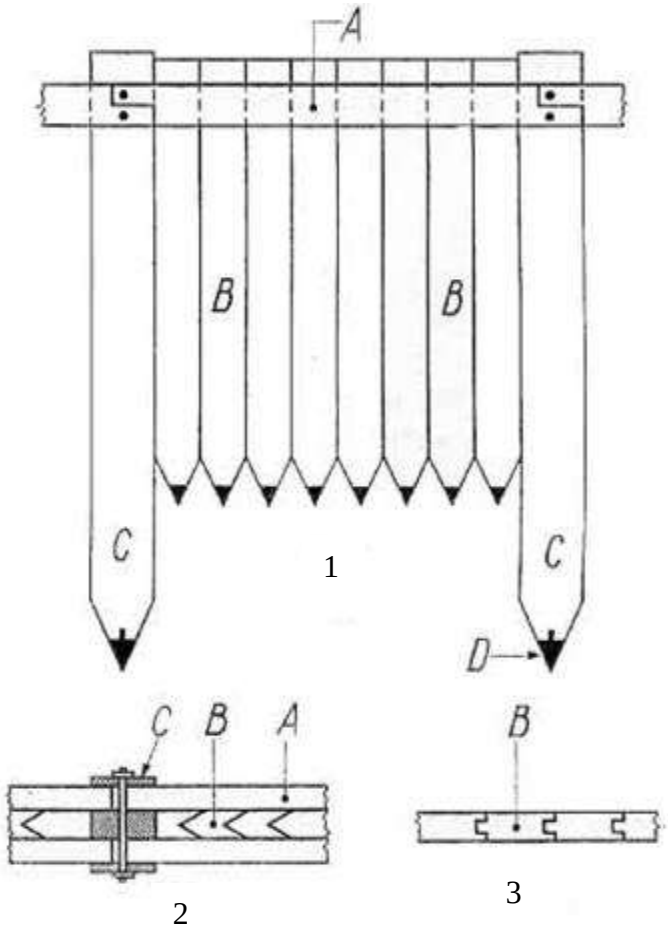


Figure II. 11: Les palplanches plates

1. Type de Palplanches :

A. Les Palplanches en Bois :

A l'origine, les palplanches étaient réalisées en bois, il s'agissait de pieux faits de planches qu'on enfonçait en terre pour former un encaissement dans l'eau (palplanches). La technique des écrans de soutènement consistant à opposer à la poussée des terres des éléments de structure fichés dans le sol et résistants à la flexion a fait, dans un premier temps, appel à des pieux en bois juxtaposés les uns aux autres de façon à constituer un écran continu.



1 : rideau de palplanches.

2 : joint grain d'orge.

3 : joint à Languette.

A : moises.

B : palplanches.

C : pieux.

D : sabot.

Figure II.12: Palplanche en bois.

L'évolution naturelle de cette technique a donc consisté à sophistiquer les joints entre les éléments successifs du soutènement. Les palplanches en bois, s'assemblant les unes aux autres en "grains d'orge" ou bien à l'aide d'un dispositif de rainures et languettes ou encore en faisant appel à un "clameau", se sont ainsi substituées aux pieux en bois initialement utilisés.



Figure II.13: Rideau de palplanches en bois

B. Les Palplanches en Béton Armé :

Ces palplanches étaient constituées de poutrelles préfabriquées en béton armé à section rectangulaire, comportant comme précédemment un système d'emboîtement ou de joint, assurant à la fois l'étanchéité du rideau et la solidarité des éléments.

Pour réduire les risques de détérioration sous les effets du battage, la mise en œuvre était généralement effectuée par lançage.

Tous les soins particuliers justifiés par leur fragilité, l'impossibilité de les réemployer, car le béton ne peut supporter les efforts d'arrachage, ont contribué à leur abandon au profit des palplanches métalliques, dont les performances sont considérablement plus intéressantes.

Les palplanches en béton armé étaient essentiellement utilisées pour des ouvrages définitifs, dans des terrains favorables à leur enfoncement, par exemple pour constituer le long des voies navigables des défenses de berges, des vannages, etc.

C. Palplanches Métalliques:

1. Définition:

Une palplanche métallique est une barre d'acier dont la section épouse généralement la forme d'un "U". Que l'on plante dans le sol et qui s'emboîte avec les barres voisines grâce à

des nervures latérales. À partir des cloisons étanches ainsi formées, on bâtira des digues, ou encore un mur de soutènement pour conforter une berge naturelle ou un quai.

2. Caractéristiques :

Le poids au mètre linéaire varie selon le profil, de 20 à plus de 120 Kg et l'épaisseur de 5 à plus de 20 mm (chiffres indicatifs). La longueur livrée varie de 1 à plus de 30 mètres.

3. Types de Palplanches Métalliques :

Les principaux types de palplanches métalliques à module en forme de U, Z, caisson et de palplanches plates avec agrafes incorporées ou indépendantes. À quelques nuances de dimensionnement près, tous ces types de palplanches sont produits par les fabricants mondiaux, mais la forme et les performances des joints restent une de leurs principales particularités.

3.1.Profilés en U :

- à froid
- à chaud



Figure II.14 : palplanche Profilés en U

3.1.1. Les Avantages :

- une gamme étendue de profils, comportant plusieurs séries qui différent par leurs caractéristiques géométriques
- la fixation aisée des tirants et des systèmes d'attaches articulés, même sous l'eau.

3.2.Profilés en Z :

- à froid
- à chaud

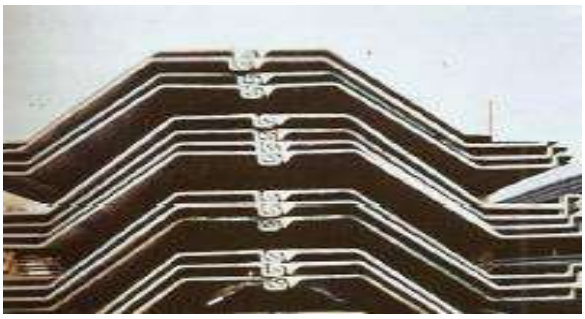


Figure II. 15: palplanche Profilés en Z

3.2.1. Les Avantages :

- un rapport module de résistance/poids extrêmement compétitif
- un moment d'inertie élevé limitant les flèches
- pas de réduction de la résistance à la flexion oblique ou le déplacement de la ligne neutre.

3.3. Palplanches Plates AS500 :

Elles sont destinées à la réalisation des cellules cylindriques retenant un massif de remblai. La stabilité des gabions ainsi constitués est assurée par leur poids propre. Les palplanches plates sont principalement utilisées dans le cas de l'horizon rocheux est très proche de la surface ainsi que dans les constructions ou l'ancrage est difficile, voire impossible. En fonction des caractéristiques du projet et des particularités de site, elles sont assemblées à des gabions circulaires ou en gabionnades cloisonnées.

3.4. Palplanche Raccord :

Des raccords compatibles avec tous les profils Z et U laminés à chaud permettent, dans la majorité des cas, d'éviter l'utilisation de palplanches spéciales.



Figure II. 16 : Palplanche raccord

D. Les Palplanches PVC :

Les palplanches en PVC sont différentes des autres questions matériau et utilisation, En effet, la matière étant inerte, elle ne se dissout donc pas au contact de produits chimiques qui apparaissent souvent. De plus, les matériaux toxiques ne se répandent pas dans le sol ou dans l'eau. L'application du bois dur est de plus en plus impopulaire puisqu'elle menace les forêts tropicales. A cause de ses conservateurs nuisibles, ce bois appliqué devient dangereux pour l'environnement. Ainsi, on utilise de plus en plus des plantations adaptées pour installer des protections de rives naturelles sur des versants peu profonds. Lorsque cette solution n'est pas possible, on utilise des palplanches en PVC. Ces cas sont les suivants : les versants abrupts, la présence de courant fort et une grande profondeur d'eau.





Figure II. 17 : Palplanche PVC

1. Les Avantages :

En effet les Palplanches en PVC :

- Ne rouillent pas comme le métal.
- Ne pourrissent pas comme le bois.
- Ne se détériorent pas comme le béton ou la pierre.

L'expérience à montré que les Ouvrage en palplanches métallique présentent une longévité et une sécurité excellentes (100 ans en moyenne).leur réalisation est rapide et nécessite peu de main-d'œuvre d'où une réduction des couts relativement aux constructions en maçonnerie ou en ciment.

II.3.2.1.3.Mur en Paroi Moulée :

Une paroi moulée est constituée d'une succession de panneaux verticaux en béton armé, coulés en place dans une tranchée préalablement réalisée.

A l'encontre des murs de soutènement rigides fonctionnant par leur poids pour assurer la stabilité, les parois moulées fonctionnent par encastrement dans le sol ou par ancrage.

On distingue les formes suivantes de la paroi moulée:

- Paroi en panneaux coulés sur place.
- Paroi en panneaux préfabriqués.
- Paroi en pieu sécants (ou jointifs).
- Paroi Berlinoise.

1. Domaine d'emploi :

- en site terrestre.
- ouvrages de déblai.
- dans pratiquement tous les terrains.
- possibles en présence d'eau.
- bien adaptées en site urbain.
- assez forte hauteur possible.

2. Les Types de Paroi Moulée :

A. Paroi en Panneaux Coulés sur place :

1. Constitution :

- Juxtaposition de panneaux verticaux en béton armé :
  - Excavation d'une tranchée maintenue à l'aide de boue bentonitiques
  - Mise en place de la cage d'armatures et bétonnage ou mise en place de panneaux préfabriqués.
- Eventuellement tirants actifs ou butons

1.1. Exécution de la tranchée à l'aide d'une benne Preneuse :



Figure II.18 : Exécution de la tranchée

1.2. Bétonnage d'un panneau à 'aide de tubes plongeurs :



Figure II. 19 : Bétonnage des panneaux

1.3. Recépage de la tête de la paroi :



Figure II. 20: Recépage de la tète de la paroi

B. Paroi en Panneaux Préfabriqués :

Avec le même matériel utilisé pour les panneaux moulées, on réalise une tranchée, on insère la paroi préfabriquée, on la maintient en suspension jusqu'à la prise du coulis remplissant le vide entre la paroi et l'élément préfabriqué.

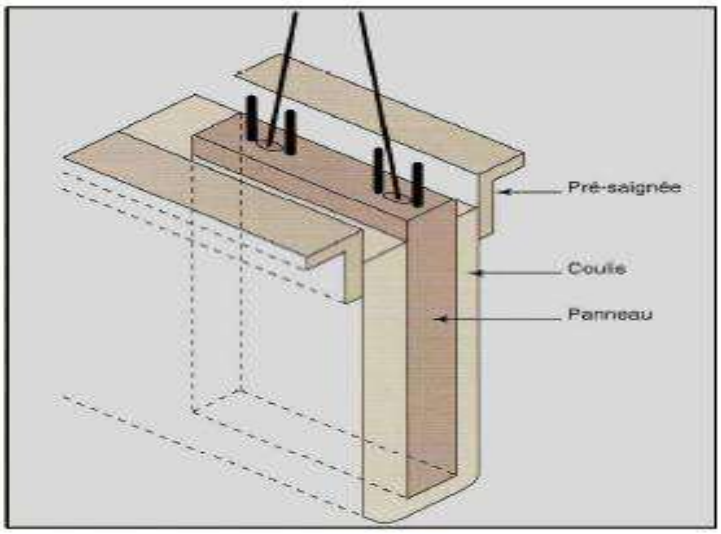


Figure II. 21 : Paroi en panneaux préfabriqué.

C. Paroi en Pieu Sécants (ou Jointifs) :

Dans ce type de soutènement, la paroi est constituée d'une série de pieux forés réalisés conjointement, avant les travaux d'excavation de la fouille.



Figure II. 22: Paroi en pieu sécants

II.3.3. Fonctionnement par Clouage ou Ancrage :

Ce type de mur assure la stabilité du système mur/ sol par l'ancrage ou le clouage du mur dans le sol. Le mur est ancré dans le sol par des tirants d'ancrage ou des clous permettant la reprise des forces de poussées.

II.3.3.1.Différents types de Mur Ancré :

II.3.3.1.1.Les Fouilles Blindées :

Une fouille blindée est une excavation comportant sur ses deux Parois deux soutènements opposés butés l'un contre l'autre par des butons ou des étais pratiquement indéformables.

Le mur de soutènement blindé est souvent en rideaux de palplanches ou en paroi (moulée, préfabriqué, en pieux sécants, etc.). Exemple : Fouille blindée au sein d'un soutènement par paroi moulée (en pieux jointifs) dans le cadre du projet du métro d'Alger (Station 1er Mai).

Le principe est de réaliser des forages jointifs de 50 à 80 cm de diamètre. Des profilés métalliques ou des armatures sont mis en place dans le forage, et le béton y est coulé. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux de creusement, des liernes sont mis en place contre les pieux et sont maintenus par des butons métalliques.



Figure II. 23: Fouille blindée, projet du métro d'Alger (Station 1er Mai)

II.3.3.1.2.Mur renforcé par Clouage dans le Sol :

Le premier mur en sol cloué a été réalisé en France en 1972 (mur à Versailles). La technique consiste à renforcer un sol en place, au fur et à mesure de son excavation, en plaçant des inclusions subhorizontales dans le sol et en réalisant un parement le plus souvent en béton projeté, renforcé par une ou deux nappes de treillis. Plusieurs types d'inclusions sont utilisés, qui correspondent en quelque sorte à des techniques différentes, désignées toutes sous le terme générique de clouage (tableau 5).

La première technique, la plus ancienne, et désignée sous le terme de Hurpinoise, du nom de son inventeur M. Hurpin, consiste à battre dans le sol des cornières métalliques de longueur assez courte, selon un maillage serré.

La deuxième technique utilise des barres métalliques plus longues, scellées dans un forage et disposées selon un maillage plus large. Pour qu'un tel ouvrage se comporte comme un sol renforcé, il est indispensable de ne pas trop espacer les clous. La limite supérieure préconisée dans les Recommandations Clouterre 1991 se situe autour d'un clou pour 6 m2 de parement.

Le clouage des sols en soutènement présente deux limitations dans ses applications : il ne peut être utilisé que pour des sols hors nappe ou à l'abri d'un rabattement de nappe ,par ailleurs, les conditions de sol doivent permettre d'assurer à court terme la stabilité locale du sol pendant les phases intermédiaires d'excavation.



Figure II.24 : Photo d'un Clouage du mur

Tableau II.1 : Ordre de grandeur des caractéristiques dimensionnelles des murs en sol cloué

Caractéristiques	Ouvrage à maillage serré (1)	Ouvrage à maillage large (2)
Longueur des clous	0,5 à 0,7 *H*	0,8 à 1,2 *H*
Nombre de clous par m2 de parement	1 à 2	0,15 à 0,4
Périmètre des clous	150 à 200 mm	200 à 600 mm
Résistance en traction de l'armature	120 à 200 kN	100 à 600 kN
Densité de clouage	0,4 à 1,5	0,13 à 0,6

Avec :

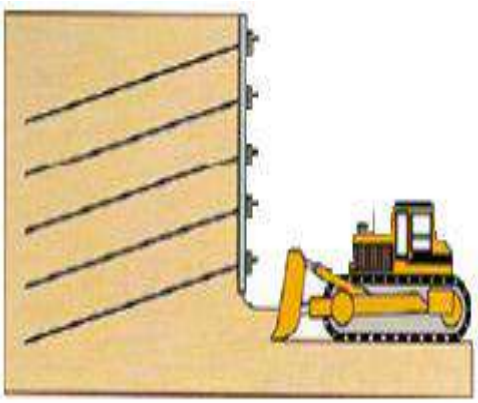
(1) : Armatures battues ou vibor-foncées, armatures scellées de petit diamètre.

(2) : Armatures de gros diamètre scellées dans le terrain. H hauteur du mur.

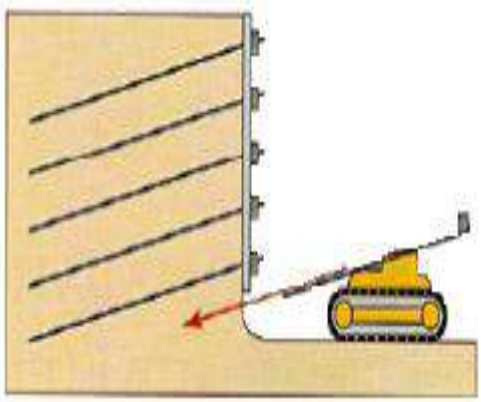
1. Réalisation d'un Mur Cloué :

1. Terrassement.
2. Mise en place des clous.
3. Béton projeté armé (ou pose d'éléments préfabriqués).
4. Terrassement.

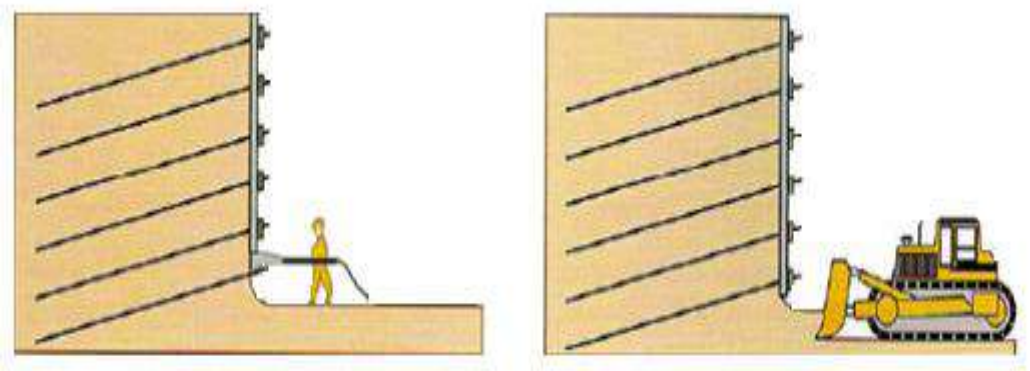
On réalise ainsi progressivement, de haut en bas, un massif de sol renforcé.



Phase: 1



Phase: 2



Phase: 3 **Phase: 4**

Figure II. 25 : Phases de réalisation d'un mur cloué (ou paroi clouée).

II.3.3.1.3.Paroi Berlinoise :

Le principe de réalisation consiste à installer par forage ou battage des profilés métalliques verticaux, généralement en forme de H, fichés à la profondeur requise, et espacés de 4 à 6 m, et faire glisser entre eux des panneaux en bois, en acier ou en béton préfabriqué, au fur et à mesure qu'on descend dans l'excavation.

La stabilité du soutènement est assurée en phase provisoire par des butons ou des tirants sauf dans le cas de fouilles peu profondes où le soutènement peut être auto-stable.

La paroi berlinoise est un type de soutènement, provisoire ou définitif, communément employé pour réaliser des fouilles en site urbain.

1. Domaine d'application:

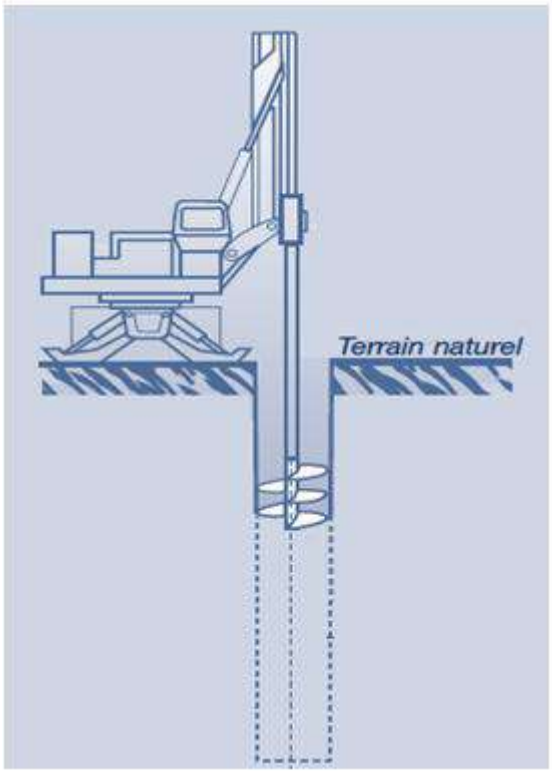
- La paroi berlinoise est le type même du blindage rapide à faible coût.
- Ce principe ne peut cependant s'appliquer qu'en l'absence de nappe phréatique (ou avec peu d'eau) et dans un terrain ayant une certaine cohésion.
- La paroi berlinoise est, avant tout, un ouvrage provisoire. Mais elle peut être rendue définitive avec certaines adaptations.

2. Utilisation :

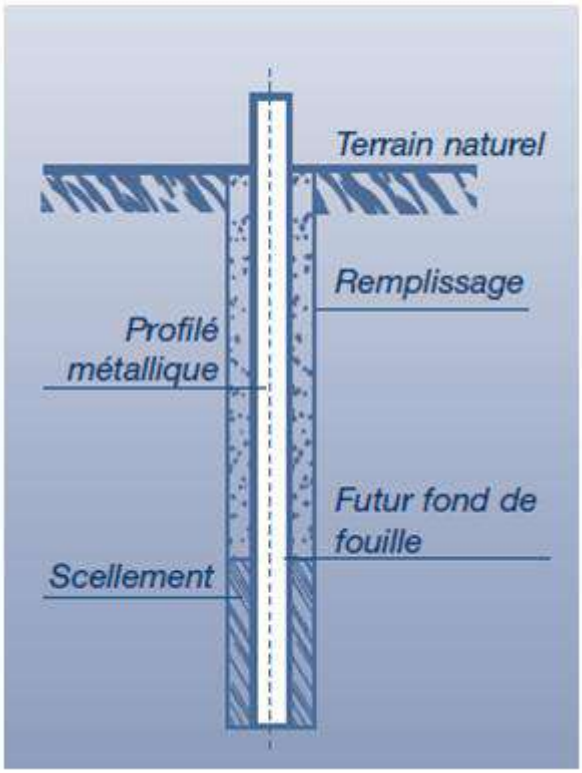
Elle est utilisée essentiellement dans les cas suivants :

- Soutènement de fouilles lorsque aucun déplacement n'est toléré
- Soutènement de fouilles de faible largeur (exécution de métros et d'égouts) à plus ou moins grande profondeur ; le soutènement est alors lié à un boutonnage
- Soutien d'édifices ou d'ouvrages sans tassement.

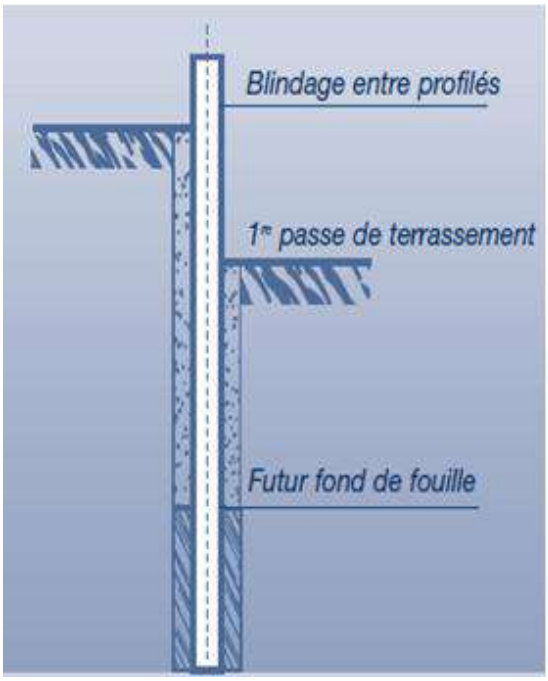
3. Réalisation d'une Paroi Berlinoise :



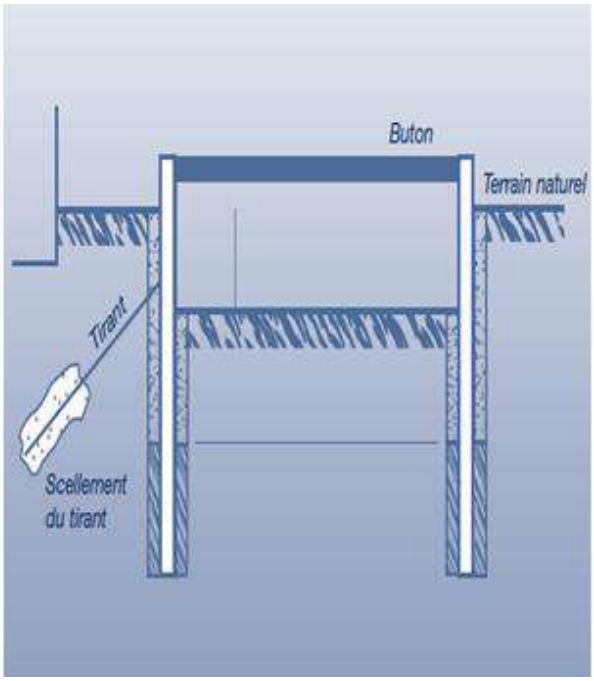
Phase 1 exécution Du forage



Phase 2 mise en place du profilé, scellement et remplissage



Phases 3 et 4 terrassements et blindage Par passes

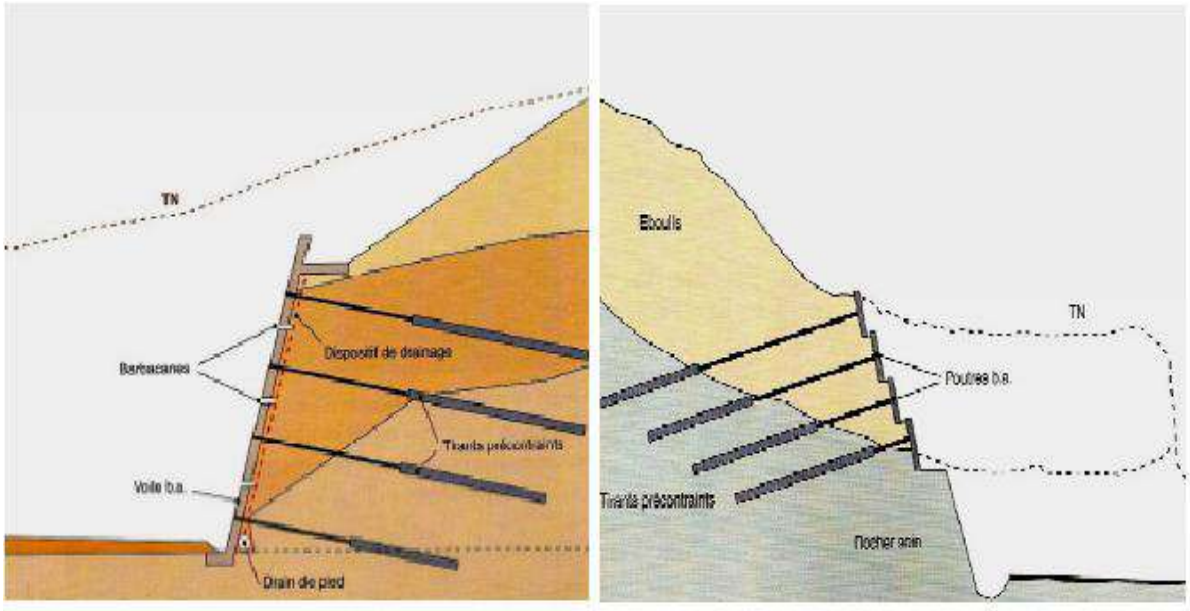


Phases 5

Figure II. 26 : Réalisation d'une Paroi Berlinoise.

II.3.3.1.4.Mur Ancré par des Tirants Précontraints :

Un mur ancré est le soutènement d'un sol en déblai, au fur et à mesure de son terrassement, du haut en bas, par ancrage des tirants précontraints, généralement placés parallèles les uns par rapport aux autres. Ce type de mur est constitué de voiles ou de poutres, en béton armé, ancrés par des tirants précontraints.



Voile ancré Poutres ancrées

Figure II. 27 : Mur ancré par des tirants précontraints

Il existe d'autre types de murs de soutènement fonctionnent par encrage on site par exemple les rideaux de palplanches, les parois moulée en pieux sécants ancrés par des tirants.etc.

Ces derniers ont les mêmes caractéristiques et propriétés avec les rideaux de palplanches et les parois moulées fonctionnent par encastrement.

II.4. Classification des Murs selon le Matériau de Construction :

II.4.1. Les Murs en Maçonnerie Ordinaire:

(Moellons, béton armé ou non).

II.4.2.Les Murs à Enrochement :

Ils regroupent les murs à gabions et les murs massifs à enrochement.

II.4.3.Les Murs en Terre Armée:

Le corps du mur est constitué de la terre compactée par couches et le parement du mur est souvent formé d'écailles en béton ancrées dans des tiges métalliques.

II.4.4.Les Murs en Béton Armé :

Ce sont souvent les murs auto stables ou cantilever, ainsi que les parois moulées.

II.4.5.Les Murs Métalliques:

Tels que les rideaux de palplanches et les batardeaux.

II.5. Classification des Murs selon la Rigidité Relative Mur/Sol :

On distingue les murs souples des murs rigides.

II.5.1. Mur Flexible :

Un mur est flexible si sa surface de contact AB avec le sol est déformable.

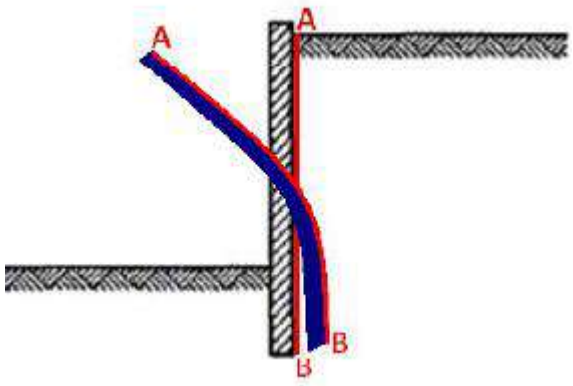


Figure II. 28 : surface de contact mur/sol (ou interface mur/sol)

A cette catégorie appartiennent:

- Les parois moulées.
- Les batardeaux.
- Les rideaux de palplanches.
- Les fouilles blindées.

II.5.2. Mur Rigide :

Un mur est rigide si sa surface de contact AB avec le sol est indéformable (reste plane après chargement). à cette catégorie appartiennent les murs courants en béton armé (cantilever, contrefort, etc.).

II.5.2. 1.Mur Rigide Fixe:

Il n'effectue ni translation ni rotation.

Exemple :

- Passage supérieur à cadre fermé (PSCF)
- Voile du sous-sol d'un bâtiment

Le sol derrière le mur se trouve en état de repos, dit état K0.

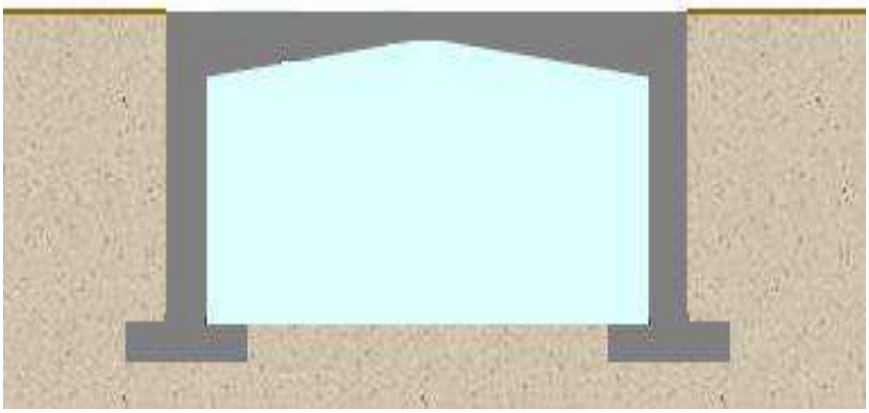


Figure II.29 : Passage supérieur à cadre fermé (PSCF)

II.5.2. 2.Mur Rigide non Fixe:

La translation et /ou la rotation sont permises sans par permises, toutefois dépasser les valeurs admissibles l'ouvrage.

Exemple :

- les murs supportant les voies ferroviaires
- les murs de déblais routiers
- les culées de ponts…etc.

Chapitre III

Les géosynthétique et leurs Applications

III .1.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. Le terme « géotextile » désigne un matériau bidimensionnel (bandes tissées, grillages, filets, membranes, etc.) obtenu par assemblage de fibres ou de bandelettes synthétiques employé en contact avec le sol.

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, ou 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.

III .2.Définition :

Un géosynthétique est le terme générique désignant un produit dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de nappe, de bande, ou de structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique ou du génie civil.

Les géosynthétiques sont classés en deux grandes familles :

- Les produits perméables : géotextiles et produits apparentés aux géotextiles,
- Les produits essentiellement imperméables : géomembranes et produits apparentés aux géomembranes.

1. Les géotextiles sont des produits issus de l'industrie textile, d'origines naturelles (fibres de coton et de jute) ou synthétiques (polyester, polyéthylène, polypropylène, rarement le polyamide). Les produits apparentés aux géotextiles sont principalement les géogrilles, les geobags, les geotubes, les geocontenurs en polymères.

2. Les géomembranes sont des nappes continues imperméables qui sont le plus souvent à base de polymère ou de bitume. Les produits apparentés aux géomembranes sont principalement les géosynthétiques bentonitiques (GSB).

III.3.Historique de L'évolution des Géosynthétiques :

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 maitrisant la qualité des produits d'ajout, l e renforcement des sols est a l'origine d e l a fabrication d es géosynthétiques.

La littérature parle d'une première date (1926), ou 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'a ce que le matériel se dégrade.

Ainsi, il s'est ouvert une marche 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 a l'usine, et permet de se substituer a 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 des 1930.

Enfin, une troisième application importante des géosynthétiques fut la réalisation de barrière imperméable permettant d'empêcher l e mouvement des lis qu'ides contaminants. Historiquement, l'argile a toujours été largement utilisée, et l'est encore dans de nombreux cas. S on 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 de but des années 80 et n'ont c esse de se développer depuis. Enfin, plus récemment, a la fin des années 80, le mélange d'un support synthétique avec un matériau naturel comme l'argile est utilise sous le nom de géocomposites bentonitiques (GCB).

III.4.Les Types de Géosynthétiques :

III.4.1.Typologie des Géotextiles :

III.4.1.1. Géotextiles (GT):

Matière textile, plane, perméable et à base de polymère (naturel ou synthétique), pouvant être non tissée, tricotée ou tissée, utilisée en contact avec le sol ou d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil. Les polymères les plus couramment utilisés sont le polypropylène, le polyéthylène et le polyester.

1. Géotextile Non Tissé :

Géotextile fait de fibres, de filaments ou d'autres éléments orientés directionnellement ou au hasard et liées de façon mécanique, thermique ou chimique. L'aiguilletage donne une structure souple et déformable. Le thermocollage donne des géotextiles plus rigides.

2. Géotricoté :

Géotextile produit par entrelacement d'un ou de plusieurs fils, filaments ou autres éléments.

3. Géotissé :

Géotextile produit par entrelacement, habituellement à angle droit, de deux ou de plusieurs faisceaux de fils, de filaments, de bandelettes ou d'autres éléments.



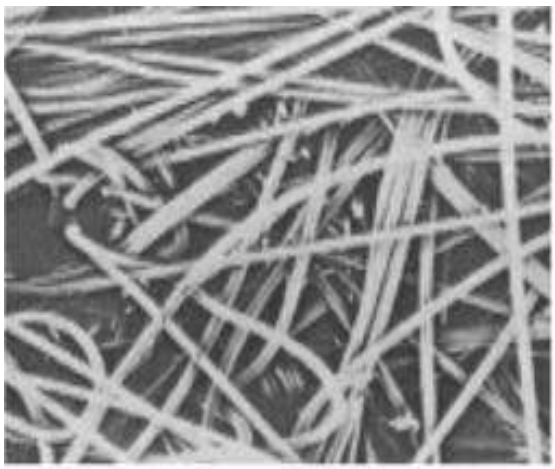


Figure III 1: Géotextile non tissé aiguilleté. **Figure III 2 : Géotextile non tissé thermolié**

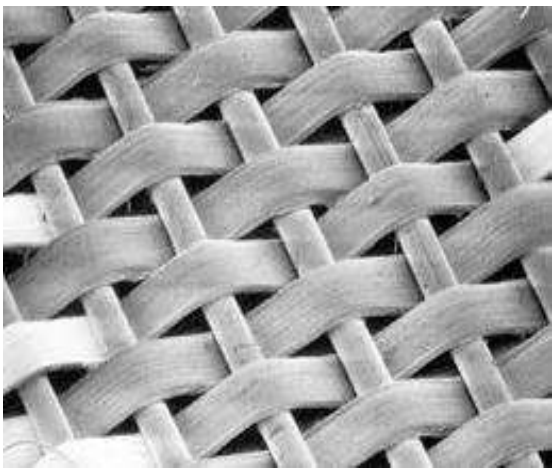


Figure III 3 : Géotextile tissé de mono Filament.

III.4.1.2. Produits Apparentés aux Géotextiles :

Matériau plan, perméable et à base de polymère (synthétique ou naturel) ne correspondant pas à la définition d'un géotextile.

III.4.1.2.1.Géogrille (GG) :

Structure plane à base de polymère, constituée par un réseau ouvert et régulier d'éléments résistants à la traction et pouvant être assemblés par extrusion, par collage ou par

entrelacement, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants. Il y a deux types de géogrilles :

A. Géogrille Uniaxiale :

La résistance à la traction est plus importante dans un sens (longitudinal ou transversal) que dans l´autre

B. Géogrille Biaxiale :

La résistance à la traction est sensiblement équivalente dans le sens longitudinal et transversal.

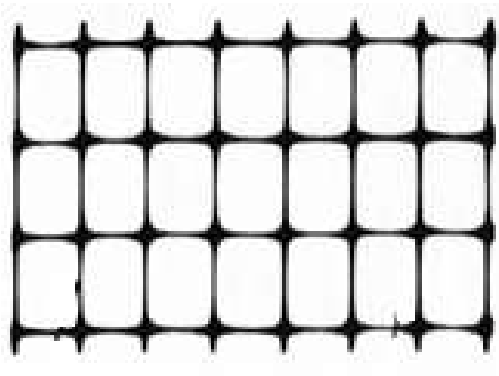


Figure III 4: Géogrilles uniaxiale

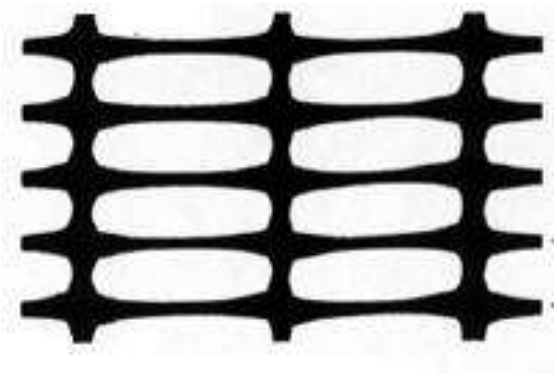


Figure III 5 : Géogrilles biaxiale

III.4.1.2.2. Géofilet :

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

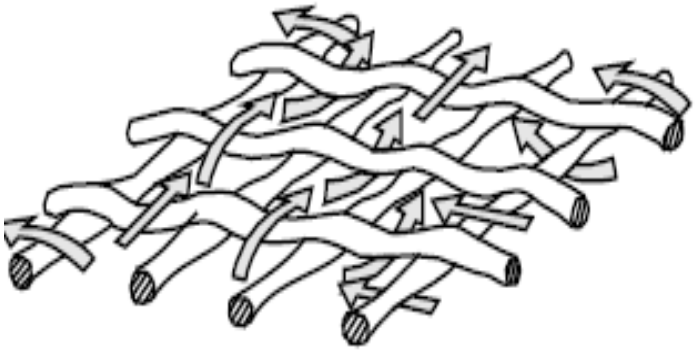


Figure III 6: Géofilet

III.4.1.2.3.Géoespaceur :

Structure tridimensionnelle à base de polymère conçue pour créer un espace d'air dans le sol ou dans d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.



Figure III 7 : Géoespaceur

III.4.1.2.4. Géobande :

Matériaux à base de polymère sous forme de bande dont la largeur n'excède pas 200 mm, utilisé en contact avec le sol ou d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

III.4.1.2.5.Géomatelas :

Structure tridimensionnelle perméable, constitué de filaments, et d'autres éléments (synthétiques ou naturels) à base de polymère, liés de façon mécanique, ou thermique, chimique ou d'une autre façon.

III.4.1.2.6.Géosynthétique Alvéolaire:

Structure alvéolaire en nid d'abeilles ou similaire, perméable, à base de polymère (synthétique ou naturel), constituée de bandes de géosynthétiques reliées entre elles.

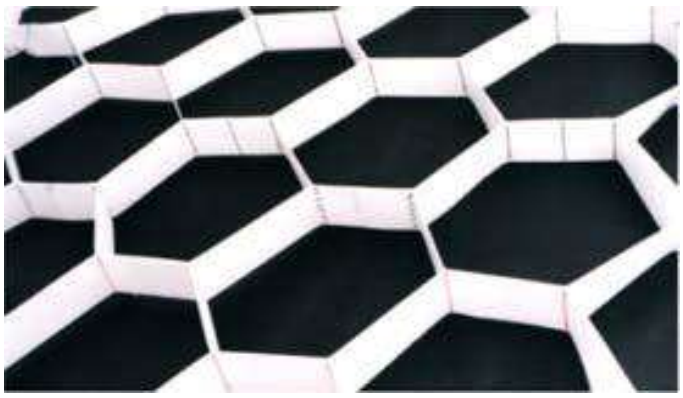


Figure III 8 : Géotextile alvéolaire

III.4.1.2.7.Gèonets (GN) :

Les gèonets 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 III 9 : Les gèonets

III.4.1.2.8. Gèopipes (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 ondules (tubes).

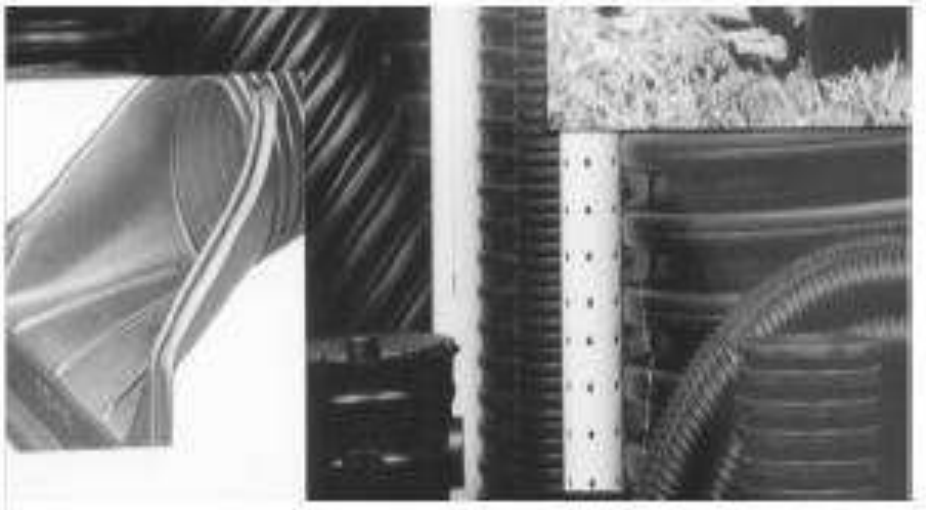


Figure III 10 : Les Gèopipes

III.4.1.2.9.Gèofoams (GF) :

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



Figure III 11 : Les gèofoams.

III.4.2. Typologie des Géomembranes (GM) :

III.4.2.1. Géomembranes (AFNOR NFP 84 500) :

Produit adapté au géni civil, mince, souple, continu, étanche aux liquides même sous sollicitations de service. Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (inférieure à 1 mm), ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériaux argileux ne sont considérés comme des géomembranes.

Nous distinguons principalement deux types de géomembranes les géomembranes polyoléfines et les géomembranes bitumineuses.

A. Les Géomembranes Polyoléfines :

Diffèrent entre elles par le type de polymère qui les compose. Les principaux polymères utilisés sont : Polyéthylène haute densité (PEHD), Polyéthylène basse densité (PEBD), Polypropylène (PP), Ethylène propylène diène monomère (EPDM), Polychlorure de vinyle (PVC).

B. Les Géomembranes Bitumineuses :

Différent entre elles par l'armature géosynthétique et le type de bitume (bitume oxydé où bitume élastomère) utilisés.



Figure III 12 : Géomembrane PEHD

III.4.2.2.Les Produits Apparentés aux Géomembranes :

Les produits apparentés aux géomembranes sont essentiellement les géosynthétiques bentonitiques (GSB). Ils sont constitués de bentonite conditionnée entre deux géosynthétiques. Ils différent entre eux par le type de bentonite et le mode de conteneurisation (mode de fabrication).

.

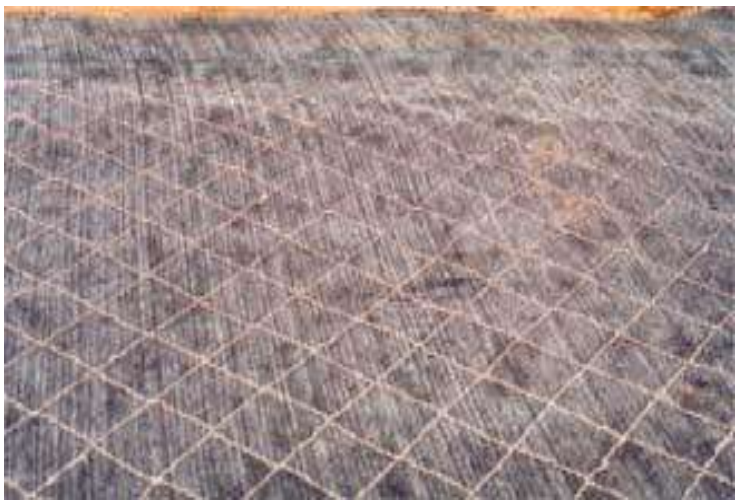


Figure III 13 : Géosynthétiques bentonitiques (GSB)

III.4.3.Géocomposites (GC) :

III.4.3.1. Description du Géocomposites :

Produit géo composite constitué d'une nappe composite (nappe drainante et filtres), équipé ou non de mini-drain . Les géo composites homogènes (sans mini-drains) sont utilisés lorsque les débits à drainer sont faibles et nécessitent la réalisation de tranchées collectrices intermédiaires de manière à limiter les pressions sous les ouvrages. La structure du géocomposite équipé de mini drains est illustrée sur la (figure III. 14). Elle résulte de l'assemblage par aiguilletage des éléments suivants :

- une nappe filtrante non tissée aiguilletée en polypropylène (filtre inférieur).
- une nappe drainante non tissé aiguilletée en polypropylène.
- des mini-drains en polypropylène, perforés régulièrement selon deux axes alternés à 90°.
- une nappe filtrante non tissée aiguilletée en polypropylène (filtre supérieur).



Figure III.14 : Exemples de géocomposites.

III.4.3.2.Fonctions du Géocomposites :

Collecter et évacuer les venues d'eau permanentes ou temporaires, qui apparaissent dans une zone plus moins étendue de la plate forme vers un exutoire et ce dans plusieurs configurations, notamment dans les applications de :

- drainage sous remblai

- drainage sous remblai sous plateforme en déblai.
- drainage sous chaussée.
- drainage zone de transition déblai-remblai.
- drainage sous remblai sur sols compressibles.
- drainage sous Géomembrane.

III.5.Les Avantage des Géosynthétiques :

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

- **Une performance généralement meilleure :**

Puisque les géosynthétiques sont développes 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 spécifie, 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 :**

Où tout au moins parfaitement maitrisée, puisque les géosynthétiques sont fabriques dans un espace conditionne, leur contrôle en usine est possible, dans des conditions idéales, à une fréquence régulière et adaptable.

- **Un cout généralement plus économique :**

ou tout au moins plus stable, quelle que soit la région ou 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 s ont de bonne qualité et en quantité suffisante. Mais bien souvent, l'utilisation des géosynthétiques s'avérera la solution la plus judicieuse du point de vue économique.

- **Une durabilité plus grande :**

Puisque l es géosynthétiques sont développes autour d'une ou deux fonctions principales, la durabilité des produits est plus facile a 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 réalise avec une fibre traitée contre l'effet des rayonnements, etc.

III.6.Les Principales Caractéristiques des Géosynthétiques :

Les géosynthétiques sont définis par des caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques selon des essais normalisés, identifiés pour l'essentiel par des normes internationales de type ISO ou européennes de type EN, ou nationales de type NF, DIN, ASTM, etc.

ISO > EN >NF, DIN, BS …

III.6.1.Les Caractéristiques Physiques :

- L'épaisseur.
- La masse surfacique.
- Le type de fabrication : tissé, non tissé, aiguilleté, tricoté, Géogrille...
- Le type de polymère : polypropylène, polyéthylène, polyester ,..
- Le taux de noir de carbone.
- La densité.

III.6.2.Les Caractéristiques Mécaniques :

- La résistance à la rupture.
- L'allongement à la rupture.
- Le poinçonnement statique.
- La perforation dynamique.
- Le fluage.
- La résistance au seuil d'écoulement.
- L'allongement au seuil d'écoulement.
- La résistance à la déchirure.
- La résistance à la fissuration.
- La stabilité dimensionnelle.

III.6.3.Les Caractéristiques Hydrauliques :

- La perméabilité normale au plan.
- La capacité de débit dans leur plan.
- L'ouverture de filtration.
- La résistance à la pénétration de l'eau.
- La souplesse.

III.7.Fonctions des Géosynthétiques :

Les géosynthétiques comprennent une variété de matériaux en polymères synthétiques spécialement fabriqués pour une utilisation dans les domaines du génie civil et de la protection de l'environnement ainsi que dans les ouvrages hydrauliques et de transport. On distingue communément les fonctions principales suivantes pour un géosynthétique : séparation, filtration, drainage, renforcement, confinement des liquides/gaz ou contrôle de l'érosion. Dans certains cas, le géosynthétique peut remplir une double fonction.

III.7.1.Séparation :

Le géosynthétique sépare deux couches de sol de granulométries différentes. Par exemple, des géotextiles sont utilisés pour empêcher les matériaux de la couche de forme d'une route de pénétrer dans les sols mous de la couche de fondation sous-jacente, maintenant ainsi l'épaisseur de projet et l'intégrité de la chaussée. Les séparateurs permettent également d'empêcher les sols fins sous-jacents d'être "aspirés" dans les couches de base en matériaux granulaires des routes.

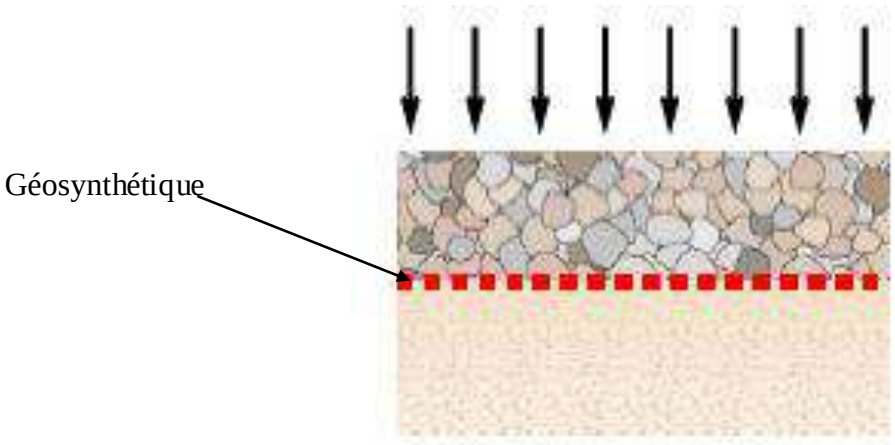


Figure III.15 : Exemple de Séparation par Le géosynthétique.

III.7.2.Filtration :

Le géosynthétique agit comme un filtre de sable en permettant à l'eau de circuler dans le sol tout en retenant en amont les particules de sol. Par exemple les géotextiles sont utilisés pour empêcher la migration des sols dans les matériaux granulaires drainants ou les drains tout en maintenant l'écoulement au travers du système. Les géotextiles sont également utilisés en dessous des enrochements ou d'autres matériaux de protection dans les systèmes de protection des côtes ou des berges de rivières pour empêcher l'érosion des sols.

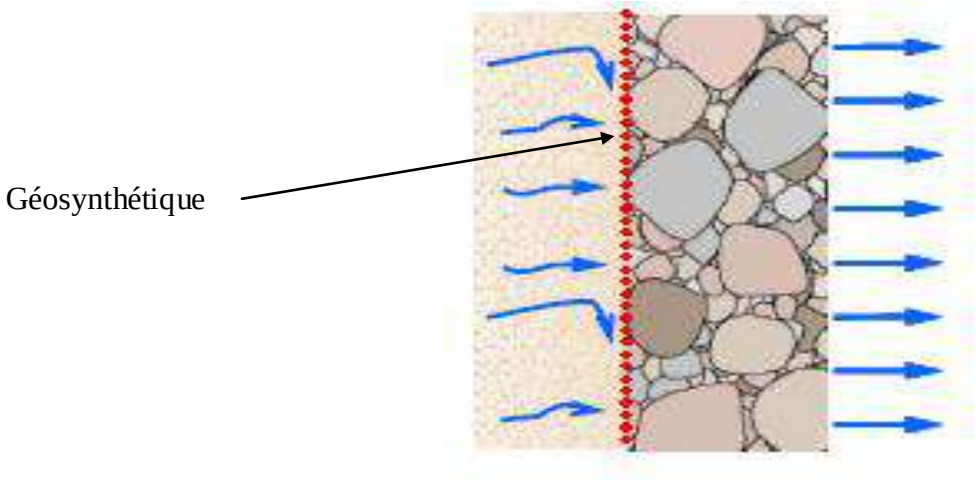


Figure III.16: Exemple de Filtration par Le géosynthétique.

III.7.3.Drainage :

Le géosynthétique agit comme un drain pour conduire les écoulements de fluides dans les sols moins perméables. Par exemple les géotextiles sont utilisés pour dissiper les pressions interstitielles à la base des remblais routiers. Pour des débits plus importants, des Géocomposites drainants ont été développés. Ces matériaux ont été utilisés comme écrans drainants de rives de chaussées, épis drainants sur talus et comme drains dans les culées et murs de soutènement. Des drains verticaux préfabriqués (DVP) sont utilisés pour accélérer la consolidation des sols mous cohésifs sous remblais et remblais préchargés.

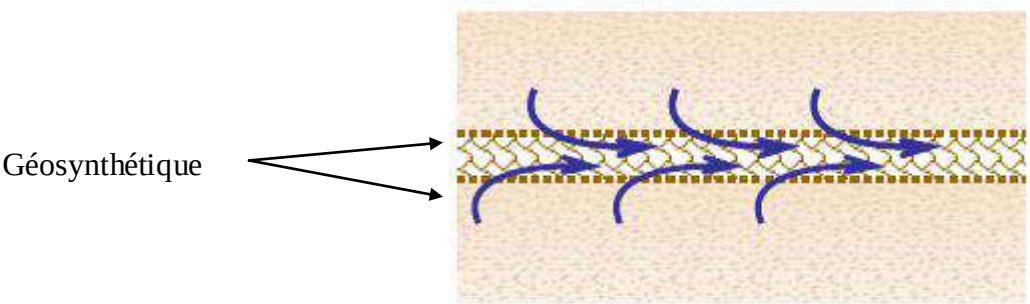


Figure III.17 : Exemple de Drainage par Le géosynthétique.

III.7.4.Renforcement :

Le géosynthétique agit comme élément de renfort au sein d'une masse de sol ou en combinaison avec le sol pour produire un composite ayant des propriétés en déformation et résistance améliorées par rapport à un sol non renforcé. Par exemple, des géotextiles et géogrilles sont utilisés pour augmenter la résistance à la traction d'une masse de sol afin de créer des pentes verticales ou subverti cales (murs en sol renforcé).

Le renforcement permet la construction de remblais sur sols de fondation très mous et la réalisation de pentes de talus de remblais plus raides qu'avec des sols non renforcés. Des géosynthétiques (habituellement des géogrilles) sont également utilisés pour le franchissement de cavités qui peuvent se développer sous des couches support en matériau granulaire (routes et voies ferrées) ou sous les systèmes de couverture dans les installations de stockage de déchets.

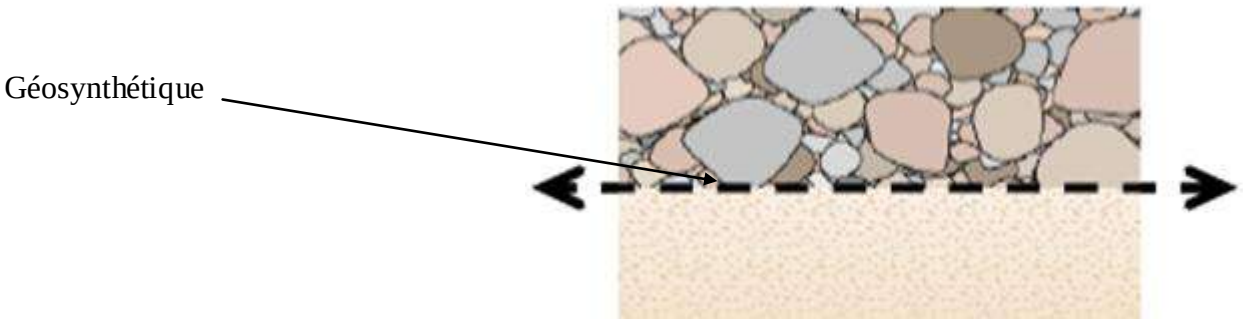


Figure III.18 : Exemple de Renforcement par Le géosynthétique.

III.7.5.Confinement des (barrières aux) Fluides/Gaz :

Le géosynthétique se comporte comme une barrière relativement imperméable aux fluides ou gaz. Par exemple, des géomembranes, des composites en films minces et géotextiles, des géosynthétiques bentonitiques et des géotextiles enduits sur site sont utilisés comme barrière aux fluides pour limiter le débit de fluides ou gaz. Cette fonction est également utilisée dans les couches de chaussées en béton bitumineux, en capsulage de sols gonflants et confinement de déchets.

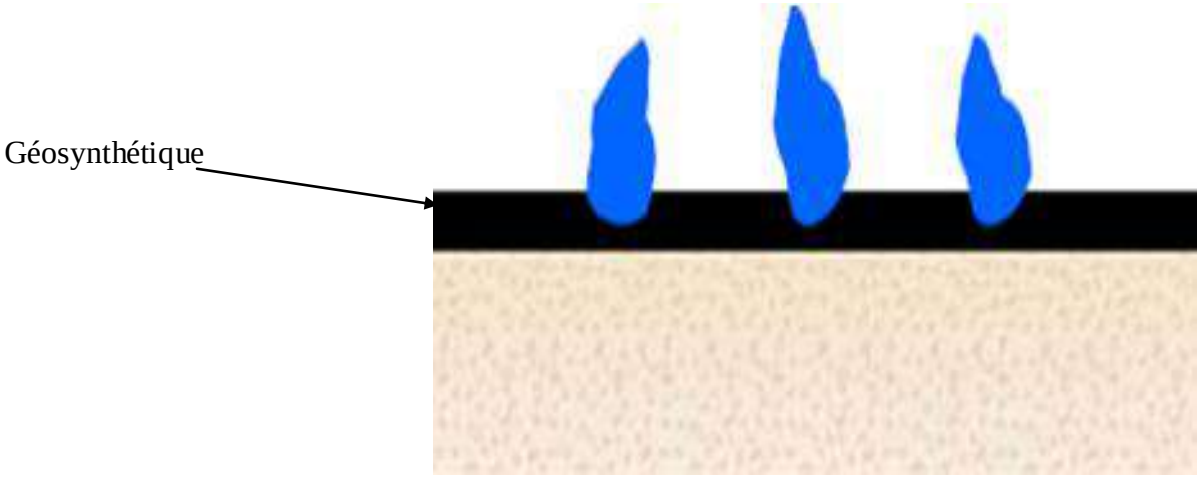


Figure III.19 : Exemple de Confinement des (barrières aux) fluides/gaz par Le géosynthétique.

III.7.6.Contrôle de l'érosion :

Le géosynthétique agit pour réduire l'érosion des sols causée par l'impact des pluies et les eaux de ruissellement. Par exemple, des couvertures géosynthétiques temporaires et des matelas géosynthétiques légers définitifs sont disposés sur la surface du sol exposé sur pentes. Des fascines en géotextile sont utilisées pour retenir les particules en suspension des eaux de ruissellement chargées en sédiments. Certains matelas pour le contrôle de l'érosion sont fabriqués avec des fibres de bois biodégradables.

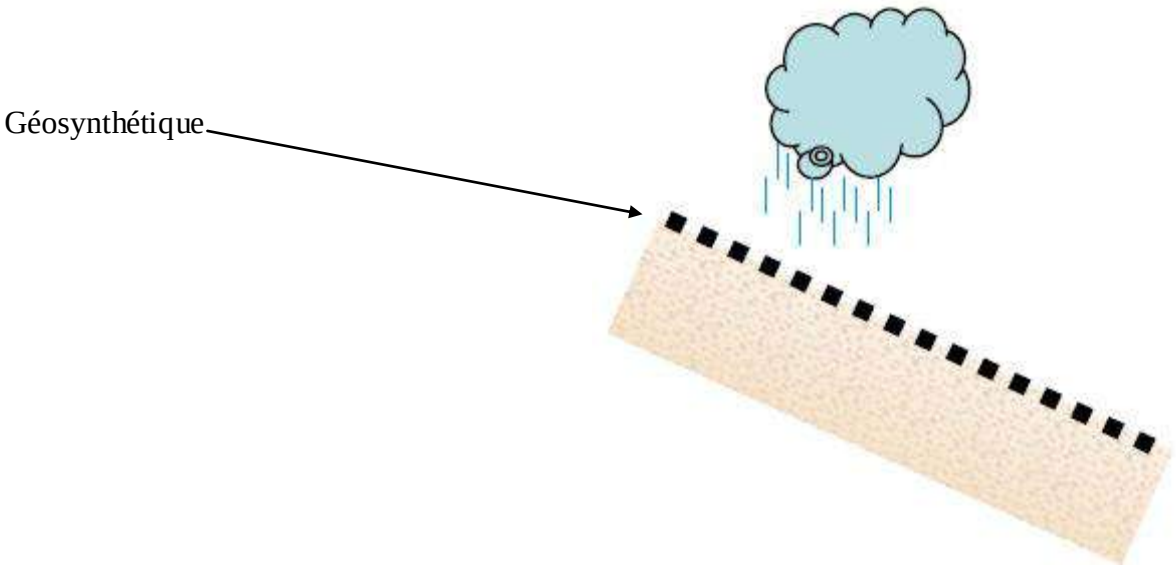


Figure III.20 : Exemple Contrôle de l'érosion par Le géosynthétique.

Des géotextiles sont utilisés dans d'autres applications. Par exemple ils sont utilisés pour le renforcement des couches de béton bitumineux et comme couches de protection pour éviter (par réduction des contraintes au point de contact) le poinçonnement des géomembranes par les pierres du sol adjacent, les déchets ou les granulats drainants durant l'installation ou en service. Des géotextiles ont été utilisés comme couverture journalière pour prévenir la dispersion ou la perte de déchets par le vent ou les oiseaux sur la zone de travail des installations de stockage de déchets solides. Des géotextiles ont également été utilisés pour des coffrages souples à béton et pour des sacs de sable. Des géotubes cylindriques sont fabriqués à partir de doubles couches de géotextiles et remplis hydrauliquement afin de créer des talus de digues littorales ou pour assécher des boues.

Les types et les fonctions des différents géosynthétiques sont résumés dans le (**Tableau III.1)**

Tableau III.1 Types et fonctions des différents géosynthétiques.

	Géotextile non tissé	Géotextile tissé	Géogrille	Géomembrane et Géosynthétique bentonitiques	Géocomposites
Etanchéité				✧	✧
Protection	✧				✧
Filtration	✧				✧
Drainage					✧
Séparation	✧	✧			✧
Renforcement		✧	✧		

III.8.Les Missions Principales des Géosynthétiques :

Les matériaux géosynthétiques sont utilisés dans tous les domaines de la construction, plus particulièrement en géotechnique et le domaine de l'environnement. Ils sont utilisés dans diverses applications pour remplir une ou plusieurs des fonctions suivantes : séparation, filtration, drainage, protection et renforcement.

Les géosynthétiques permettent :

- d'améliorer les caractéristiques mécaniques et/ou hydrauliques des sols ou des matériaux
- d'économiser le volume des matériaux nobles (sables, graves, etc.).
- de remplacer partiellement ou totalement les matériaux granulaires.
- de construire rapidement.
- d'augmenter la durabilité des ouvrages.
- de diminuer le coût des ouvrages.
- de limiter l'ouverture de carrière et de zones d'emprunt.
- de limiter la circulation et le nombre de rotation des engins.

Notons que les géocomposites peuvent remplir plusieurs fonctions en même temps. Ils sont conçus, le plus souvent à partir de plusieurs géosynthétiques dont chacun des éléments remplie une fonction bien précise. Leurs avantages résident dans la mise en œuvre (une seule mise en œuvre) et l'optimisation de chaque fonction.

A titre indicatif, dans les applications de drainage, nous utilisons des géocomposites ou les fonctions de drain et de filtre sont assurées par des éléments distincts associés industriellement en usine.

III.9.Les Applications Principales des Géosynthétiques:

Les applications principales des géosynthétiques sont résumées dans le. (**Tableau III.2)** Signalons que la fonction séparation dans la pratique est presque toujours associée à la fonction filtration.

Tableau III.2. Les Applications Principales des géosynthétiques

Fonction	Application
Séparation	➢ Routes et Autoroutes ➢ Voies ferrées ➢ Pistes forestières
Filtration	➢ Routes et autoroutes ➢ Voie ferrée ➢ Barrages ➢ Tranchées drainantes ➢ Protection de rivages et de berges
Drainage	➢ Drainage sous remblai ➢ Drainage sous dallage ➢ Drainage sous étanchéité ➢ Masques drainants ➢ Drainage en rive de chaussée
Renforcement	➢ Remblai sur sols compressibles ➢ Talus et murs de soutènement ➢ Zones karstiques ➢ Lutte contre remonté de fissures
Lutte contre l'érosion	➢ Protection des rivages et des cotes ➢ Protection des talus
Protection	➢ Protection des organes d'étanchéité
Lutte contre les remontées de fissures	➢ Chaussées routes et autoroutes ➢ Aérodromes

III.10.Mode de Déformations des Géosynthétiques :

Extension par traction- frottement



Flambage par compression



Flexion par dépression



Extension Par Confinement -fermeture

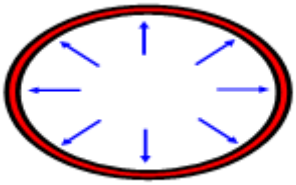


Figure III.21 : Modes de déformation d'un géosynthétique.

Les nappes géosynthétiques positionnées régulièrement dans le massif améliorent les caractéristiques mécaniques du sol de remblaiement utilisé.

- Concept de renforcement
- Inclusion en condition de traction

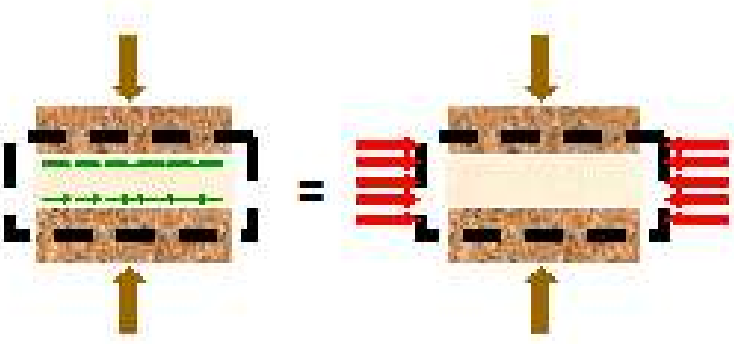


Figure III.22 : Inclusion en condition de traction

- Contrainte tangentielle à l'interface du sol Effet « membrane »



Figure III.23 : Effet Membrane

Les géotextiles de renforcement sont dotés d'une très bonne rigidité axiale et d'une très faible rigidité en flexion-cisaillement. Ils sont caractérisés par :

III.11.Conclusion :

Les techniques géosynthétiques offrent des solutions alternatives aux solutions traditionnelles avec en plus de nombreux avantages

- Rapidité et simplicité d'exécution.
- Efficacité et pérennité.
- Souplesse dans leurs fonctionnements.
- Économique et écologique.

Chapitre IV

Analyse des murs de soutènement gabion Renforcés par géogrilles

IV.1. Introduction :

L'utilisation des géosynthétique a connu un essor considérable ces dernières années à travers. Le monde au vu des résultats obtenus notamment en matière de renforcement des sols, Ce matériau à la portée de tout le monde en matière de cout, facilement utilisable a été l'une des innovations les plus spectaculaires dans le domaine de la géotechnique.

Le sol renforcé par des géogrilles est une structure composite formée par l'interaction du sol avec des armatures métalliques ou polymères (géosynthétique) disposées horizontalement. Derrière le mur.

La fonction principale des couches d'armatures à l'intérieur du sol derrière du mur gabion est d'améliorer la résistance à la traction du corps du sol par le frottement créé à travers la surface d'armature et la résistance passive dans le sens transversal au déplacement.

Avent l'analysée le mur gabion renforcée par géogrille dans ce chapitre on à définie le mur gabion et comment réalisée et cité tout les types de gabion. Après ca on définie le géogrille et cité les caractéristiques des géogrille et Propriétés des géogrilles utilisées en renforcement.

IV.2. Les murs de soutènement en gabions :

IV.2.1.Définition de mur gabion :

Le Mur de soutènement Gabion composés éléments indépendants, appelés cellules du gabion, dont la juxtaposition permet de construire un mur. La cellule est une caisse ou cage en grillage métallique galvanisé, remplie de matériaux de grandes dimensions.

Les premiers gabions sont apparus en Chine et en Egypte. Il s'agissait de corbeilles obtenues par tressage d'osiers, remplies de pierres et de terres et destinées à protéger les berges de l'érosion. Comme pour les murs en pierres sèches, ces murs semblent remplir toutes les exigences techniques et environnementales ; leur mise en œuvre est rapide, utilisant des pierres de tout type, ce qui permet dans la plupart des cas d'utiliser des matériaux « in situ » et donc de diminuer sensiblement l'impact environnemental.

IV.2.2.Réalisation d'un mur de soutènement en gabions :

Un gabion désigne une cage, faite de solides fils d'acier et qui est remplie de pierres. Les ouvrages en gabions ne nécessitent pas de fondation et peuvent être réalisés directement sur le décaissement.

La Réalisation d'un mur de soutènement en gabions contient deux opérations :

- Choisi le type de cage.
- Remplissage.

IV.2.2.1.Les types de cage :

Il existe deux types de grillage de gabions

1. Les gabions à double torsion :

Les gabions à double torsion à mailles hexagonales qui sont obtenus par tissage de fils métalliques de petits diamètres.



Figure IV. 1: Gabions à double torsion.

2. Les gabions électrosoudés :

Les gabions électrosoudés à maille carrée ou rectangulaire qui sont obtenus par soudage électrique de barrettes d'acier. Ce type de gabion possède une meilleure tenue et une très bonne rigidité. Ils sont plus faciles à mettre en œuvre, leur finition est meilleure, plus soignée. De plus, ils sont facilement récupérables et recyclables.



Figure IV. 2: Gabions électrosoudé.

IV.2.2.1.1.Les types de Gabions à double torsion :

1. Les gabions boîtes :

Boîte parallélépipédique divisée en cellules constituées de grillage double torsion en acier galvanisé plastifié. Les gabions boîtes sont essentiellement destinés aux ouvrages de soutènement et hydrauliques.

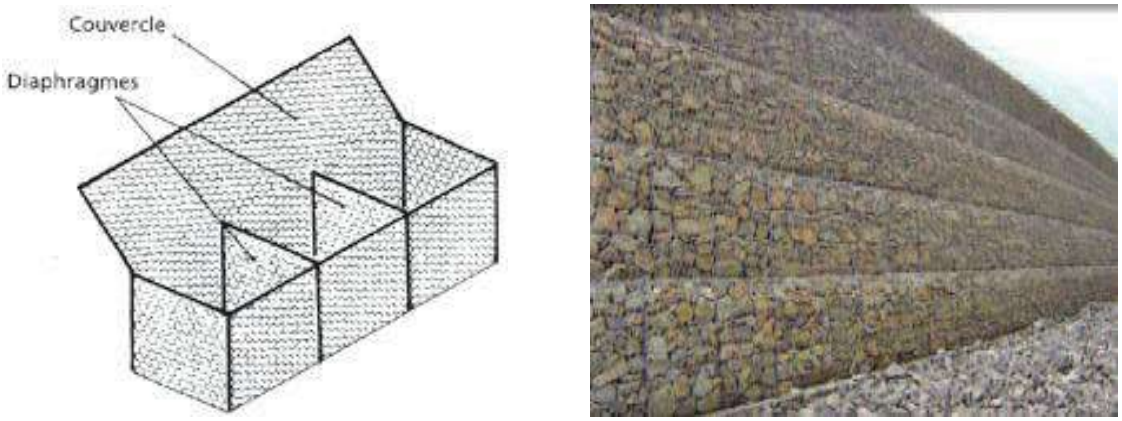


Figure IV. 3: gabion boîtes.

2. Les Terramesh System :

Structure monolithique composée d'un gabion en parement et d'une nappe de renfort en grillage double torsion plastifié. Les Terramesh System sont destinés aux ouvrages de soutènement en remblai renforcé à parement minéral.

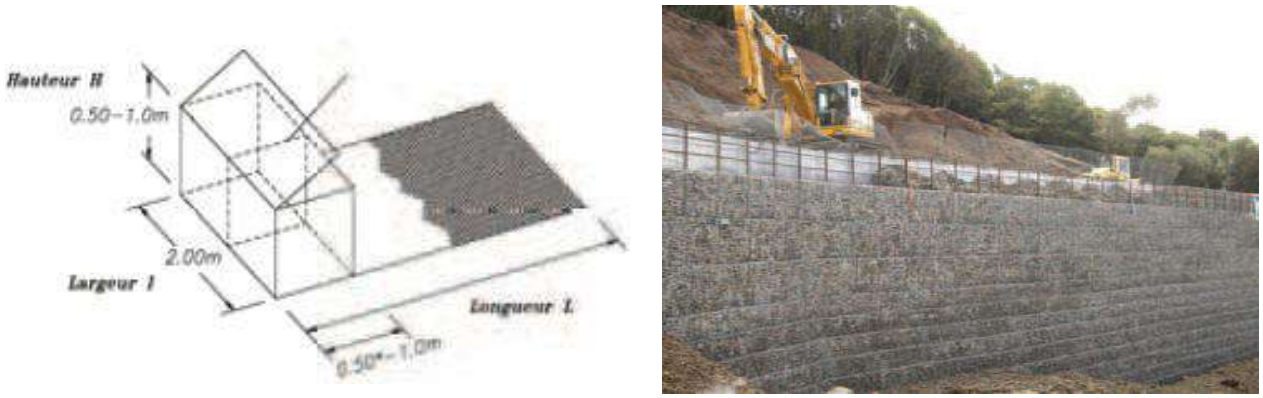


Figure IV. 4: gabion Les Terramesh System.

3. Les Terramesh Vert :

Structure monolithique composée d'une nappe de renfort et d'un parement en grillage double torsion plastifié. Au niveau du parement, un géocomposites assure un support pour la végétalisation. Les Terramesh Vert sont destinés aux ouvrages de soutènement en remblai renforcé à parement végétal sable.

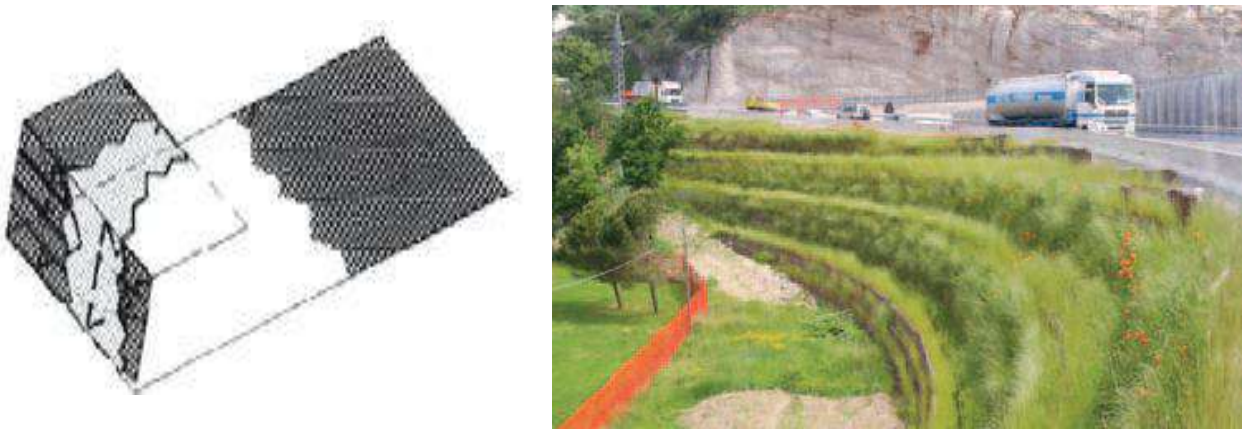


Figure IV. 5: Les Terramesh Vert.

4. Les gabions matelas :

Structure parallélépipédique plate constituée de cellules séparées par doubles diaphragmes (intervalles 1 m), fabriquées par pliage d'une seule nappe de grillage double torsion en acier galvanisé plastifié constituant le fond, les côtés et les diaphragmes. Les gabions matelas sont essentiellement destinés aux ouvrages hydrauliques.

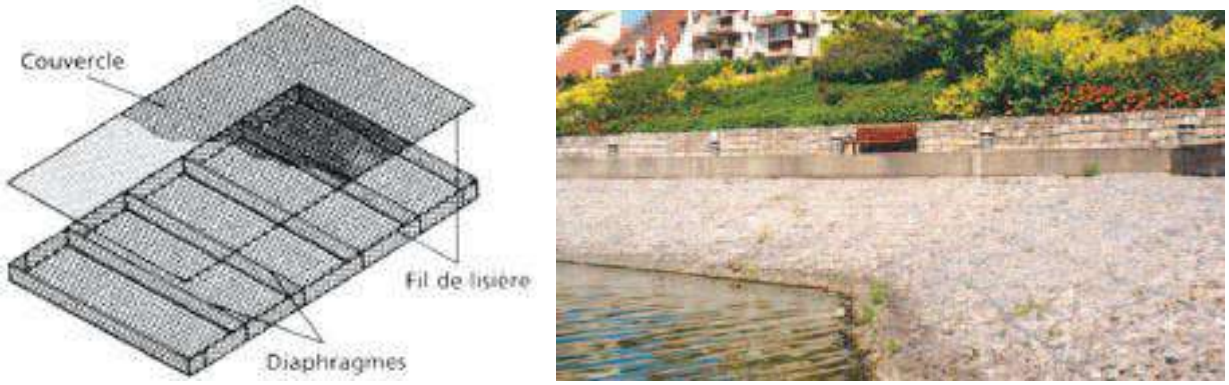


Figure IV. 6 : Les gabions matelas.

5. Les gabions à cellules multiples :

Structure parallélépipédique rectangulaire de grandes dimensions constituée de grillage double torsion plastifié qui peut être équipée de débords et de suspentes de levage. Les gabions à cellules multiples sont destinés généralement aux ouvrages hydrauliques et en particulier,

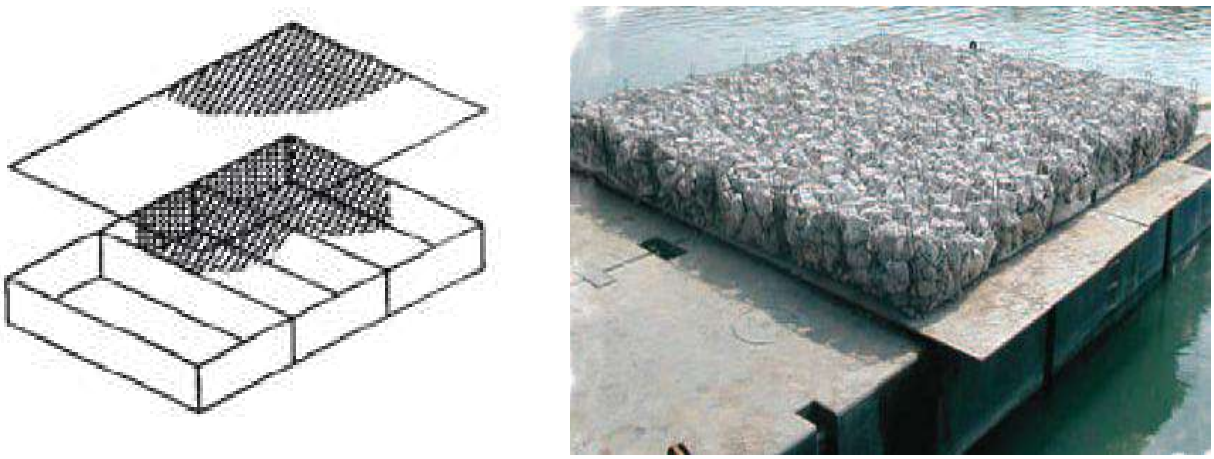


Figure IV. 7 : Les gabions à cellules multiples.

6. Les gabions sacs ou cylindriques :

Nappe de grillage à mailles hexagonales double torsion équipée de barrettes insérées pendant la fabrication pour en faciliter la fermeture lors de l'installation. Les gabions sacs sont principalement utilisés pour réaliser des digues, épis, protection anti-affouillement de quais ou piles de pont.



Figure IV. 8 : gabion sacs ou cylindriques.

7. Les Grillages Anti-Fouisseurs :

Structure constituée d'une nappe métallique à mailles hexagonales double torsion, indémaillable en acier galvanisé Plastifié. Les grillages anti fouisseurs sont utilisés pour protéger les talus ou berges menacés par la présence des fouisseurs (ragondins, lapins, blaireaux...) en réalisant une barrière infranchissable.



Figure IV. 9 : Les Grillages Anti-Fouisseurs.

8. Les Gabions Tubes :

Les gabions tubes sont constitués d'une enveloppe filtre géotextile interne et d'une enveloppe grillagée externe. Les gabions tubes sont utilisés pour constituer des points «durs» de stabilisation et de confortement de berges ou des traits de côte par le réemploi des matériaux fins du site.



Figure IV. 10 : gabions Tubes.

IV.2.2.1.2.Les types de Gabion électrosoudé :

1. Les gabions électrosoudés :

Boite parallélépipédique composée de panneaux à mailles rectangulaires ou carrées revêtus Les gabions électrosoudés sont utilisés pour des applications décoratives, habillages de murs, mobiliers urbains et murets.



Figure IV. 11 : Les gabions électrosoudés.

2. Les gabions prèremplis Électrosoudés :

Boîte parallélépipédique fabriquée à partir de panneaux électrosoudés à mailles rectangulaires 50 x 100 en fil acier revêtu. Les gabions prèremplis sont préremplis de pierres.



Figure IV. 12 : Les gabions prèremplis Électrosoudés.

3. Les Terramesh Minéral :

Ensemble monolithique composé en parement d'un parallélépipède de type gabion dont la face vue est un treillis soudé se prolongeant à l'arrière par une nappe d'ancrage en grillage double torsion plastifié.

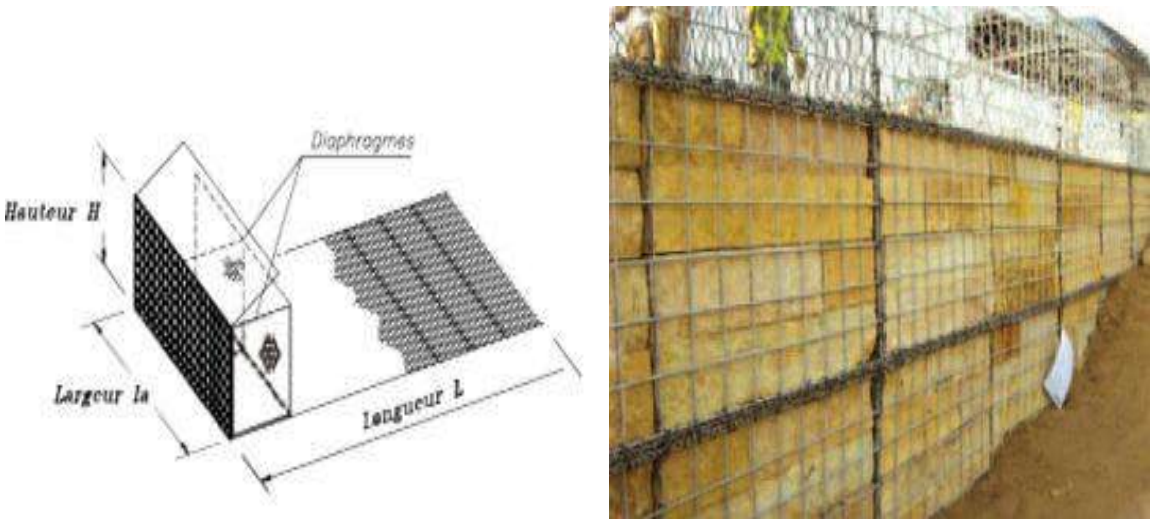


Figure IV. 13 : Les Terramesh Minéral.

4. Les Eléments Multicellulaires à Déploiement Rapide :

Spécialement conçus pour les situations d'urgence ou provisoires, les (EMDR) sont des kits prêts à l'emploi de mise en œuvre simple, rapide permettant l'utilisation des matériaux de remplissage du site. Principalement utilisés comme dispositif de lutte contre l'érosion et les inondations et comme dispositif de défense.

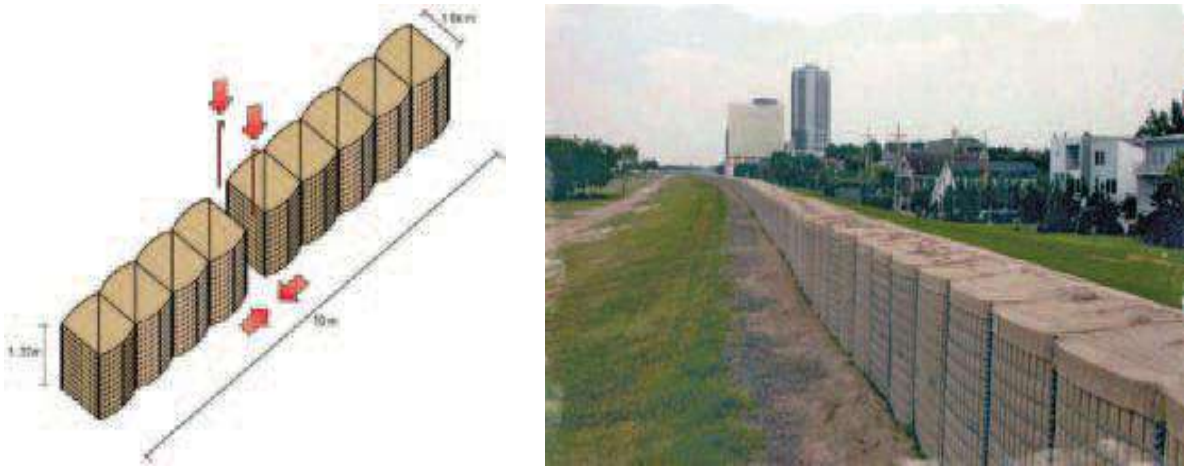


Figure IV. 14 : Les Eléments Multicellulaires à Déploiement Rapide.

IV.2.2.2.Remplissage :

Les matériaux de remplissage des gabions sont des matériaux pierreux ayant la plus haute densité possible, de formes homogènes, non évolutifs et insensibles au gel. Du béton concassé peut aussi être employé. La plus grande dimension de pierres est limitée à 250 mm.

Le remplissage des gabions peut être réalisé selon deux techniques :

- Soit les gabions sont montés à part, remplis, fermés, puis disposés à leur place à l'aide d'une grue.
- Soit les gabions sont installés déjà à leur place finale, puis remplis et fermés.

Cette deuxième solution est beaucoup plus efficace, car elle ne nécessite pas de grue, et évite le doublage des côtés et des bases. Pour plus d'esthétisme, les gabions peuvent être arrangés à la main, afin de donner une mise en place plus uniforme du mur.

L'assemblage des panneaux est réalisé à l'aide d'une agrafeuse pneumatique, qui permet d'attacher les gabions entre eux grâce à des agrafes en acier.

Pour plus de stabilité, des tirants de renfort, tiges d'acier aux extrémités recourbées, sont placés diagonalement entre les différentes faces de la cage. Quatre tirants sont placés à $\frac{1}{3}$ de la hauteur et quatre autres sur le $\frac{1}{3}$ suivant.

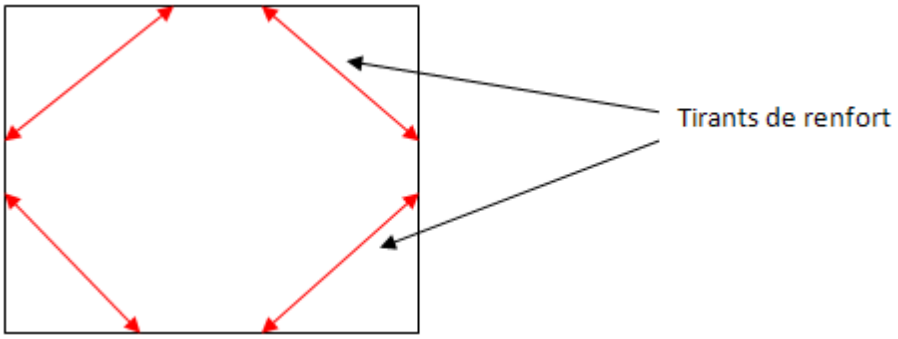


Figure IV. 15 : Vue de dessus d'un gabion.



Figure IV. 16 : Agrafes entre les différents Panneaux.



Figure IV. 17 : Tirants de renfort.

IV.2.3.Les avantages de Mur en gabion :

Le gabion utilisé dans la construction de mur ou de tout autre ouvrage, présente de nombreux avantages :

- Mise en œuvre simple et rapide
- Esthétique : possibilité d'utiliser des matériaux décoratifs (végétalisation…)
- Résistance et souplesse : le gabion s'adapte aux variations du sol en cas de tassement ou d'affaissement
- Robuste et durable
- Antibruit
- Modulable
- Drainant
- Ecologique
- Possibilité de réaliser un habillage de façade mince (20 à 30 cm) sans déformation d parement
- Bonne intégration paysagère

IV.3. Les Géogrille :

IV.3.1. Définition:

Structure plane à base de polymère constituée par un réseau ouvert et régulier résistants à la traction reliés entre eux selon un motif régulier, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants, utilisée en contact avec le sol ou d'autres matériaux pour renforcer les fondations, remblais, sols, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.



Figure IV. 18 : géogrilles.

IV.3.2. Les caractéristiques des géogrille :

Les géogrilles sont caractérisées par :

- une certaine rigidité et solidité ; les *côtes* des géogrilles sont souvent plus rigides que dans le cas des autres géotextiles.
- une très grande grande porosité, c'est-à-dire des ouvertures de maille (l'entre nervures longitudinales et transversales, dit « apertures » pour les anglophones), assez grandes pour permettre que les matériaux du sol la traverse de part en part, à la différence d'autres géotextiles, qui au contraire laissent passer l'eau ou l'air, mais résistent aux matériaux du sol ou à la grave apportée.
- Ils permettent un «travail à froid» (pas de goudron à faire fondre).

Il existe actuellement trois catégories de géogrilles :

- Le premier regroupe les géogrilles dites de type homogène. Elles ont été inventées au Royaume-Uni par Netlon, Ltd, et importées en 1982 en Amérique du Nord par la Société Tensar. Une conférence de 1984 les a présentés à la communauté des ingénieurs. Des modèles proches ont été développés en Italie (par Tenax), ainsi que par des fabricants asiatiques.
- La deuxième catégorie regroupe des géogrilles plus souples, dont des *textiles-géogrilles* utilisant des faisceaux de fibres de polyester enduit de polypropylène en tant que composante de renforcement. Ils ont été développés en premier lieu par Royaume-Uni vers 1980. Cela a conduit à l'élaboration de machines à tisser groupant des centaines de fibres continues en fils tissées de manière à obtenir des nervures longitudinales et transverses séparées par de grands espaces ouverts.
- La troisième catégorie regroupe des grilles produites par collage au laser ou par ultrasons de tiges ou sangles de polyester ou polypropylène pour former une grille.

IV.3. 3.Propriétés des géogrilles utilisées en renforcement :

- Les géogrilles ont des taux de travail très élevés, car les matières premières à haut module ont un faible fluage.
- Les géogrilles sont disponibles avec différentes résistances à la traction (entre 20 KN/m et 1000 KN/m) et différentes ouvertures de mailles. Pour des utilisations spéciales, nous pouvons réaliser des résistances à la traction de plus de 1000 kN/m.
- Les caractéristiques de traction et d'allongement des géogrilles ne varient que faiblement sous des variations importantes de température et sous des contraintes permanentes.
- Les géogrilles sont conditionnées de manière standard, ceci afin de réduire au mieux les recouvrements.
- Les géogrilles sont faciles à manier et à mettre en œuvre, car elles peuvent être déroulées et pliées. Elles peuvent être facilement découpées aux dimensions voulues et n'ont pas de bord coupant pouvant entraîner des blessures.

IV.3. 4. Application des géogrilles en renforcement :

Les géogrilles sont utilisés avec succès en construction dans le monde entier pour renforcer les sols depuis des dizaines d'années par de nombreux ingénieurs. Le développement et la confection de la géogrille pour les renforcements horizontaux ont été mis au point selon les derniers développements techniques disponibles.

Les géogrilles offrent une augmentation sensible du renforcement de la couche portante et répartissent les charges s'exerçant en surface sur une plus grande zone.
Nous citons ci-dessous quelques cas de renforcement des sols.

1. Renforcement des talus :

Le bon fonctionnement du renforcement des talus (Figure IV. 19) exige de la part du géosynthétique, un faible allongement sous sollicitation, et un choix judicieux doit être réalisé en fonction du type de sol. Pour des sols graveleux et non cohésifs (par exemple sables et graviers), les géogrilles conviennent mieux, tandis que les géotextiles tissés et les géocomposites sont plus adaptés aux sols fins et homogènes (terres, argiles).

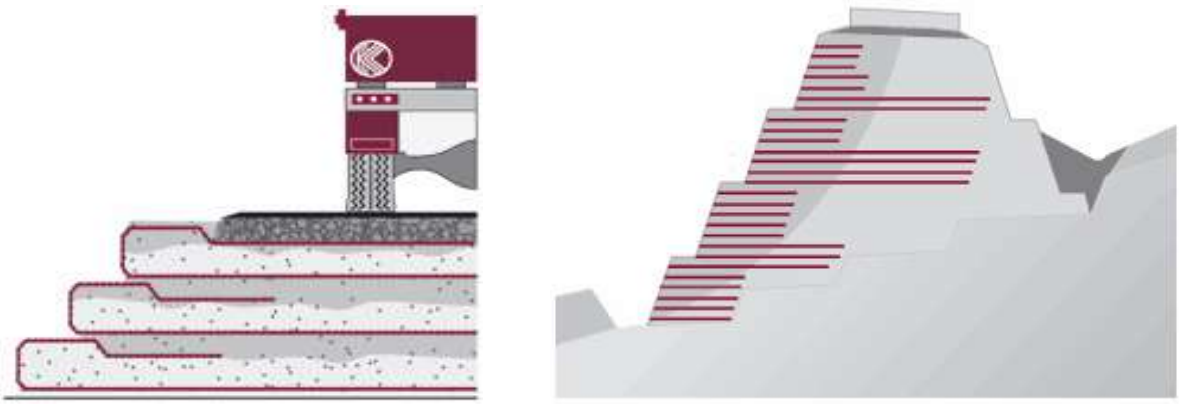


Figure IV.19 : Talus renforcés par géogrilles.

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

- amélioration des caractéristiques mécaniques des sols.
- diminution des mouvements de terre.
- diminution des exigences de transfert de matériau.
- modification des structures routières et ferroviaires pour en augmenter les capacités.

- réduction des délais de construction (possibilité de travailler pendant la période hivernale).
- augmentation de la sécurité et de la stabilité des remblais.
- préservation de l'aspect naturel du paysage.
- optimisation des coûts de construction.

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

L'utilisation des géogrilles est un des procédés les plus efficaces pour augmenter la portance (Figure IV. 20), particulièrement là où les caractéristiques mécaniques du terrain ne peuvent garantir le niveau espéré de stabilité et de portance.

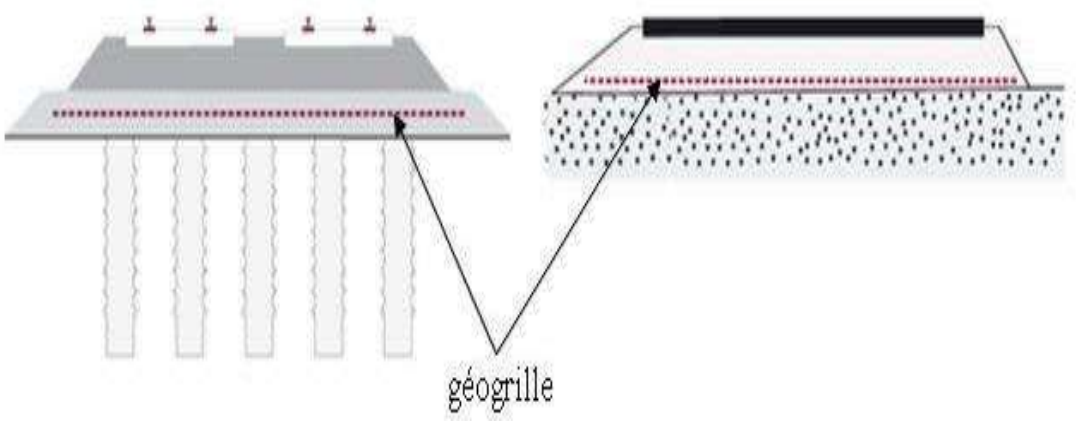


Figure IV.20 : Remblais renforcés par géogrilles.

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

Principaux avantages des géogrilles dans les constructions routières et ferroviaires:

- emplacement de la construction même sur des terrains à faible portance.
- diminution de la déformation du corps de remblai.
- séparation du matériau à gros grain des couches inférieures.
- utilisation de terrains inconvenables.

- possibilité de vitesses supérieures sur les voies de communication.

3. Constructions de murs en terre renforcée par géogrilles :

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

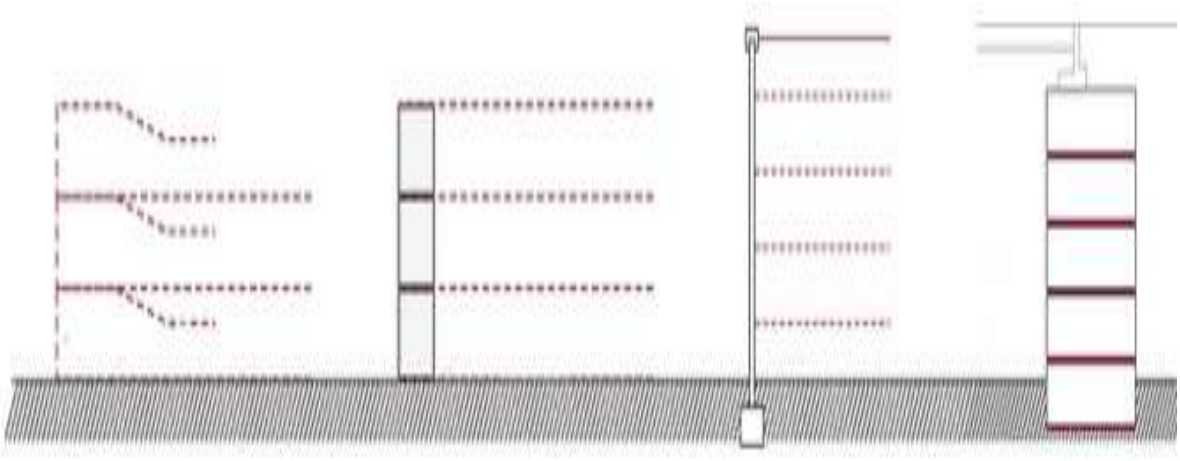


Figure IV.21 : Murs en terre renforcée par géogrilles.

IV.3. 5.Comportement mécanique sol-géogrille :

La connaissance du comportement sol-géogrille est indispensable dans tout projet de génie civil. Les propriétés d'interaction sol-géogrille sont obtenues à partir d'études sur le comportement en place et aussi à partir d'essais en laboratoire.

1. Résistance et déformabilité :

La résistance des géogrilles croît avec la pression de confinement exercée par le sol sur la géogrille. L'essai adapté par Mc Gown et al, 1982 pour la déformabilité et la résistance est l'essai d'extraction de géotextile confiné.

Ce dernier est réalisé par un appareil très simple (Figure IV. 212) proposé par Eristopher en (1983) et permettant de déterminer la courbe effort-déformation en traction d'une géogrille enterrée.

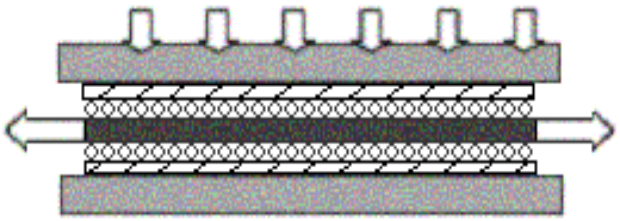


Figure IV.22 : Essai de traction.

2. Frottement sol-géogrille :

Il est souvent nécessaire de connaître le comportement en frottement du système sol géogrille surtout lorsque les géogrilles sont utilisées comme éléments de renfort dans les ouvrages.

Le frottement dépend :

- des caractéristiques de résistance au cisaillement du sol,
- de l'extensibilité de la géogrille,
- de l'angularité des grains,
- de la contrainte normale,
- et de la densité du sol.

Pour mesurer le frottement sol- géogrille, on utilise l'essai de cisaillement direct (Figure IV.23). Le sol placé dans la demi-botte supérieure est bien frotté sur la géogrille qui est placée à la surface de la demi-botte inférieure. Cet essai ne nécessite pas d'appareillage complexe.

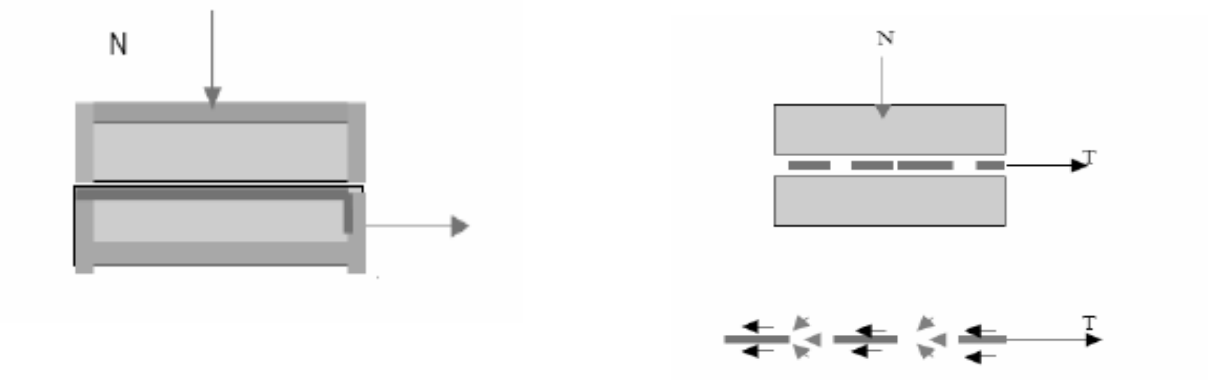


Figure IV. 23 : Boîte de cisaillement.

$$tg\varphi_g = \frac{\tau}{\sigma}$$

Avec

σ: Contrainte normale [kN/ m^2].

τ : Contrainte de cisaillement [kN/ m^2].

φ_g : Angle de frottement sol-géotextile.

3. Mécanisme d'enclenchement sol-géogrille :

Le mécanisme de l'enclenchement s'obtient lorsque le matériau granuleux est compacté sur une géogrille.

Elle pénètre partiellement et se projette à travers les ouvertures, créant un enclenchement solidaire robuste et positif. La grande résistance à la traction des géogrilles permet à la charge d'être développée à des niveaux très faibles de déformation.

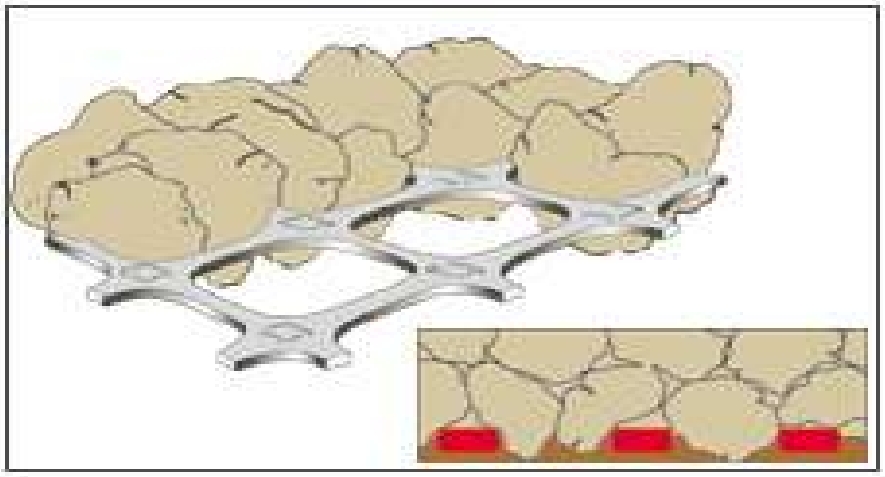


Figure IV.24 : Mécanisme d'enclenchement sol-géogrille.

VI.4.Analyse de la stabilité interne de mur de soutènement gabion renforcée par des Géogrille :

Les Murs en gabions sont généralement analysées comme des murs poids, fonctionne par poids propre pour résister à la pression latérale des terres.

Il ya quatre étapes principales doivent alors être suivie:

- Déterminer les forces agissant sur le mur.
- Vérifiez la stabilité au renversement.
- Vérifiez la stabilité au glissement.
- Vérifiez la Stabilité vis avis au poinçonnement du sol.

VI.4.1.Analyse de la stabilité interne sans renforcement :

1. Détermination des forces agissant sur le mur :

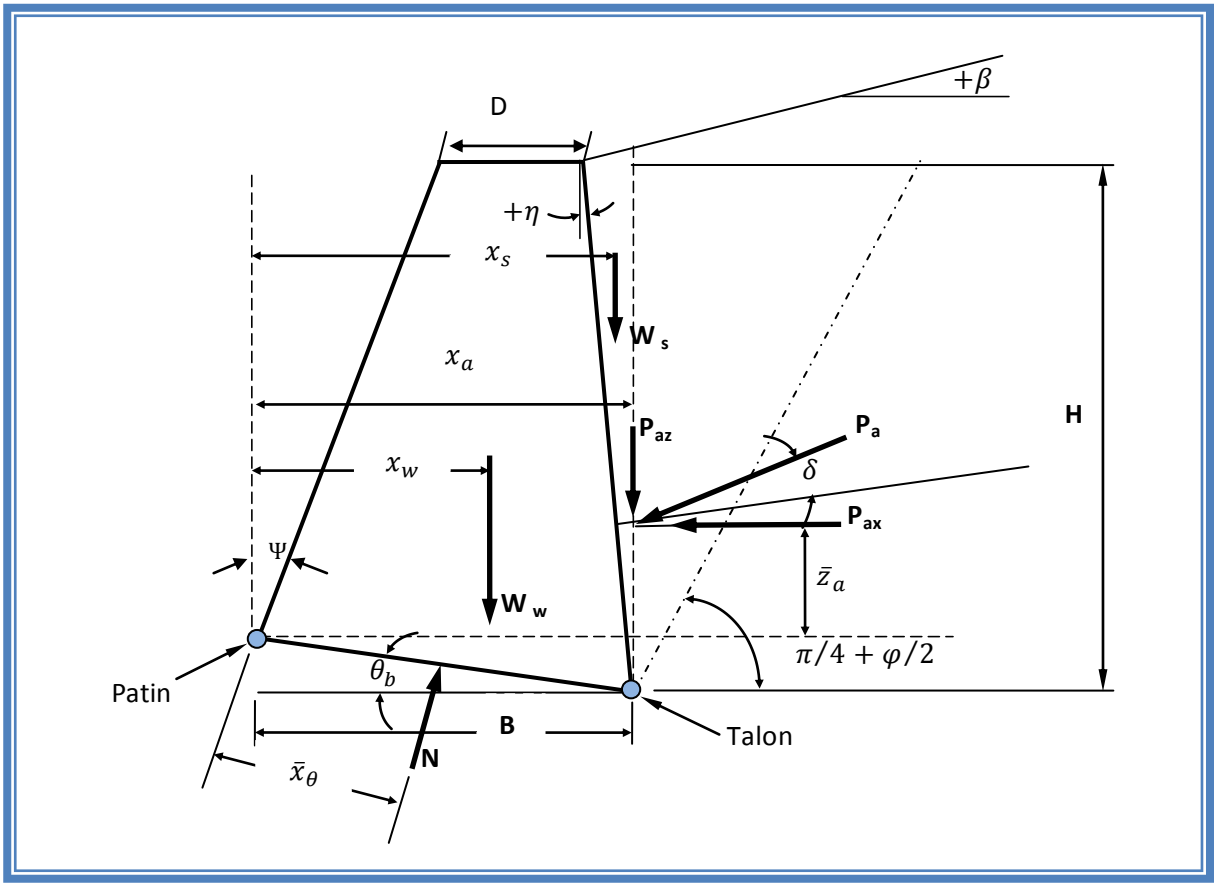


Figure IV.25 : Les forces agissant sur le gabion.

Comme le montre la figure précédente, les forces principales agissant sur le gabion sont les forces verticales provenant du poids des gabions et la composante verticales des pressions des terres agissant sur le parement intérieur du mur.

A. La pression latérale :

La pression latérale des terres est souvent calculée en se servant de l'équation de Coulomb modifié par la suite par Poncelet (1840). La force de poussée agissant en une distribution triangulaire est :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \qquad (1)$$

Où

γ : est le poids volumique du remblai

H : est la hauteur du mur

Ka : est le coefficient de poussée.

Si une charge uniformément répartie (q) est présente, elle sera traitée comme étant une couche de sol qui crée une pression uniforme le long du mur. Dans cette situation, l'équation (1) devient :

$$P_a = K_a\left(\frac{1}{2}\gamma H^2 + qH\right) \qquad (2)$$

B. Le coefficient de poussée est :

$$K_a = \frac{cos^2(\phi-\eta)}{cos^2\eta \cos(\delta+\eta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)sin(\phi-\beta)}{\cos(\eta-\delta)\cos(\eta-\beta)}}\right]^2} \qquad (3)$$

C. Le coefficient de butée est donné par :

$$K_p = \frac{cos^2(\phi+\eta)}{cos^2\eta \cos(\eta-\delta)\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)sin(\phi+\beta)}{\cos(\eta-\delta)\cos(\eta-\beta)}}\right]^2} \quad (4)$$

Oùβ, δ et ϕ sont :

η **:** Angle d'inclinaison du parement intérieur du mur. Compté positivement lorsque L'inclinaison du mur est vers la gauche.

β **:** Angle d'inclinaison du remblai.

δ **:** Angle caractérisant l'interface remblai-mur.

ϕ **:** Angle de frottement interne caractérisant le matériau du remblai.

D. La composante horizontale P_{ax} :

$$P_{ax} = P_a \cos(\eta + \delta) \quad (5)$$

E. La composante verticale P_{az} :

$$P_{az} = P_a \sin(\eta + \delta) \quad (6)$$

Les murs de soutènement rigides doivent avoir des coefficients de sécurité adéquats pour empêcher le glissement, le renversement, le poinçonnement du sol.

2. Vérification de Stabilité vis-à-vis le glissement :

Pour un sol purement frottant :

$$(FS)_T = \frac{[(W_w+W_s+P_{az})cos\theta_b+P_{ax}sin\theta_b]\tan\phi_b}{P_{ax}\cos\theta_b+(W_w+W_s+P_{az})\sin\theta_b} \quad (7)$$

Pour un sol purement cohérent :

$$(FS)_T = \frac{C_w B/\cos\theta_b}{P_{ax}\cos\theta_b+(W_w+W_s+P_{az})\sin\theta_b} \quad (8)$$

Où

C_w : est la contrainte adhésive.

3. Vérification de Stabilité vis avis le renversement :

La rotation du mur autour de son patin est empêchée si la résultante des forces verticales passe par le tiers du milieu de la base.

$$N\bar{x}_\theta = W_w x_w + W_s x_s + P_{az} x_a - P_{ax}\bar{z}_a$$

$$\text{Où} \quad N = (W_w + W_s + P_{az})cos\theta_b + P_{ax}sin\theta_b \quad (9)$$

$$\bar{x}_\theta = \frac{W_w x_w+W_s x_s+P_{az}x_a-P_{ax}\bar{z}_a}{(W_w+W_s+P_{az})cos\theta_b+P_{ax}sin\theta_b} \quad (10)$$

Le mur de soutènement est stable vis-à-vis le renversement si la condition d'excentricité est satisfaite :

$$e = |(B/2 - \bar{x})| \leq B/6 \quad (11)$$

$$\text{Où } \bar{x} = \bar{x}_\theta \cos\theta_b$$

4. Vérification de Stabilité vis avis au poinçonnement du sol :

Un mur de soutènement doit avoir une marge de sécurité suffisante vis-à-vis le poinçonnement du sol. La contrainte maximale développée à la base du mur ne doit en aucun cas dépasser la contrainte admissible du sol :

$$\boldsymbol{\sigma_{max} \leq q_a} \qquad (12)$$

Où

$$\boldsymbol{\sigma_{max} = \frac{N}{A}\left(1 + \frac{6e}{B}\right)} \qquad (13)$$

N : est la résultante des forces verticales donnée par l'équation (9) et e est l'excentricité donnée par l'équation (11).

A : est l'aire de la base du mur et B sa largeur.

VI.4.2.Analyse de stabilité interne avec renforcement (Utilisation de Géogrille) :

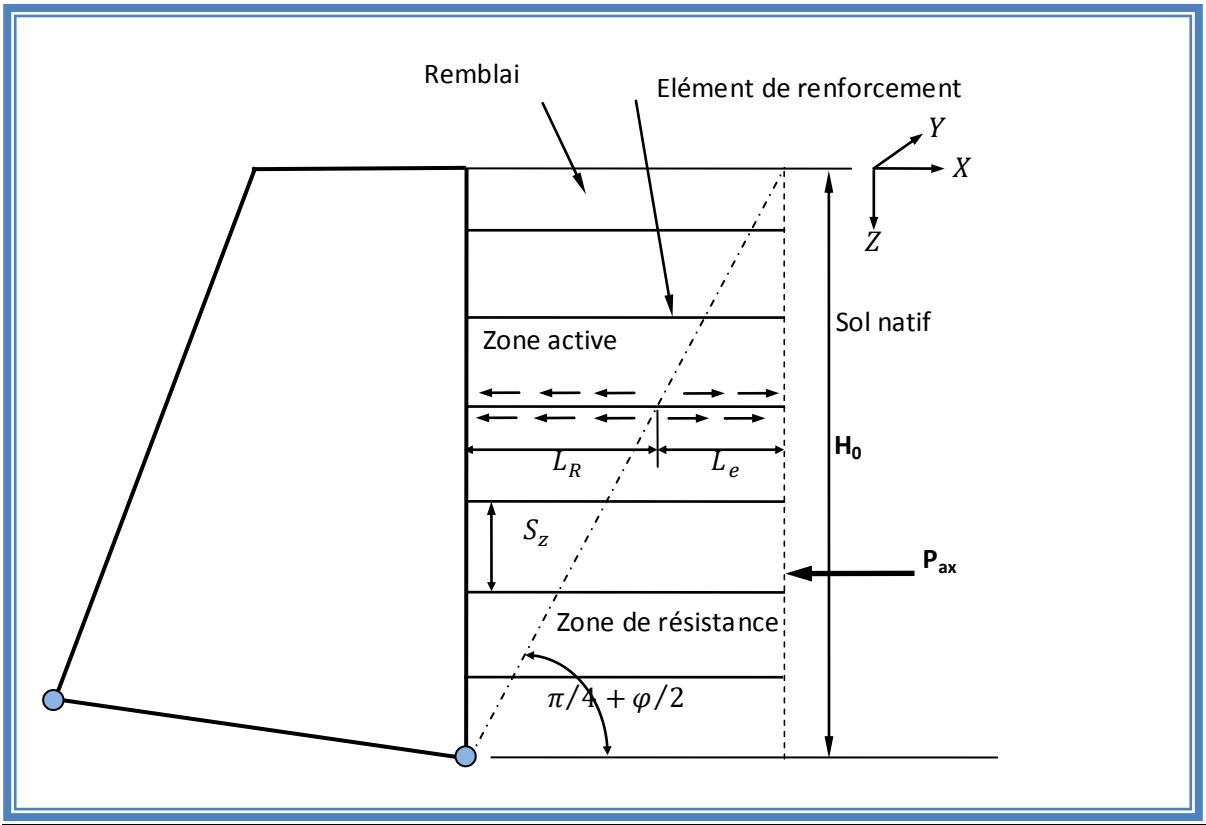


Figure IV.26 : schéma de calcule.

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

1. Evaluation de la résistance à la traction admissible du renforcement :

$$\boldsymbol{T_{adm} = T_{ult} \frac{1}{(FS)_{DI} X (FS)_{FL} (FS)_{DC} X (FS)_{DB}}} \qquad (14)$$

Où

$\boldsymbol{T_{adm}}$: est la résistance à la traction admissible.

$\boldsymbol{T_{ult}}$: est la résistance ultime.

$(\boldsymbol{FS})$: est le facteur de sécurité.les différents indices sont expliqués dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Les différents facteurs de sécurité.

	Signification	**Valeurs**
$(FS)_{DI}$	Dommage 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

2. Evaluation de l'espacement vertical le long du mur:

$$S_z = \frac{T_{adm}}{K_{aR}\,(\acute{\sigma}_z + q_s)(FS)_{sp}} \qquad (15)$$

Où :

$(FS)_{sp}$: est un facteur de sécurité compris entre 1.3 et 1.5.

3. Détermination de la longueur de renforcement nécessaire à la base du mur :

La valeur adoptée sera la valeur maximale issue des deux équations suivantes :

$$L_b = \frac{P_{ax}(FS)_T}{C_w} \qquad (16)$$

$$L_b = \frac{P_{ax}(FS)_T}{\gamma H_0 \tan \phi_b} \qquad (17)$$

4. Détermination de la longueur totale du renforcement à différents niveaux :

$$L = L_e + L_R \quad (18)$$

Où :

La longueur passive est donnée par :

$$L_R = (H_0 - z)\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \quad (19)$$

Et la longueur d'ancrage est donnée par :

$$L_e = \frac{K_{aR}\ S_z\ FS}{2\ tan(\delta_i)} \quad (20)$$

δ_i : Angle de frottement caractérisant l'interface sol-géogrille.

Chapitre V

Elaboration d'un utilitaire de calcul

V.1. Introduction :

L'Excel c'est un logiciel qui fait partie de la famille des logiciels de gestion des tableaux «TABLEUR ».Un tableur est un logiciel spécialisé dans le calcul et la présentation des données dans des tableaux ainsi que de présenter des résultats de calcul sous forme de graphiques.

Un tableur est utilisé dans plusieurs domaines qui font beaucoup appel au calcul, y compris l'économie, les sciences, la statistique, …En effet, un tableur est un logiciel qui permet de gérer des données présentées dans un tableau. (Calcul, classement, testes, présentation graphiques de données,…).

V.2. Environnement :

Lorsque vous ouvrez Excel pour la première fois, vous vous trouvez devant une feuille quadrillée que l'on appelle une feuille de calcul. Voici ce que vous trouverez sur cette Feuille :

- Les lignes sont numérotées de 1 à16384.
- Les colonnes sont numérotées A à IV (i.e. 256 colonnes).
- A chacune des intersections d'une ligne et d'une colonne, on trouve une cellule : une seule feuille de calcul contient donc 4 194 304 cellules.
- Si vous considérez également le fait que vous pouvez insérer jusqu'à 256 feuilles de calcul, vous vous trouverez devant un nombre de cellules astronomiques. (voir 10 à la figure 1).

Pour passer d'une feuille à l'autre, on n'a qu'à cliquer sur la feuille .les boutons de défilement des feuilles (voir 15 à la figure 1) vous permettront de visualiser les onglets non présentés à l'écran lorsqu'une feuille en contient plusieurs autres. De plus, le bouton de visualisation des feuilles (voir 16 à la figure 1) vous permettra d'agrandir ou de réduire l'espace disponible pour visualiser les feuilles.

- En Excel, on appelle « classeur » le fichier contenant ces feuilles de calcul.

Chaque cellule possède une « adresse » .cette adresse est construite en utilisant la ou les lettres identifiant la colonne suivies du numéro de la ligne.

Un classeur peut également contenir, outre les feuilles de calcul, des feuilles graphiques sur lesquelles n'apparaît qu'un seul graphique. Le nom du classeur apparaît toujours dans la barre titre (voir 2 à la figure 1).

Les barres de fractionnement (voir 17 à la figure 1) permettent de diviser la feuille horizontalement et verticalement. Ces barres sont très utiles lorsque vous travaillez sur une feuille remplie de données. Vous pouvez ainsi visualiser côte à côte des sections de feuilles pour mettre en situées dans des emplacements très éloignés.

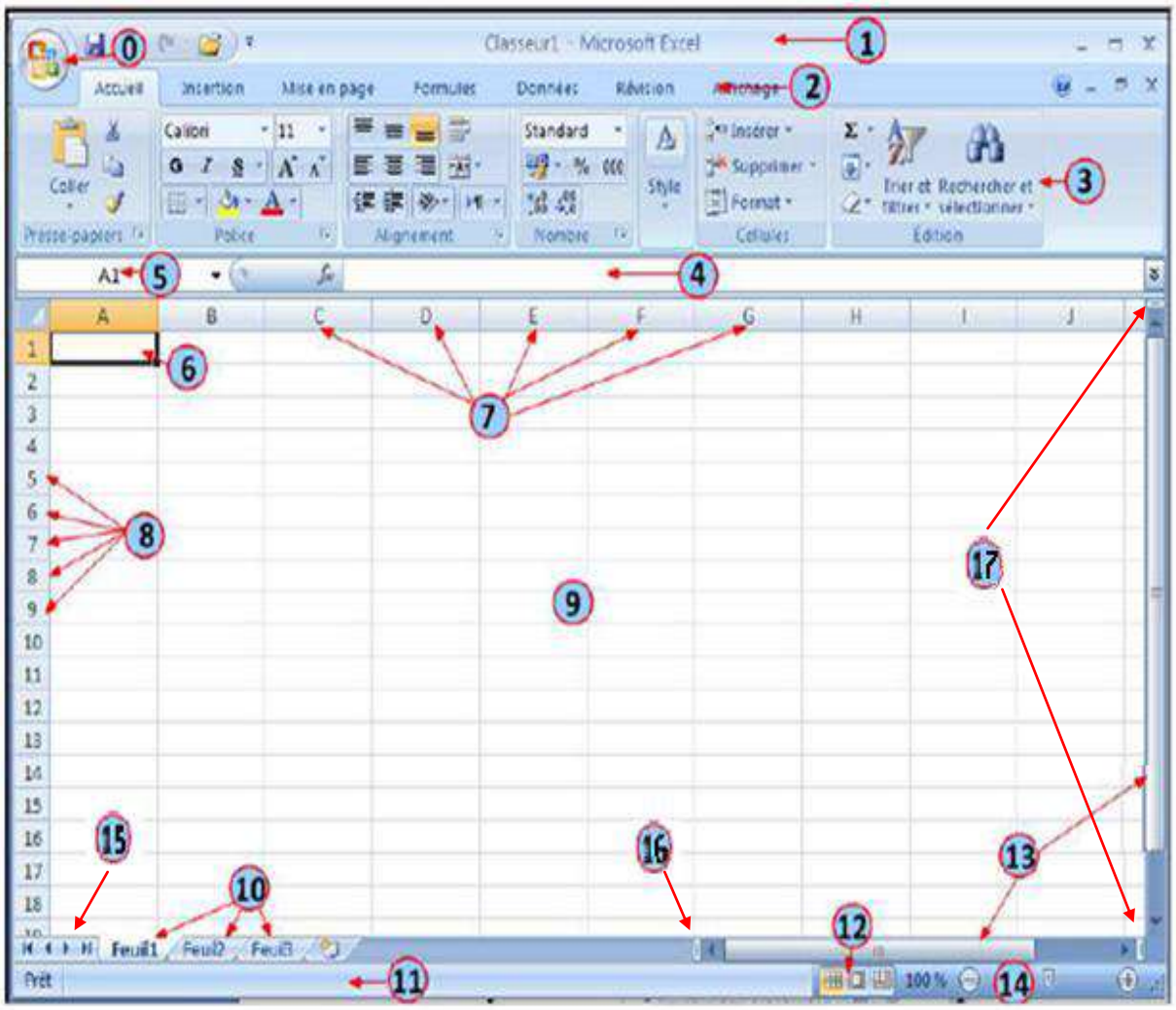


Figure V. 1 : L'Environnement Excel

0 : Description des éléments de cette image.

1 : Bouton Office : Pour Ouvrir, enregistrer, imprimer, réparer, publier, envoyer ou créer un document. (Cliquer sur ce bouton puis choisir une option selon les besoins)

2 : Barre de titre : affiche le titre du document et le nom du logiciel.

3 : Les onglets : Des boutons pour afficher les outils de même catégorie, par exemple l'onglet Insertion permet d'afficher une liste d'outils permettant d'insérer un objet dans le document.

4 : Barres d'outils : Afficher les outils de travail, tel que la mise en forme du texte, des images, … ces outils changent selon l'onglet sélectionné.

5 : Barre de fonctions : pour saisir des formules de calcul, ainsi que pour modifier le contenu de la cellule active.

6 : L'adresse de la cellule active.

7 : La cellule active.

8 : Les colonnes. (Ensemble des cellules de la même colonne).
Les lignes (ensemble des cellules sur la même ligne)

9 : Zone de travail.

10 : Les feuilles de calculs.

11 : Barre d'état : affiche l'état du logiciel.

12 : Mode d'affichage : Passer d'un mode d'affichage à un autre. (Normal, Mise en page, Aperçu des sauts de pages).

13 : Barres de défilement : Pour se déplacer horizontalement et verticalement dans le document.

14 : Zoom : Agrandir ou minimiser la taille de la fenêtre de travail.

15 : Boutons de défilement des feuilles

16 : Barre de visualisation des feuilles.

17 : Barres de fractionnement.

V.3. Fonctions d'Excel :

Excel possède plusieurs types de fonctions :

- Fonctions d'information.
- Fonctions de base de données.
- Fonctions de date et de l'heure.
- Fonctions de recherche et de référence.
- Fonctions de texte.
- Fonctions externes et DDE
- Fonctions financières.
- Fonctions logiques.
- Fonctions Mathématiques et trigonométriques.
- Fonctions statistiques.
- Fonctions techniques.

V.4. Saisies d'information ou une fonction :

Pour saisir un texte ou des nombres dans une cellule, il suffit de taper les caractères et de les valider avec la touche « Entrée ».

On prévoit évidemment la virgule lorsque les nombres sont réels. Pour saisir des dates il faut taper l'année suivie du mois, suivi du jour, et séparés par des tirets : par exemple 1998-12-31 pour le 31 décembre 1998.pour saisir l'heure, il faut taper l'heure suivie des minutes et actionnement des secondes, séparées par des deux point : par exemple 14 :35 ou encore 12 :25 :31.

Pour entrer une formule, on doit d'abord taper le symbole « = » ou un opérateur unaire, tel que le « + » ou le « - », ou encore activer l'assistant fonction (bouton « fx » sur la barre d'outils standard) (voir 1 à la figure V.2), puis nommer l'opération suivie d'une parenthèse contenant ses arguments ; on peut, en plus du clavier, utiliser la souris pour indiquer les cellules ou les blocs de cellules à manipuler.

Exemple de formules valides :

=4*6.5 (voir à figure V. 2)

=10-7

=SOMME (A1:A3).

Et pour les différentes fonctions on peut l'appliquer ou l'exprimer par des procédures, et chaque opération aura sa propre procédure par exemple :

Puissances (nombre ; puissance)

La fonction **Puissances** est une fonction mathématique qui retourne la valeur du nombre élevé à une puissance.

LN (nombre)

La fonction **LN** est une fonction mathématique qui donne le logarithme népérien d'un nombre.

SI (test _ logique ; valeur _ si _ vrai ; valeur _ si _ faux).

La fonction **SI** est une fonction logique qui renvoie à une valeur si la condition que vous spécifiez est vraie et une autre valeur si cette valeur est Fausse.

Pour modifier le contenu d'une cellule, on peut soit taper un nouveau « contenu » sans se préoccuper de l'ancien , soit effectuer un double clic sur la cellule puis effectuer les corrections ,ou encore utiliser la touche « F2 », ce qui équivaut à un double clic.

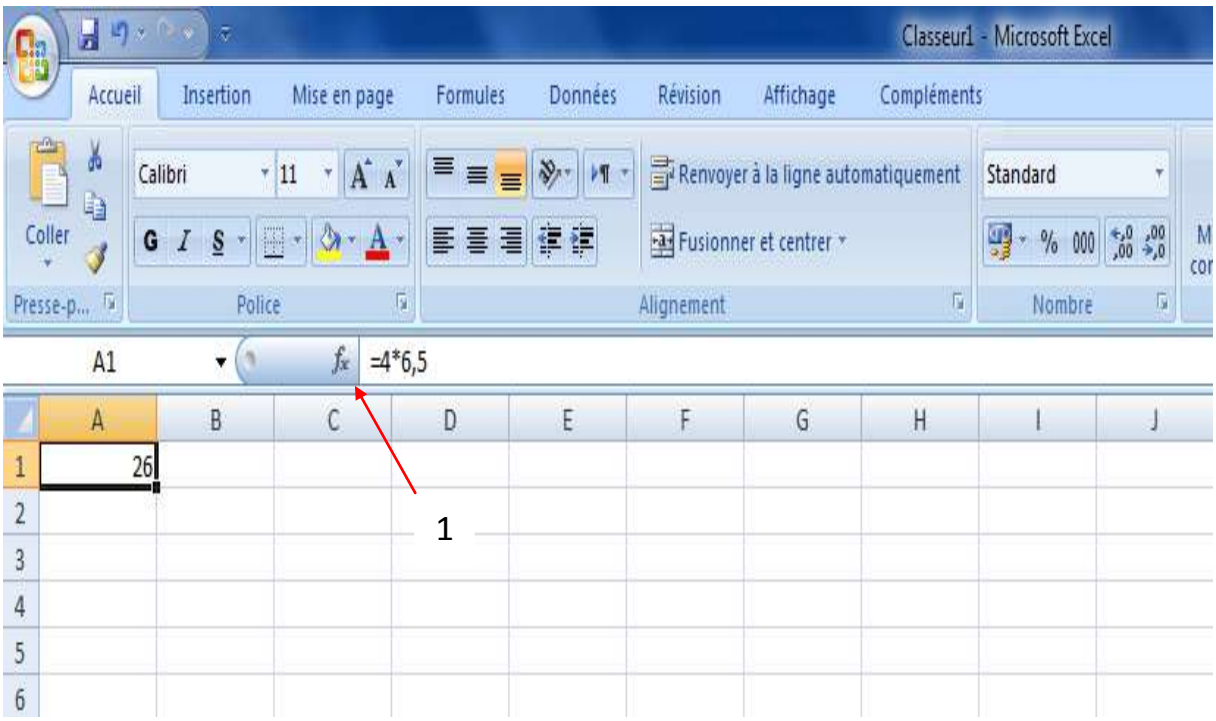


Figure V. 2: Saisie d'une fonction

V.5. L'utilitaire de calcul « Excel 2007 » :

On a choisi l'Excel 2007 grâce à ces fonctions de calcul qui nous ont aidés dans notre utilitaire, et qui se compose de deux classeurs différents.

Le premier classeur **Analyse de la stabilité de mur de soutènement Gabion.**

Le deuxième classeur **Calcul géogrille de renforcement.**

V.5.1. Le premier Classeur:

Pour le calcul des murs de soutènement, les caractéristiques mécaniques de base telles que la cohésion « C », l'angle de frottement interne « φ » et le poids volumique du sol « γ » derrière le mur et son sol de fondation doivent être avant tout déterminés. Ils permettent à l'ingénieur d'évaluer la force latérale qui agit sur son ouvrage de soutènement et de procéder à la conception du mur de soutènement qui s'effectue en trois étapes :

1. Le calcul de la pression latérale sur la structure.
2. La vérification de la stabilité de l'ouvrage. Celle-ci comprend :
   La stabilité locale :
   - La stabilité au glissement.
   - La stabilité au renversement.
   - La stabilité au poinçonnement du sol.

   La stabilité globale :

   Celle-ci vérifie la stabilité de l'ensemble vis-à-vis du cisaillement du sol.
3. Le calcul de la résistance : chaque composante de la structure doit avoir une résistance adéquate et ses armatures nécessaires calculées.

Et pour calculer ces étapes on a créé un nouveau classeur qui s'appel (Analyse de la Stabilité de Mur de Soutènement Gabion)

V.5.1.1. Présentation du premier Classeur : « Analyse de la Stabilité de Mur de Soutènement Gabion »

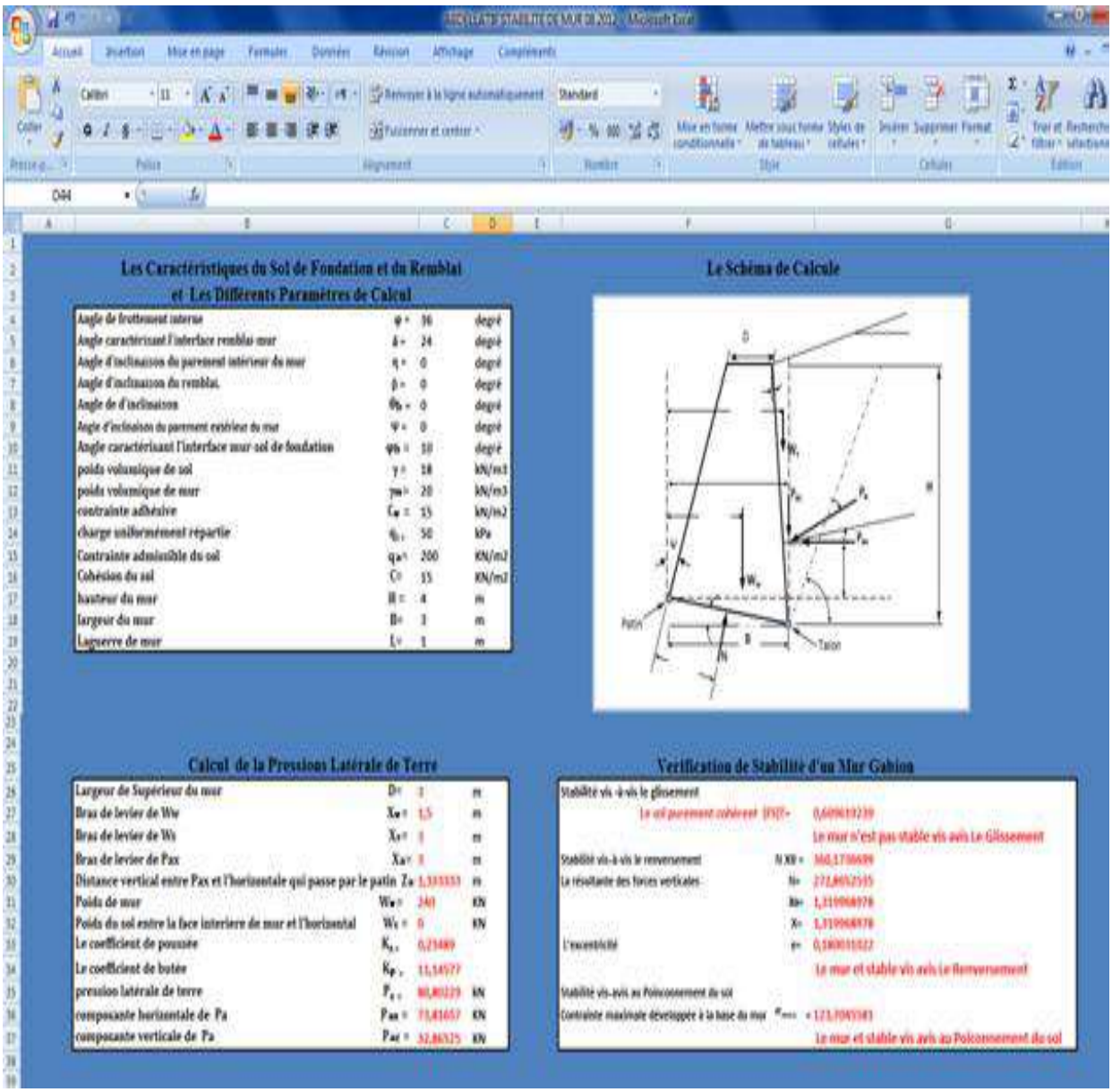


Figure V.3: le premier Classeur « Analyse de la Stabilité de Mur de Soutènement Gabion »

La feuille Excelle est divisée sur 4 :

1. **La première partie :** « Le Schéma de Calcul »

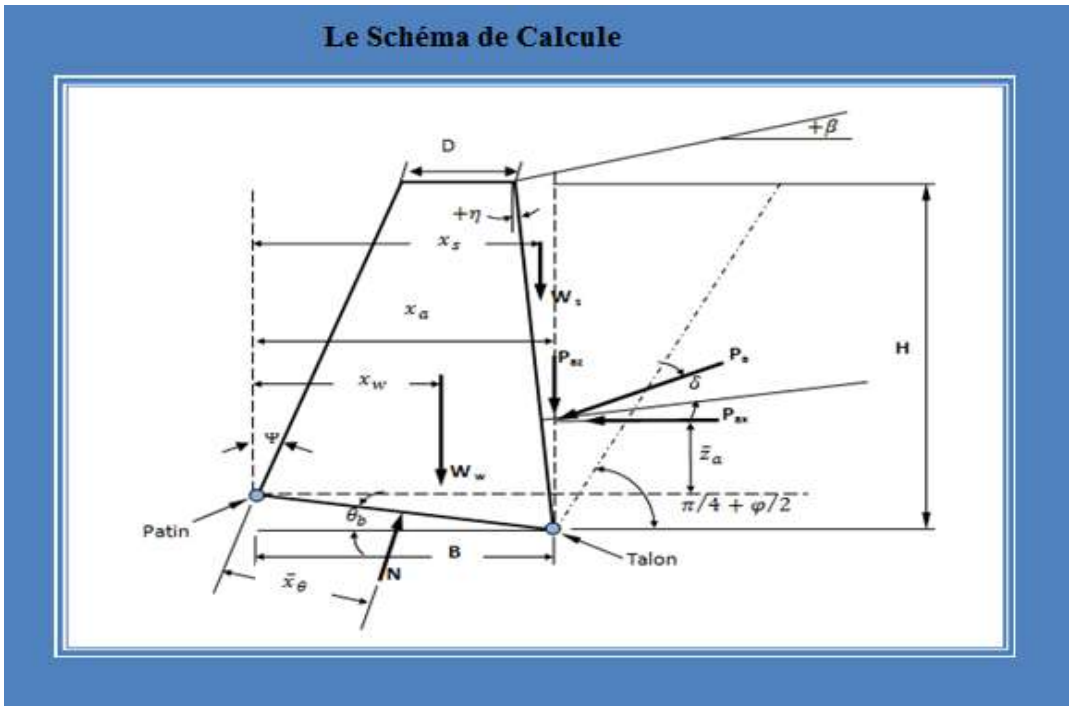


Figure V. 4: La première partie du premier Classeur

1. **La deuxième partie :** « Les Caractéristiques du Sol de Fondation et du Remblai et Les Différents Paramètres de Calcul »

Les Caractéristiques du Sol de Fondation et du Remblai et Les Différents Paramètres de Calcul

Angle de frottement interne	φ =	36	degré
Angle caractérisant l'interface remblai-mur	δ =	24	degré
Angle d'inclinaison du parement intérieur du mur	η =	0	degré
Angle d'inclinaison du remblai.	β =	0	degré
Angle de d'inclinaison	θ_b =	0	degré
Angle d'inclinaison du parement extérieur du mur	Ψ =	0	degré
Angle caractérisant l'interface mur-sol de fondation	φ_b =	10	degré
poids volumique de sol	γ =	18	kN/m3
poids volumique de mur	γ_m=	20	kN/m3
contrainte adhésive	C_w =	15	kN/m2
charge uniformément répartie	q_s =	50	kPa
Contrainte admissible du sol	q_a=	200	KN/m2
Cohésion du sol	C=	15	KN/m2
hauteur du mur	H =	4	m
largeur du mur	B=	3	m
Laguerre de mur	L=	1	m

Figure V. 5: La deuxième partie du premier Classeur.

Cette première partie concerne l'entrée des données suivantes.

1. Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai : φ, γ , C , φb , q… etc.
2. Les différents paramètres de calcul : H, B, L, Ψ... etc.

Et pour faciliter l'opération on les a affichés sur la feuille avec une couleur noire.

3. La Troisième partie : « Calcul de la Pressions Latérale de Terre »

Calcul de la Pressions Latérale de Terre

Largeur de Supérieur du mur	D=	3	m
Bras de levier de Ww	X_w =	1,5	m
Bras de levier de Ws	X_s =	3	m
Bras de levier de Pax	X_a =	3	m
Distance vertical entre Pax et l'horizontale qui passe par le patin	Z_a =	1,333333	m
Poids de mur	W_w =	240	KN
Poids du sol entre la face interiere de mur et l'horizontal	W_s =	0	KN
Le coefficient de poussée	K_a =	0,23489	
Le coefficient de butée	K_p =	11,14577	
pression latérale de terre	P_a =	80,80229	kN
composante horizontale de Pa	P_{ax} =	73,81657	KN
composante verticale de Pa	P_{az} =	32,86525	KN

Figure V. 6 : La troisième partie le premier Classeur.

Dans cette partie le programme calcule les fonctions qu'on a insérées et affiche les résultats

Exemple du paramètre calculé :

Le coefficient de poussée « Ka », Le coefficient de butée « K p », La pression latérale de terre « Pa », et Les bras de levier,... etc.

4. La quatrième partie : « Vérification de Stabilité d'un Mur Gabion »

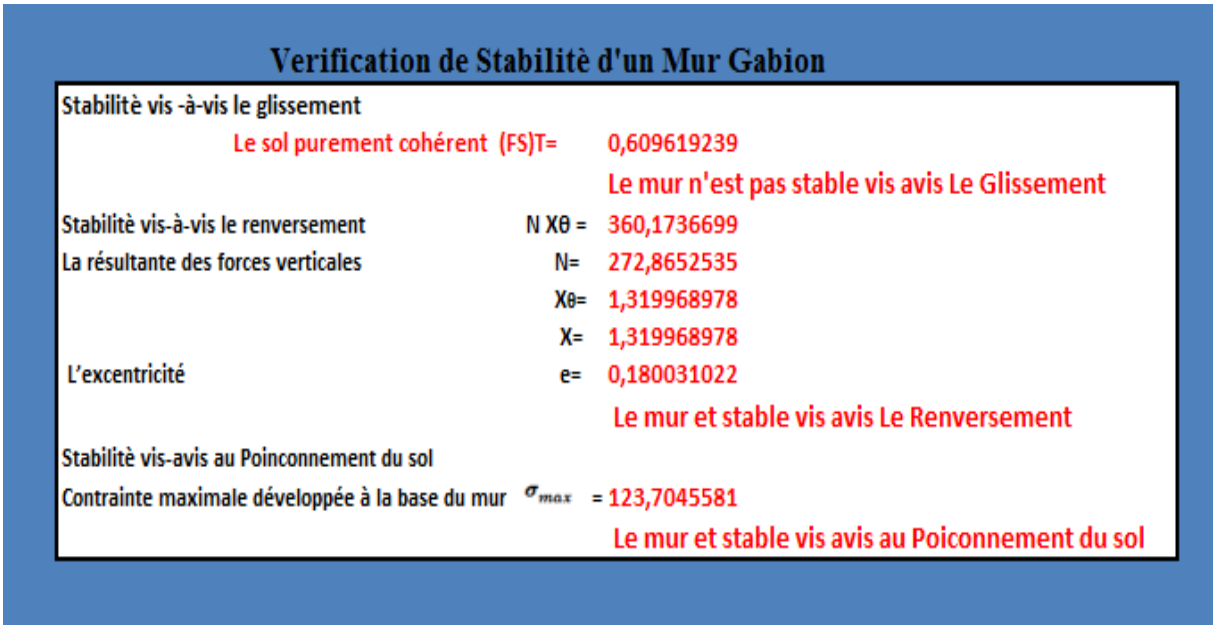


Figure V. 7: La quatrième partie du premier Classeur

Dans cette dernière partie, le programme a établit le premier teste logique et a affiché le résultat. Soit « Le sol purement frottant », soit « Le sol purement cohérent » et a calculé (FS)T, et par le deuxième teste, le programme a affiché le résultat ; soit « Le mur et stable vis à vis Le Glissement » soit « Le mur n'est pas stable vis à vis Le Glissement » après cela ,le programme a fait le calcul de N Xθ , N , Xθ , X, et l'excentricité « e » et a vérifié la stabilité vis à vis au renversement par un test logique et a affiché le résultat : soit « Le mur et stable vis à vis Le Renversement » ,soit « Le mur n'est pas stable vis à vis Le Renversement ». À la fin le programme a calculé σ_{max} et a fait un dernier test pour vérifier la stabilité au poinçonnement du sol et a affiché également le résultat ; soit « Le mur et stable vis à vis au Poinçonnement du sol » soit « Le mur n'est pas stable vis à vis au Poinçonnement du sol ».

Remarque :

Pour faciliter la lecture des données et des résultats, on a utilisé différentes couleurs. En effet, on a choisi la couleur noire pour ce qui est des données et la couleur rouge pour ce qui est du résultat.

V.5.2. Le deuxième Classeur:

Pour calculer un sol renforcé par géogrilles, il faut passer par les étapes suivantes :

- Calculer les espacements minimums.
- Calculer les espacements maximums.
- Ainsi les longueurs du renforcement à différents niveaux.

Et pour calculer ces étapes on a créé un nouveau classeur qui s'appelle (Analyse de la stabilité de mur de soutènement Gabion)

Quant au calcul des espacements et les longueurs du renforcement. Il faut d'abord calculer plusieurs paramètres, pour cela on a créé un nouveau classeur qu'on a appelé «Calcul d'un renforcement par Géogrilles »

V.5.2.1. Présentation du deuxième Classeur : «Calcul Géogrille de Renforcement »

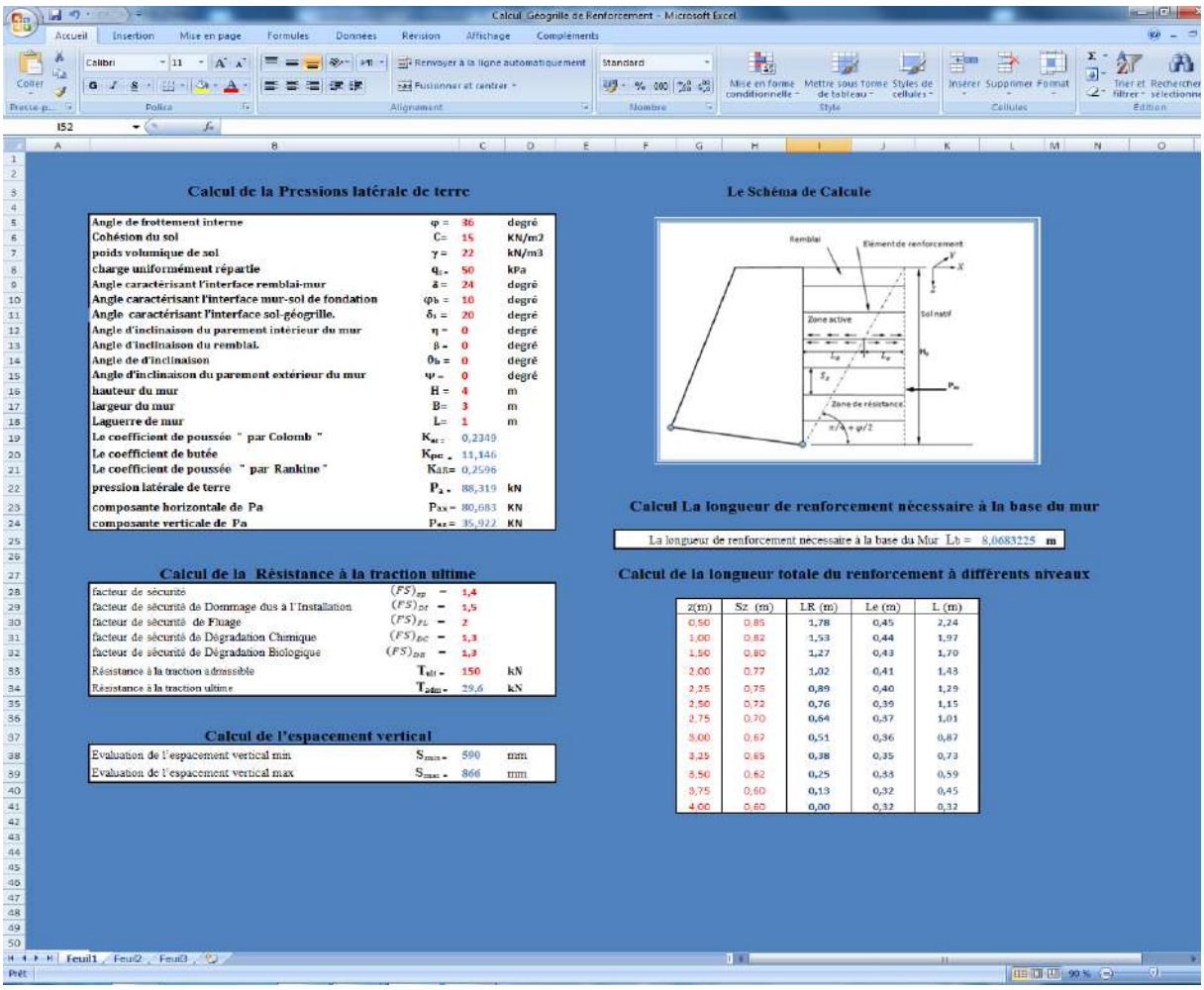


Figure V. 8 : Feuille du deuxième Classeur «Calcul Géogrilles de Renforcement »

1. **La première partie :** « Le Schéma de Calcul »

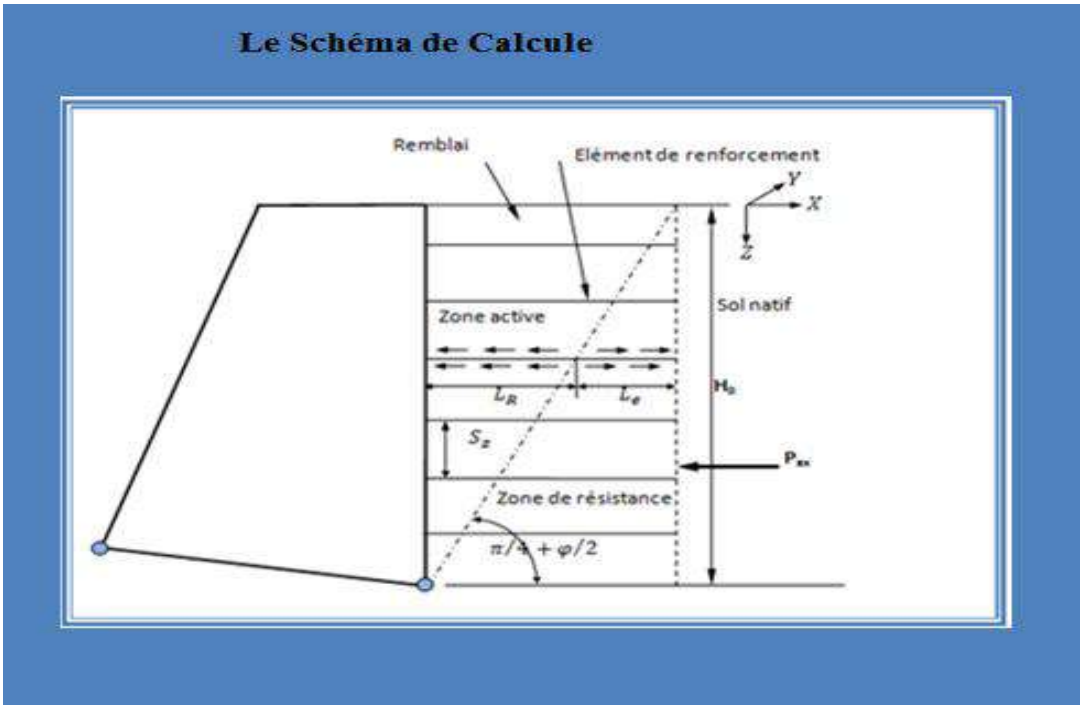


Figure V. 9: La première partie du deuxième Classeur

2. **La deuxième partie :** « Calcul de la pression latérale de terre »

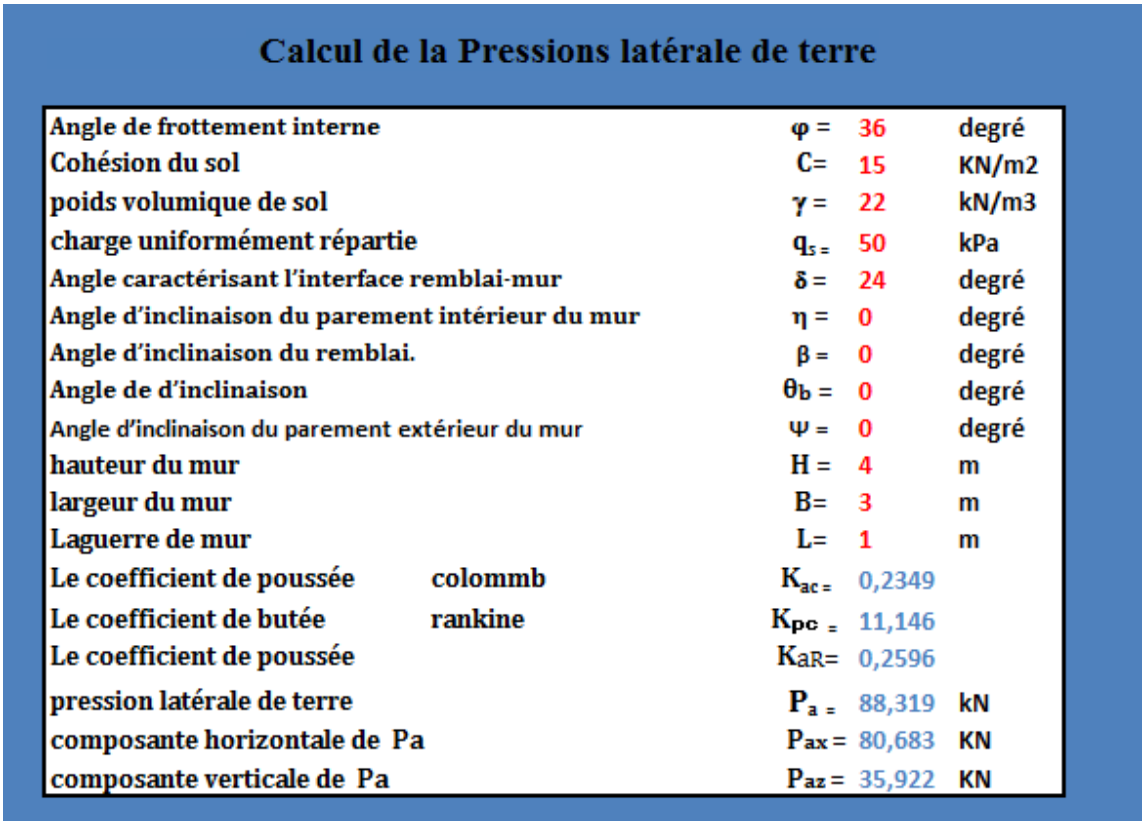


Figure V. 10: La deuxième partie du deuxième Classeur.

Cette partie se compose de deux (2) parties :

A. La première pour entrer les caractéristiques du sol (φ, , C …) et les différents paramètres de calcul (H , L , B ,...) ,qui on à afficher par le rouge.
B. la deuxième le programme affichée on bleu les résultat de Calcul de KaR , Kac , Kp Pa , Pax , Paz

KaR : Le coefficient de poussée calculé par la Méthode Rankine

Kac : Le coefficient de poussée calculé par la Méthode Colomb

3. La Troisième partie : « Calcul de la Résistance à la traction ultime »

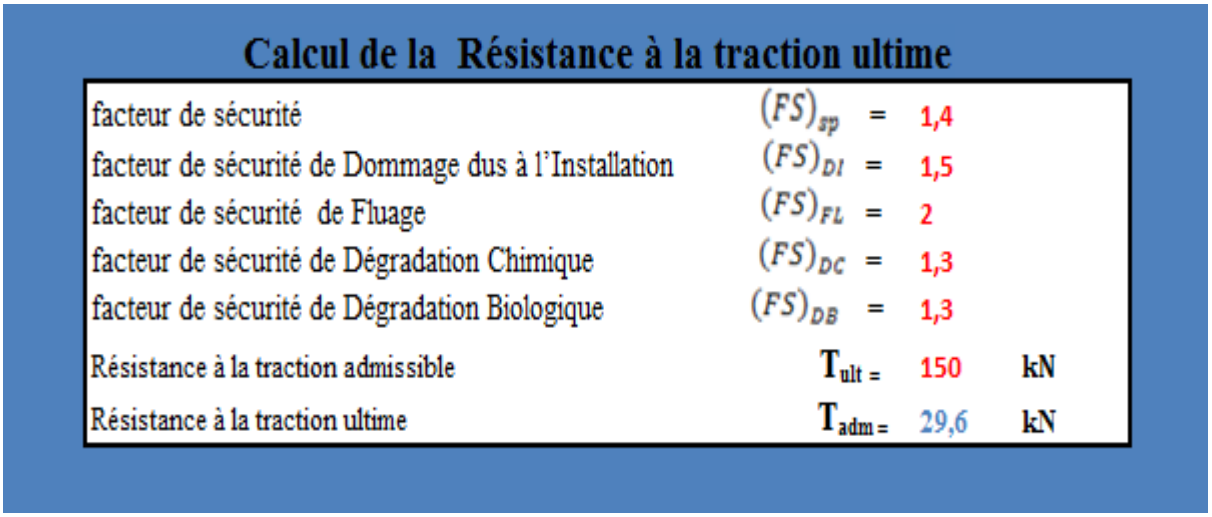


Figure V. 11: La Troisième partie du deuxième Classeur.

Cette partie pour entrer les différents facteurs de sécurité ($(FS)_{DI}$, $(FS)_{FL}$, $(FS)_{DC}$, $(FS)_{DB}$) et la résistance à la traction ultime (T_{ult}) on lui a attribué la couleur rouge.

Et pour ce qui est de la valeur affiché en bleu, elle concerne le résultat de calcul de la résistance à la traction admissible (T_{adm}) après le calcul.

4. **La quatrième partie :** « Calcul de l'espacement vertical »

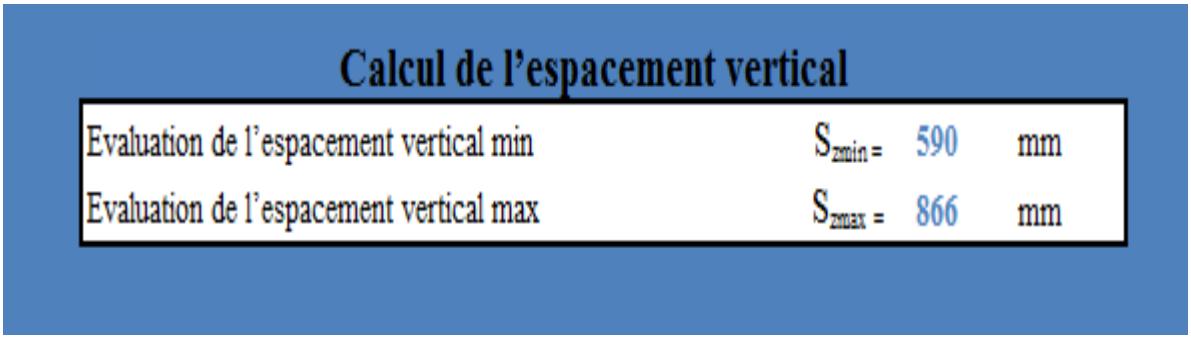
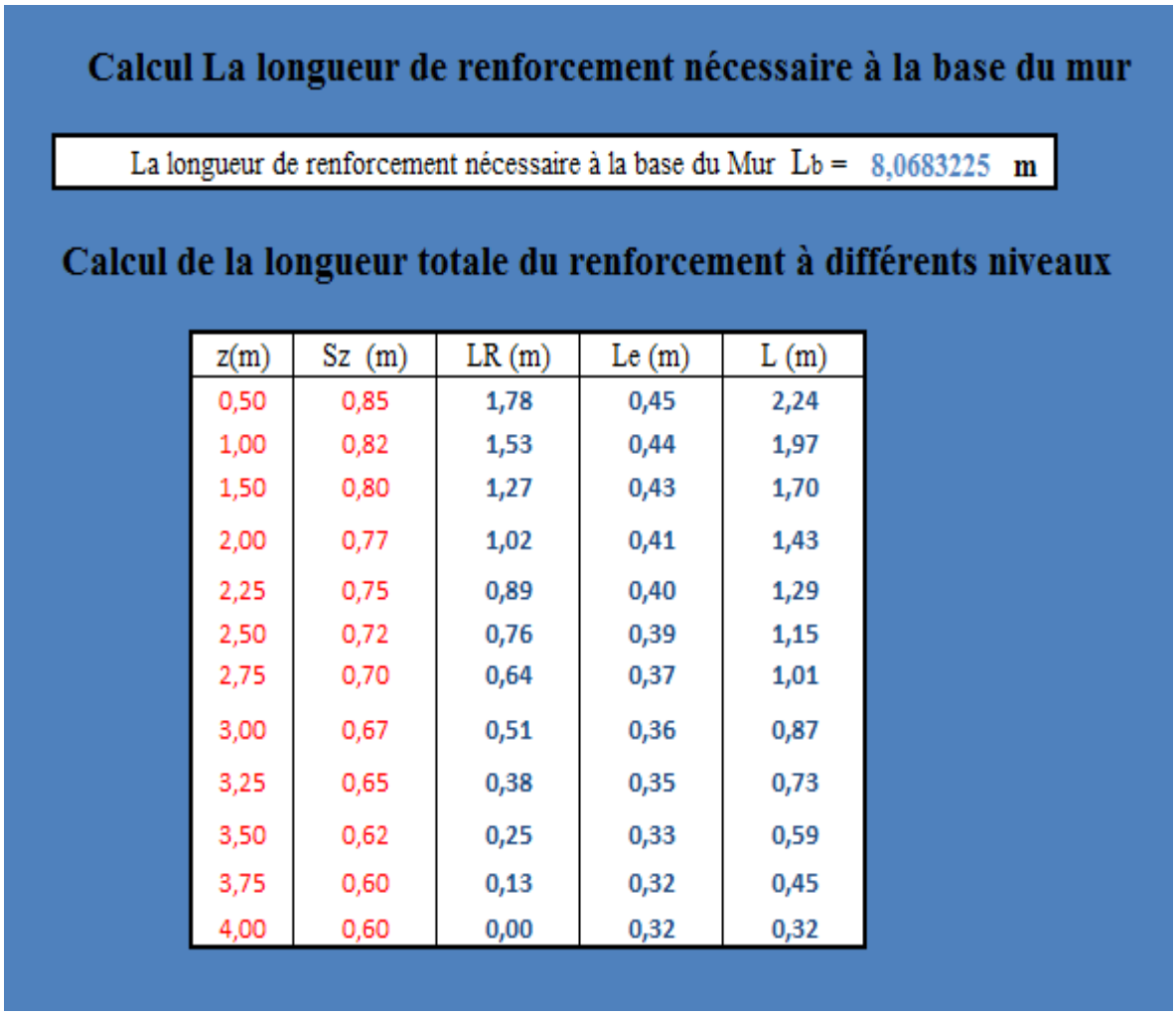


Figure V. 12: La quatrième partie du deuxième Classeur.

Dans cette partie le programme calcule l'évaluation de l'espacement vertical max et min et affiche le résultat en bleu.

5. **La cinquième et dernière partie:** « Calcul de la longueur de renforcement nécessaire à la base du mur et la longueur totale du renforcement à différents niveaux »



z(m)	Sz (m)	LR (m)	Le (m)	L (m)
0,50	0,85	1,78	0,45	2,24
1,00	0,82	1,53	0,44	1,97
1,50	0,80	1,27	0,43	1,70
2,00	0,77	1,02	0,41	1,43
2,25	0,75	0,89	0,40	1,29
2,50	0,72	0,76	0,39	1,15
2,75	0,70	0,64	0,37	1,01
3,00	0,67	0,51	0,36	0,87
3,25	0,65	0,38	0,35	0,73
3,50	0,62	0,25	0,33	0,59
3,75	0,60	0,13	0,32	0,45
4,00	0,60	0,00	0,32	0,32

Figure V. 13: La cinquième partie du deuxième Classeur.

La dernière Partie divisée en deux :

La première sous forme de ligne pour afficher le résultat de calcul de la longueur de renforcement nécessaire à la base du mur : en bleu.

Et l'autre sous forme de tableau de 5 colonnes et le nombre de lignes n'est pas fixé.

La première colonne sert à entrer les profondeurs (z) et la deuxième pour entrer les valeurs de l'espacement vertical (Sz) entre les nappes de géogrille, on lui attribué la couleur rouge.

La troisième, la quatrième et la cinquième colonnes servent à calculer les différentes longueurs (**LR, Le, L,** successivement**)** correspondant à chaque profondeur (z) dont on a affiché les résultats en bleu.

Remarque :

Chaque valeur dans ces deux classeurs d'Excel est fixée par une unité affichée à la droite de chaque valeur. Pour cela il faut vérifier les unités de chaque valeur avant de l'insérer pour réaliser des résultats vrais.

V.6.Application :

Etude des glissements sur RN 64 & 08



Figure V.14 : Route national 64C PK 100+00.

La photo montre un glissement sur la RN 64C entre El Aissaouia et Deux bassins (Tablat) PK 100+ 00 ; ce glissement peut être traité par un soutènement en gabion renforcé par des géogrilles.

Dans cette application ou bien l'exemple on a testé le fonctionnement de notre programme.

- Pour vérifier la stabilité du mur gabion sans renforcement on a utilisé le premier classeur « Analyse de la stabilité de mur de soutènement Gabion ».
- Et pour calculer les longueurs du renforcement par géogrilles à différents niveaux nous avons utilisé le deuxième classeur « Calcul d'un renforcement par géogrilles »

V.6.1.Calcul Pratique :

V.6.1.1.Calcul de la stabilité de mur sans renforcement :

1. **Le schéma de calcul :**

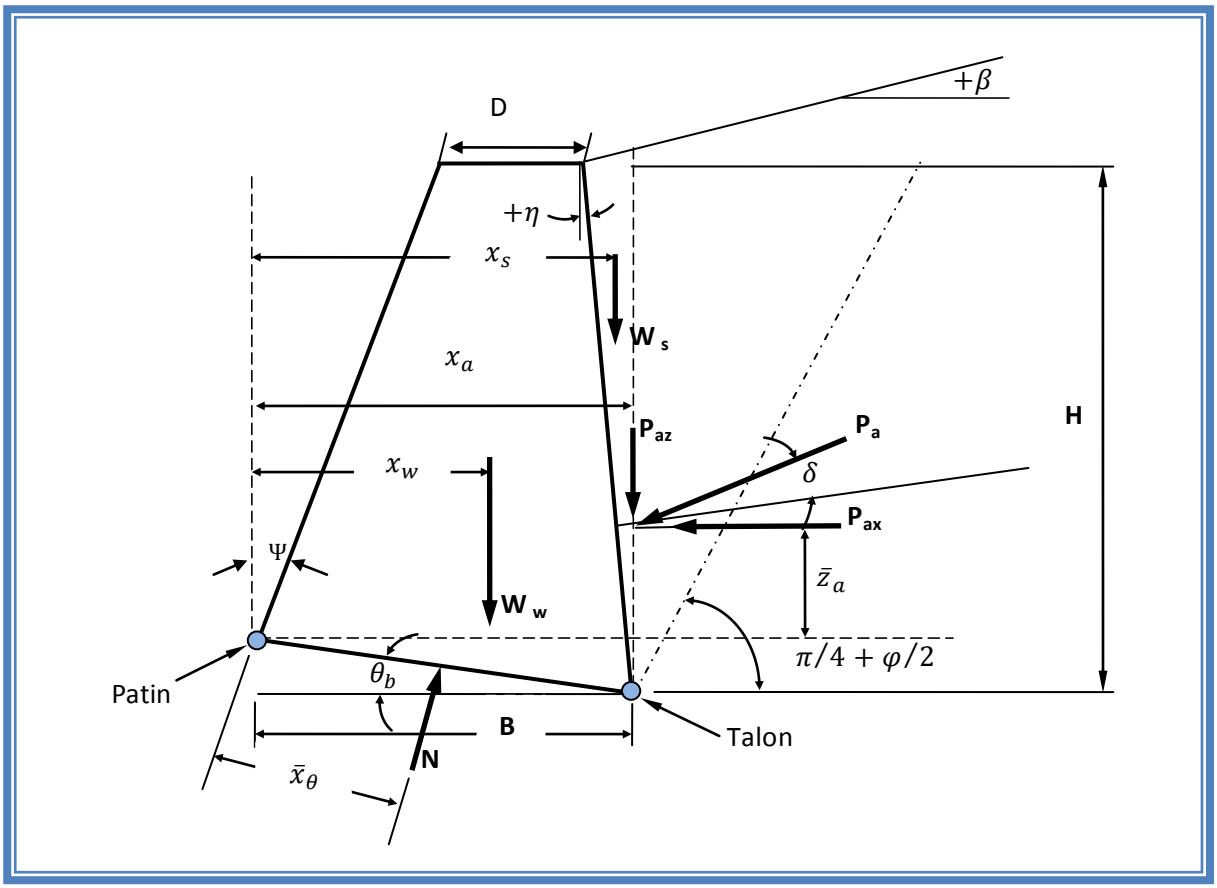


Figure V.15 : les forces principales agissant sur le gabion.

2. Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai :

Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai

	Sol de fondation	Remblai	
Nature du sol	Argile schisteuse grisâtre	Matériau granulaire bien compacté	unité
γ	18	22	kN/m^3
ϕ	15	36	degré
C	15	0	kN/m^2
Angle caractérisant l'interface mur-sol de fondation	$\phi_b = 10$ (1/3 à 2/3 (18))		degré

3. Les paramètres de calcul :

Les différents paramètres de calcul sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau V.2 : Les paramètres de calcul

Hauteur du mur (H)	4	m
Largeur du mur (B)	3	m
Charge q	50	KPa
η	0	Degré
δ	24	Degré
β	0	Degré
θ_b	0	Degré
Ψ	0	Degré

4. Les résultats de calcul :

Les résultats des calculs par le classeur programmé nous a donné les résultats suivants :

Tableau V.3 : les résultats de calcul

$K_a =$	0,2348904	
$K_P =$	11,145769	
$P_a =$	80,802293	KN
$P_{ax} =$	73,816568	KN
$P_{az} =$	32,865254	KN
$W_w =$	240	KN
$W_s =$	0	KN
$x_w =$	1,5	m
$x_s =$	3	m
$x_a =$	3	m
$\bar{z}_a =$	1,3333333	m
$(FS)_T =$	0,609619239	
$\bar{x}_\theta =$	1,319968978	
$e =$	0,180031022	
$\sigma_{max} =$	123,7045581	KN/m2

5. Vérification de la stabilité :

La vérification de stabilité de mur par le classeur qui est programmée donnée les résultats suivants :

1) $(e = 0.1800 \quad < B/6 = \quad 0.5 \quad)$

Le mur est stable vis-à-vis le renversement ($e < B/6$).

2) $(FS)_T = 0{,}609619239 < 1.5$

Le mur n'est pas stable vis-à-vis le glissement. $(FS)_T < 1.5$.

3) $\sigma_{max} = 123{,}7045581 \leq q_a = 200$

Le mur est Stable vis-à-vis au poinçonnement du sol $(\sigma_{max} \leq q_a)$.

Il faut donc renforcer le mur par les géogrilles.

V.6.1.2.calcul de stabilité avec renforcement (utilisation des Géogrille) :

1. Le schéma de calcule :

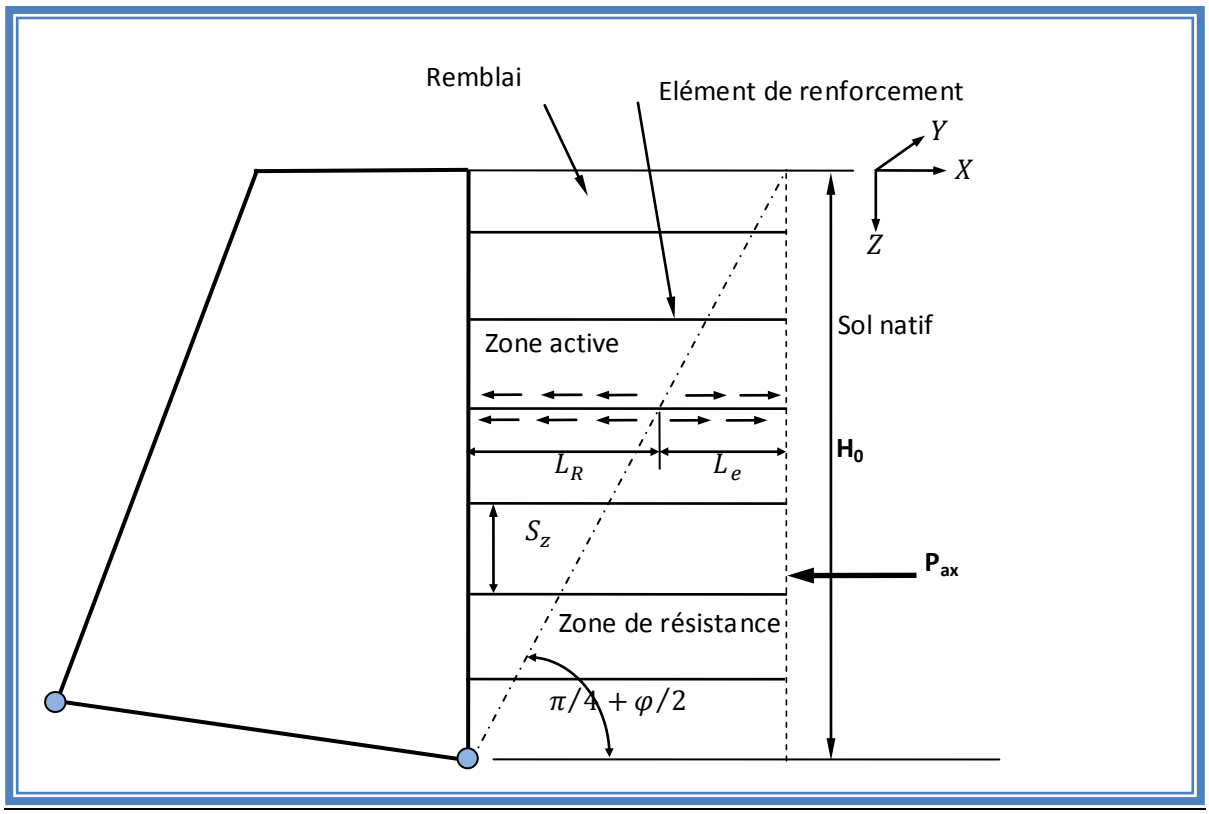


Figure V.16 : schéma de calcule.

2. Calcul de la Pressions latérale de terre :

A. Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai :

Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau V.4 : Les caractéristiques du sol de fondation et du remblai

	Sol de fondation	Remblai	
Nature du sol	Argile schisteuse grisâtre	Matériau granulaire bien compacté	unité
γ	18	22	kN/m^3
ϕ	15	36	degré
C	15	0	kN/m^2
Angle caractérisant l'interface mur-sol de fondation	$\phi_b = 10\ (1/3$ à $2/3\ \ (18))$		degré

B. Les paramètres de calcul :

Les différents paramètres de calcul sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau V.5 : Les paramètres de calcul

Hauteur du mur (H)	4	m
Largeur du mur (B)	3	m
Charge q	50	KPa
η	0	Degré
δ	24	Degré
β	0	Degré
θ_b	0	Degré
Ψ	0	Degré
δ_i	20	Degré

C. Les résultats de calcul :

Le calcul de la pression latérale de terre par le classeur qui est programmé a donné Les résultats suivants :

Tableau V.6 : Les résultats de calcul

$K_{ac} =$	0,2348904	
$K_{aR} =$	0.2596	
$K_P =$	11,145769	
$P_a =$	80,802293	KN
$P_{ax} =$	73,816568	KN
$P_{az} =$	32,865254	KN

3. Calcul de la Résistance à la traction admissible :

Les différents facteurs de sécurité sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau V.7 : Les différents facteurs de sécurité

	Signification	**Valeurs**
$(FS)_{DI}$	Dommage dus à l'Installation	1.5
$(FS)_{FL}$	Fluage	2
$(FS)_{DC}$	Dégradation Chimique	1.3
$(FS)_{DB}$	Dégradation Biologique	1.3
$(FS)_{sp}$	facteur de sécurité	1.4

La résistance ultime $\mathbf{T_{ult}}$ **= 150 KN**/m

Le résultat de calcul de la résistance à la traction admissible $\boldsymbol{T_{adm}}$ = **29.6** KN/m

4. Calcul de l'espacement vertical :

Les résultats de calcul :

Evaluation de l'espacement vertical min $S_{z\,min}$ =590 mm.

Evaluation de l'espacement vertical max $S_{z\,max}$ =866 mm.

5. Calcul La longueur de renforcement nécessaire à la base du mur :

La longueur de renforcement nécessaire à la base du Mur L_b = 8.07 m

6. Calcul de la longueur totale du renforcement à différents niveaux :

On à résumé les donnée et résultat de calcule dans un tableau qui

- Les données et les valeurs de : Z et S_z
- Les résultats et les longueurs : LR, Le, L

Tableau V.8 : Les résultats de calcule les longueurs de renforcement.

z(m)	Sz (m)	LR (m)	Le (m)	L (m)
0,50	0,85	1,78	0,45	2,24
1,00	0,82	1,53	0,44	1,97
1,50	0,80	1,27	0,43	1,70
2,00	0,77	1,02	0,41	1,43
2,25	0,75	0,89	0,40	1,29
2,50	0,72	0,76	0,39	1,15
2,75	0,70	0,64	0,37	1,01
3,00	0,67	0,51	0,36	0,87
3,25	0,65	0,38	0,35	0,73
3,50	0,62	0,25	0,33	0,59
3,75	0,60	0,13	0,32	0,45
4,00	0,60	0,00	0,32	0,32

Chapitre VI

Conclusions générales

Conclusions générales :

Les différentes techniques de soutènement de type traditionnel notamment les murs pois, parois moulées, rideaux de palplanches..., utilisées à travers le monde coutent très chères aux collectivités et restent difficilement maitrisables nécessitant une technicité élevée, c'est pourquoi les ingénieurs ont été contraint d'améliorer ces procédés et optimiser les couts. Des essais et des tentatives ont été faits pour optimiser ces procédés notamment l'utilisation des géosynthétiques qui demeure jusqu'à présent une solution rentable et efficace à ce genre de problème.

Les techniques de renforcement par géosynthétiques ont permis de répondre aux exigences et aux objectifs des donneurs d'ordre en offrant des solutions alternatives avec de nombreux avantages. En effet, elles sont simples à mettre en œuvre, les structures sont souples dans leurs fonctionnements et elles contribuent à la préservation de la ressource naturelle.

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

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

La solution qu'on a traité est représenter par le renforcement des murs de soutènement par des géogrilles est simple, moins couteuse, efficace, et constituent une solution de rechange moins encombrante que les murs de soutènement traditionnels. En plus de ca le mur gabion toujours garde ses avantages comme la simplicité de mise en œuvre, possibilité d'utiliser des matériaux décoratifs...etc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Technique de l'ingénieur : Murs de soutènement par François Schlosser.

[2] : Malorie Jacquelin : Conception et calcul des murs de soutènement en terre armée Institut Supérieur du Bâtiment et des Travaux Publics Année 2005- 2006.

[3] : HADJ Abderrahmane Saida : Etude de l'interaction d'un rideau de palplanches avec le sol de fondation pour les ouvrages portuaires. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou.

[4] : Technique de l'ingénieur, Pieux et palplanches par Pierre Bousquet.

[5] : Noureddine Chelghoum.les ouvrages de soutènement en mécanique des sols. Publications de l'université Badji mokhtar Annaba 2006.

[6] : Sétra : Typologie des ouvrages de soutènement liste II. Article, p1-113.

[7] : Technique de l'ingénieur : Renforcement des sols par inclusions par :François Schlosser et Philippe Unterreiner .

[8] : RABAH. Arab, Généralités sur les géosynthétiques. Article, p1-21.AFITAX. 2006.

[9] : Rabah. Arab, Les géosynthétiques fonctions et domaines d'applications Article, p1- 49.AFITAX.

[10] : Boulfoul Khalifa : Etude numérique sur l'effet de l'espacement des géogrilles sur les mécanismes de rupture des murs en sol renforce .Mémoire de Magister .Université el Hadj Lakhdar Batna.2011-2012.

[11] : Mamen Belgacem : Etude par éléments finis de capacité portant d'une fondation filante reposant sur un sable renforce par géogrilles .Mémoire de Magister .Université el Hadj Lakhdar Batna 2009-2010.

[12] : TALAICHE Zoheir **:** Analyse probabiliste de la stabilité d'un talus renforce par Géotextiles .Mémoire de Magister .Université Dr.Yahyia Fares de Médéa 2010-2011

[13]: LCPC : Recommandations pour l'inspection détaillée le suivi et le diagnostic des ouvrages de soutènement en parois composites. Guide technique .12/2003.

[14]: France Maccaferri: Engineering a better solution produits. 2012. Article, p1-p12.

[15]: Robert M.Koerner , Designing with géosynthetics .2005

[16]: Mechanical stabilized earth walls and other retaining walls .Chapter 11 p1-p17.

[17]: Thomas Telford, Géosynthetics and their applications.2002.

[18] : Modular Gabion Systems-Desingn-Guide p1-p14.

www.elsevier.com/locate/geotexmem

www.geosynthetics-inyernational.com

www.goesyntheticssociety.org

www.afitex.com

www.afitexalgerie.com