Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique

Université Docteur Yahia Farès de Médéa



Faculté des sciences et de la technologie

Département Génie civil

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme

de MASTER en génie géotechnique

Thème

Etude de renforcement de corps de chaussée par géogrille

Proposé et dirigé par :

Dr. MENAA Lazizi

Réalisé par :

Mr. BOUDOUANI Rafik

Mme .OTMANI HASNAOUI Hadjer

Juin 2012

Remerciements

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur « Dr. MANAA Lazizi» pour l'aide en documentation, pour ses précieux conseils qu'il nous a apportés durant la préparation de cette étude.

Nous remercions également tous nos enseignants du département de génie civil ainsi que les membres du jury pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qu'ils m'ont donnés le long de mon parcours et je leurs souhaite une bonne santé et une longue vie.

A mes frères.

A tous mes enseignants qui ont fait leurs possibles pour me donner le maximum d'informations concernant mon travail.

BOUDOUANI Rafik

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, pour leur soutien et leur patience et tous les efforts qu'ils m'ont donnés tout au long de mon parcours et je leurs souhaite une longue vie et une bonne santé.

A mon frère Abd El Aziz.

A mon mes sœurs Sarah et Farah.

A mes enseignants qui m'ont aidé, conseillé et soutenue.

A tous tout ceux qui m'ont aidé dans mon mémoire et à ceux qui m'ont aidé à atteindre ce niveau académique.

Hadjer OTMANI HASNAOUI

Résumé

L’objectif de ce travail consiste à évaluer l’apport, en termes de portance de la chaussée, des géogrilles biaxiales intercalées entre les couches de chaussées en tant que matériaux de renforcement. Cette étude est menée en modélisant une chausséesouple neuve sur la section S3 choisies au niveau du dédoublement de la RN01 dans la Wilaya de Médéa. La géogrille est intercalée entre les différentes couchesconstituant la chaussée en faisant diminuer les épaisseurs des ces couches l’une aprés l’autre. Les résultats recueillis sont comparés entre eux (chaussée sans renforcement et chaussée renforcée par géogrille) pourvoir l’efficacité du renforcement.

Cette étude a mis en évidence l’augmentation de la portance des couches de la chaussée, la réduction et le ralentissement des fissures ascendantes des couches inférieures vers la couche de surface, ce qui répercute positivement sur la durée de vie de la chaussée.

Summary

The purpose of this study is to evaluate the input of the geogrid as reinforcement materials on the support of the road surface.

This study is made by modeling the flexible road way on RN 01 of Medea wilaya on S3 Section.

We have modulated the intercalation of biaxial geogrid between two layers of flexible roadway and then we have reduced thickness of the two layer and we have compared the results.

This studyhas highlightedtheincrease of the support ofroadway layers, reducingcracksand slowingascending cracks of the lower layerstothe surface layer, which reflectedpositivelyonthe lifeof the roadway.

ملخص

الهدف المنشود من هذه الدراسة هو تقدير الإضافة من ناحية تحمل قارعة الطريق، الشبكة الأرضية المشكلة المدخلة ما بين طبقات قارعة الطريق كمواد تقوية. هذه الدراسة تمت عن طريق نمذجة قارعة الطريق المختارة بدون الشبكة الأرضية و المقواة بالشبكة الأرضية من المقطع 3 على الطريق الوطني رقم 01 بولاية المدية. الشبكة الأرضية المشكلة مدخلة ما بين الطبقات المختلفة المكونة لقارعة الطريق مع تخفيض سمك هذه الطبقات الواحدة تلو الأخرى. **النتائج المس**جلة تمت مقارنتها فيما بينها من أجل تقدير فعالية التقوية.

هذه الدراسة وضحت في الرفع من ناحية تحمل قارعة الطريق، الانقاص و **تأخير** ظهور الشقوق الصاعدة من الطبقات السفلى نحو طبقة السير. ظواهر تنعكس إيجابيا على مدة حياة قارعة الطريق.

Sommaire

Introduction.....1

Introduction.....2

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I :Chaussées, Géotechnique routière

I.1.Généralites sur les structures de chaussées : 3

I.1.1. Définition d'une chaussée : 3

I.1.2. Structure d'une chaussée : 3

1. La couche de forme : 4

2. Les couches d'assise : 4

3. La couche de surface : 4

I.1.3. Les différents types de chaussée **:** 5

1. Chaussée souple : 5

2. . Les chaussées semi-rigides : 6

3. Chaussée rigide : 6

I.1.4. Dimensionnement des corps de chaussées **:** 7

1. Facteurs influençant sur le dimensionnement des corps de chaussées **:** 7

Le trafic **:** 7

Environnement **:** 8

Le sol support **:** 8

Matériaux **:** 8

2. Les principales méthodes de dimensionnement **:** 9

I.1.5. Principaux modes d'endommagement des chaussées**:** 14

1. Couche de roulement **:** 14

2. . Couches d'assise traitées : 14

3. Couches d'assise non liées et support de chaussée (mécanisme d'endommagement structural) **:** 15

II:Les Géosynthétiques

II.2. Généralités sur les géosynthétiques**:** 17

Introduction: 17

II**.2.1.**Définition d'un géosynthétique **:** 17
II.2.2.. Types de géosynthétiques : 18
1. Lesgéotextiles : 20
Lesgéotextiles non-tissés: 21
Lesgéotextilestissés: 22
Lesgéotextilesricotés: 23
2. Lesgéocomposies : 23
3. Lesgéogrilles : 24
II.2.3. Les applications de sgéosynthétiques**:** 28
1.Séparation: 28
2.Filtration: 28
3.Séparation: 29
4.Les géogrilles de lutte contre l'érosion et la remontée des fissures **:** 30
5.Renforcement de sol : 30
- ✓ **Méthodes de renforcement:** 31
- Objectif et fonction du renforcement**:** 31
- ✓ **Mécanisme de renforcement:** 32
- Spécifications pourles géosynthétiques de renforcement**:** 33
- ✓ **Conditions de mise en œuvre:** 34
- ✓ **Préparation de la surface:** 36

II.2.4. Mise en place des géosynthétiques**:** 36
1.Assemblage des nappes: 37
2.Recouvrement du géosynthétique: 38
3.Surveillance et inspection en chantier**:** 39
I.2.5.Renforcement granulaire avec géogrille biaxiale **:** 39
I.2.6.Renforcement du sol support **:** 41
I.2.7.Renforcement de fondation granulaire **:** 41
I.2.8.Utilisation des géogrilles à base de fibre de verre **:** 42
1.Fibre de verre : 42
1.Utilisation de la fibre de verre en renforcement des chaussées souples **:** 42
II.2.9.Perspectives : 43

II.2.10.Conclusion : 43

CHAPITRE II : MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT D'UN CORPS DE CHAUSSEE RENFORCEE

Introdction: 44

II.1. Calcul Alizé : 44

II.1.1. Objet du logiciel Alizé : 44

II.1.2. Démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées : 45

II.1.3. Structure et fonctionnalités du logiciel : 46

1. Description du moteur de calcul Alizé: 46

II.2. Calcul « PLAXIS » : 49

II.2.1. Présentation du logiciel « PLAXIS » **:** 49

II.2.2. Les modèles de comportements utilisés : 49

1. Comportement élastoplastique: 49

II.2.3. Conclusion : 51

CHAPITRE III : ETUDE D'UN CAS

III.1. Problématique: 51

III.1.1.Description du problème: 51

III.1.2.SituationduProjet (Site): 51

III.1.3. Rapport d'essais en laboratoire 52

III.2. Calcul par le logiciel « ALIZE »: 54

III.2.1. Calculs et dimensionnement de la chaussée: 54

1. **Sollicitations dues au trafic:** 54

2. Valeurscaractéristiquesdedimensionnement: 54

3. **Caractéristiquesdessol-supports:** 55

4. Caractéristiques des matériaux de la chaussée: 55

5. Méthodologie de dimensionnement structural: 56

6. **Calcul des déformations admissibles:** 56

7. Calcul des déformations sous le chargement standard et selon les caractéristiques des matériaux de la structure de chaussée et du sol-support: 57

8. **Validation des structures de chaussées:** 57

9 **. Chaussée souple: RN01:** 57

III.2.3. Résultats: 58

1 . Dimensionnement des structuresde chaussées:..... 58

III3. Calcul par le logiciel « Plaxis »:..... 63

Introduction: 63

III.3.1. Données géométriques du modèle: 63

III.3.2. Propriétés des matériaux du modèle: 64

III.3.3. Calculs:..... 65

1 **. Présentation du modèle étudié:** 65

2 **. Maillage et conditions aux limites:** 65

3 **. Analyse:** 66

4 **. Résultats:**..... 66

- ✓ **Chaussée souple non renforcée:** 66
- ✓ Chaussée souple renforcée avec des géogrilles bx 1100:..... 70
- ✓ Chaussée souple renforcée par géogrilles bx 1100 avec une épaisseur réduite de 40 % dans la couche de fondation, et de 25% de couche de basse:..... 72
- ✓ Chaussée souple renforcée par géogrilles bx 1100 avec une épaisseur réduite de 40 % dans la couche de fondation et 25% de couche de base et 25% de la couche de roulement: 75

III.3.4. Analyse des résultats d calcul par « Plaxis»:..... 78

Conclusion: 79

Conclusion générale :..... 80

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

Annexe:

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Nous donnons ci-dessous les principales notations et abréviations utilisées dans ce mémoire

Liste des lettres Grecques

ν Coefficient de Poisson
ψ Angle de dilatance
γ drayPoids volumique Humide.
γ sat Poids volumique saturé.
ε_t Déformation tangentielle à la base de la nouvelle couche du BB
$\varepsilon_{t,adm}$ Déformation tangentielle admissible
ε_z Déformation verticale au niveau du sol support
$\varepsilon_{z,adm}$ Déformation verticale admissible au niveau du sol support
ε Déformation
γhPoidsvolumiquehumide
γd Poidsvolumiquesec
cCohésion
φ Angledefrottement
σ_{max} Contrainte maximal
ε_{max} Déformation maximal

Liste des lettres Latines

E_θ Module à une température θ°C, 10Hz
R Réaction normale au sol due à la charge sur roue
TPL Trafic Poids Lourd
TJMA Trafic Journalier Moyen Annuel
PL Poids Lourd
Tms Trafic Poids Lourds de l'année de mise en service
Tce Trafic cumulé écoulé
Te Trafic cumulé écoulé supporté par l'ancienne chaussée
Tg Trafic global
Ti Classe i du trafic de calcul de l'année de mise en service
CU Charge utile en tonnes
N Durée de vie escomptée prévisionnelle
NE Trafic équivalent
T° Température en degré °
f Fréquence en [Hz]
CBR indice de portance californien (California bearing ratio)
EV1 module de déformation statique à la plaque pour le premier cycle de chargement
EV2 module de déformation statique à la plaque pour le deuxième cycle de chargement
K Le rapport de deux Module sous chargement statique à la plaque
K_0Coefficient des terres au repos

Ic indice de consistance

Ip indice de plasticité

K Coefficient en fonction du type du revêtement

b Pente de la droite de fatigue

S_N Dispersion sur la loi de fatigue

S_h Dispersion sur les épaisseurs de mise en œuvre (en cm)

K_cFacteur lié au calage des résultats du modèle avec le comportement observé sur chaussée.

K_r Coefficient de risque

K_S Défaut de portance

Kne Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes suporté par la chaussée

dc Déflexion caractéristique en 1/100 mm

TCEi Trafic cumulé en essieux équivalents de 13 tonnes

Si Classes de portance de sol support

Δh Variation aléatoire d'épaisseurs

A Coefficient d'agressivité d'un Poids Lourd

E Module d'Young

EA Rigidité normale

Eéq Module d'Young équivalent

Ux Déplacement suivant l'axe x

Uy Déplacement suivant l'axe y

Liste des abréviations

RP Réseau Principal

BLI Poutre de Benkelman

PK Point Kilométrique

BB Béton bitumineux

GB Grave Bitume

GNTla couchedegravesnontraitées

BBSG Béton bitumineux Semi-Grenus

BBME Béton bitumineux à Module Elevé

BBS Béton Bitumineux Souple

LCPCLaboratoireCentraldes Pontset Chaussées

MEF Méthode des Eléments Finis.

Liste des figures

Figure I.1 : Structures de chaussée, terminologie 3
Figure I.2: Structure type d'une chaussée souple 5
Figure I.3:Structure type d'une chaussée semi-rigide 6
Figure I.4 : Structure type d'une chaussée rigide 7
Figure I.5 : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves 13
Figure I.6: Mode de dégradation de la couche de roulement 14
Figure I.7 : Modes de dégradation : Couches d'assise traitées 15
Figure 1.8: Principaux modes d'endommagement des chaussées 16
Figure I.9 : Coupe type chaussée urbaine 18
Figure1.10 : Image agrandis d'une géocellules 18
Figure 1.11 : Exemple de géocomposite 19
Figure I.12 : Les géosynthetiques les plus utilisés 19
Figure I.13 : Lesgéotextilestissés 23
Figure I.14 :Géocomposite 24
Figure I.15 : Géogrille extrudé 25
Figure1.16 : Géogrille tissé 26
Figure1.17 : Géogrilles mono-axiales 26
Figure I.18 : Géogrilles bi-axiales 26
Figure I.19 : L'enchevêtrement des grains dans une géogrille rigide (a) et souple (b) 27
Figure I. 20 : L'utilisation desgéosynthétiques dans la séparation et filtration 29
Figure 1.21 : Géosynthétiques en drainage et filtration 30
Figure 1.22 : Applications de géosynthétiques comme drains et filtres 30
Figure I.23 : Les géogrilles anti-érosion 30
Figure I.24. : Renforcementde sol 31
Figure I.25 : Mécanisme de renforcement par geosynthetique 32
Figure I.26 : Essai de traction 34
Figure 1.27 : Comportement typique d'une inclusiongéosynthétique à la traction 34
Figure I.2.8 : Boîte de cisaillement 35
Figure I.29: Mise en place d'un géogrille dans une couche 37

Figure I.30: Sens de chevauchement des nappes 38
Figure I.31. : Verrouillage mécanique dune géogrille 39
Figure I.32 : Comparaison du verrouillage mécanique à un triangle de Billiard 40
Figure I.33 : Répartition des charges dans une chaussée 40
Figure I.34 : Effet de la raquette 41
Figure I.35 : Renforcement de fondation dune chaussée 42
Figure II.1 : Démarche générale du dimensionnement alize-lcpc 45
Figure II.2 : Moteur de calcul Alizé –problème traité, exemple 47
Figure II.3 : Modèle monodimensionnel du comportement élastoplastique 49
Figure II.4: Représentation du comportement élastique parfaitement plastique 49
Figure II.5 : Représentation du comportement élastoplastique avec écrouissage 49
Figure III.1 : Situationapproximative de lasection 3 51
Figure III.2: Structure de corps de la chaussée étudiée 58
Figure III.3 : Définition de la structure de chaussée 60
Figure III.4 : Résultats du calcul mécanique 61
Figure III.5 : Calcul de valeurs admissibles EpsiT 61
Figure III.6 : Calcul de valeurs admissibles EpsiZ 62
Figure III.7: Bibliothèque des matériaux GNT et sol support 62
Figure III.8 : Bibliothèque des matériaux bitumineux 62
Figure III. 9 : La géométrie du problème 63
Figure III.10 : Génération du maillage sans renforcement 65
Figure III.11: Génération du maillage avec renforcement 66
Figure III.12 : Déplacement total dans la chaussée non renforcéea) et b) 67
Figure III.13 : Déplacement total sous la base de GB2 de la chaussée non renforcée 68
Figure III.14 : Déplacement total sous la base de GNT de la chaussée non renforcée 68
Figure III.15 : Déformation totale dans la chaussée non renforcée 69
Figure III.16 : Contrainte totale dans la chaussée non renforcée 69
Figure III.17 : Déplacement total dans la chaussée renforcée 70
Figure III.18 : Déplacement total sous la base de GB2 de la chaussée renforcée 70
Figure III.19 : Déplacement total sous la base de GNT de la chaussée renforcée 71
Figure III.20 : Contrainte totale dans la chaussée renforcée 71

Figure III.21 : Déformation totale dans la chaussée renforcée.....72

Figure III.22 : Déplacement total dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2 72

IFigure III.23 : Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de la couche de GB2 de 15cm.....73

Figure III.24: Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de la couche de GNT de 24cm.....73

Figure III.25 : Déformation totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2 74

Figure III.26 : Contrainte totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2 74

Figure III.27 : Déplacement total dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2, et de 25% de la couche de roulement.....75

Figure III.28: Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de GB2 76

Figure III.29 : Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de GNT.....76

Figure III.30 : Déformation totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2, et de 25% de la couche de roulement.....77

Figure III.31 : contrainte totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2, et de 25% de la couche de roulement 77

Liste des tableaux

Tableau I.1**:**Coefficients d'équivalence pour chaque matériau 9

Tableau1.2**:**Déterminationdelaclassedetrafic 10

Tableau.1.3**:**Déterminationdelaclassedusol selon l'indice CBR 10

Tableau I.4 : Renforcement de chausse à l'aide des géogrilles..... 23

Tableau I.5 : Exigences mecaniques (longitunal et transversal) pour les géosynthétiques de renforcement 34

Tableau II.1 : Les valeurs Smaxj selon la nature du matériau..... 47

Tableau III.1 : Référence : GOOGLE EARTH..... 52

Tableau III.2 : Résultats des essais au laboratoire 52

Tableau III.3 :Résultats de l'essai de chargement a la plaque dans la section S3 de pk 0+000 au pk 1+550 (référence GTR)..... 53

Tableau III.4: Volumes de trafic lourd. Données obtenues de l'étude APD..... 54

Tableau III.6 : Caractéristiques des matériaux routiers 55

Tableau III.7: Dimensionnement de la chaussée étudiée..... 56

Tableau III.8: Paramètres de dimensionnement structural..... 56

Tableau III.9 : Dimensionnements de la chaussée souple étudiée 57

Tableau III.10 : Déformations notées dans la chaussée étudiée sur Alizé 57

Tableau III.11 : caractéristiques mécaniques du sol support 64

Tableau III.12 : caractéristiques mécaniques de la couche de fondation 64

Tableau III.13: caractéristiques mécaniques de la couche de base 64

Tableau III.14: caractéristiques mécaniques de la couche de roulement 64

Tableau III.15: Propriété du matériau géogr 64

Tableau III.16: Charges et surcharges 64

Tableau III.17 : Comparaison des résultats obtenus 78

INTRODUCTION GENERALE

La région du Nord d'Afrique et en particulier l'Algérie a connu une forte croissance socio économique d'où une demande croissante et rapide dans le déplacement surtout après l'indépendance, où l'Algérie est devenue une zone commerciale importante.

Par ailleurs l'augmentation exponentielle du trafic routier, l'énorme sollicitation des chaussés du réseau routier et la qualité moyenne a crée d'important problèmes dont la diminution de la durée de vie des chaussée et son impact sur la qualité et la sécurité des usagés.

À cet égard, on est amené à penser à augmenter la durée de vie des chaussées par l'introduction de techniques innovantes menant à éliminer ou plutôt diminuer les risques des dégradations, tells que l'orniérage et la fissuration et les différentes anomalies qui, abaissent considérablement la qualité de la chaussée et à son niveau de service rendu.

Le travail présenté dans ce mémoire, consiste en l'étude du renforcement d'une chaussée neuve (souple) par les géogrilles bi-axiales, dans le but d'améliorer sa portance, de retarder sa dégradation et augmenter sa durée de vie, tout en assurant un gain en matériaux constituant la chaussée. Le tronçons de la chaussée renforcée est choisie sur la section S3 au niveau du dédoublement de la RN01 dans la Wilaya de Médéa.

La solution proposée consiste à intercaler des géogrilles entre les différentes couches du corps de la chaussée, tout en faisant diminuer leurs épaisseurs; enfin, on évaluera l'apport du renforcement par les géogrilles dans la conception du tronçon de la chaussée en question.

Le présent mémoire est structuré en 03 chapitres : Un premier chapitre, consacré à la recherche bibliographique, comprent des généralités sur les chaussées et leurdimensionnement, leurs modes d'endommagement, l'utilisation et le comportement des géosynthétiques d'une façon globale et les géogrilles biaxiales d'une façon particulière.

Un deuxième chapitre, présentant les methodes de calcul et de dimensionnement des chaussées en exposant les logiciels "Alize-lcpc " et "Plaxis 8.2" utilisés au chapitre ultérieur.

Un troisième chapitre est consacré à l'étude de cas du tronçon de la chaussée décrit

plus haut; on présente les différentes phases de la modélisation et de dimensionnement d'une chaussée souple par le logiciel "Alize-lcpc " avec une verification maniant le logiciel "Plaxis 8.2", en considérant tout d'abord le cas de la chaussée sans puis avec renforcement par géogrille, avec diminution progressive des épaisseurs des couches de la chaussée.

Enfin, une conclusion générale, sur de la présente etude, est placée à la fin du mémoire avec des éventuels recommandations et perspectives.

I: Chaussées, Géotechnique routière

I.1. Généralités sur les structures de chaussées

I.1.1. Définition d'une chaussée :

Au sens structural ,une chaussée est l'ensemble des couches de matériaux superposées et mises en œuvre de façon à permettre la reprise et la répartition des charges extérieures (de roulement).

I.1.2. Structure d'une chaussée :

La chaussée doit permettre de reprendre les contraintes provoquées par les charges extérieures et de les répartir sur le sol support de façon à ne pas provoquer de déformations excessives. Cet aspect se traduit, sur le plan mécanique, par le comportement des différentes couches composant la structure de la chaussée.

Pour un confort idéal la chaussée exige pour sa construction plusieurs couches exécutées en matériaux différents d'épaisseurs bien déterminées, ayant chacune un rôle bien défini.

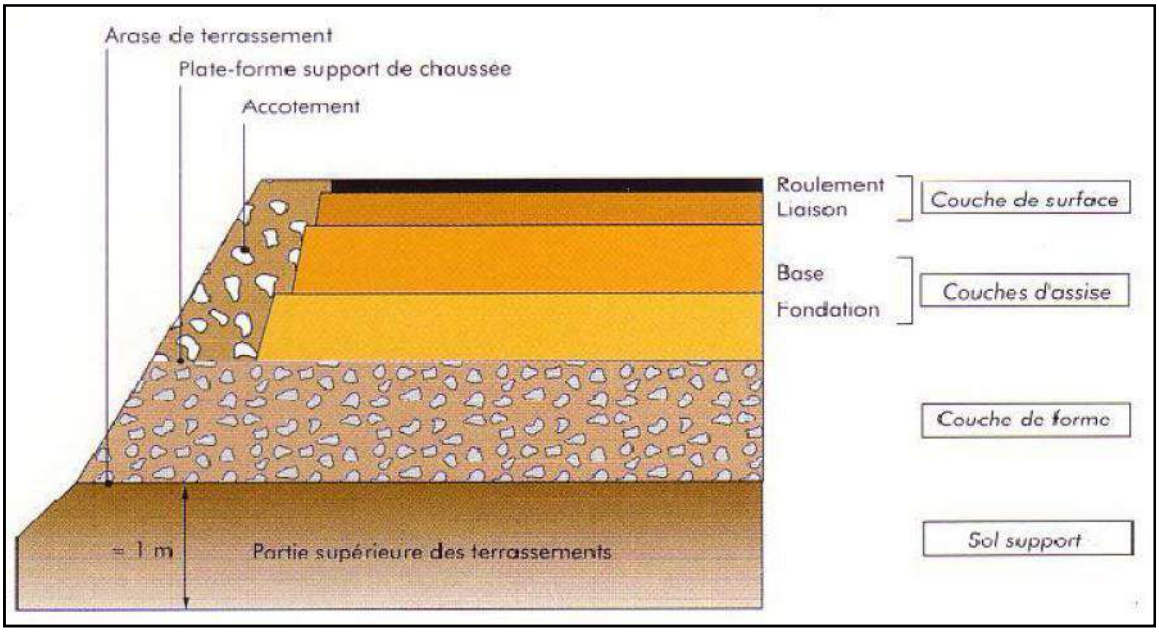


Figure I.1 : Structures de chaussée, terminologie.[9]

1. La couche de forme

Cette couche de transition, entre le sol support et le corps de chaussée, a une double fonction, soient :

✓ Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, établit un nivellement quand il s'agit d'un sol rocheux et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée quand il s'agit d'un sol peu portant ;

✓ elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

2. Les couches d'assise

Les couches formant le corps de chaussée sont d'une part les couches d'assise (couche de fondation et de base) et d'autre part la couche de surface. On distinguera les couches d'assise et de surface, par leur apport aux fonctions que doit assurer la chaussée.

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base.

✓ **Couche de base :**

La couche de base joue un rôle essentiel, elle existe dans toutes les chaussées, elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet de trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

✓ **Couche de fondation :**

Elle substitue en partie le rôle du sol support en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic etassurer une bonne portance de la chaussée finie ; aussi, elle a le même rôle que celui de la couche de base.

3. La couche de surface

La couche de surface est constituée :

✓ De la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat ;elle reçoit les efforts de cisaillement provoqués par la circulation, son épaisseur varie entre 6 et 8cm ;

- ✓ D'une couche de liaison, entre les couches d'assise et la couche de roulement. La couche de liaison joue un rôle transitoire avec les couches inférieures les plus rigides.

C'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assises traitées aux liants hydrauliques.

C'est des caractéristiques de surface de la couche de roulement que dépend, pour une large part, la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue en outre à la pérennité de la structure de chaussée, en particulier par la fonction d'étanchéité vis à vis de l'assise.

II.1.3. Les différents types de chaussée :

Du point de vue constructif, les chaussées peuvent être classées en trois grandes catégories :

- ✓ Chaussée souple.
- ✓ Chaussée semi-rigide.
- ✓ Chaussée rigide.

1. Chaussée souple :

La chausséesoupleest constituéededeuxéléments constructifs:

- ✓ Lessolsetmatériauxpierreux à granulométrie non traités,étaléeouserrée.
- ✓ Lesliantshydrocarbonésquidonnentdela cohésionenétablissantdesliaisonssouplesentrelesgrainsdematériauxpierreux.[4]

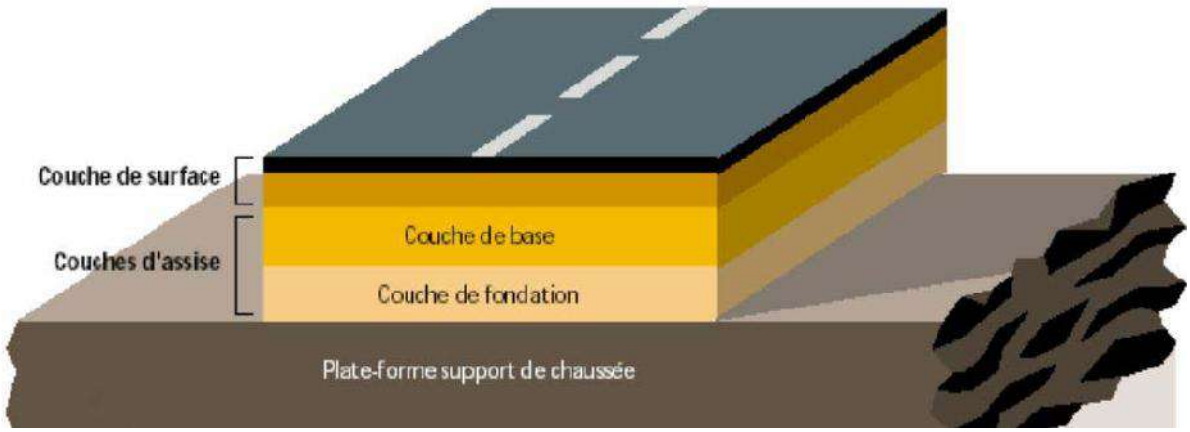


Figure I.2: Structure type d'une chaussée souple

2. Les chaussées semi-rigides :

Elles comportentune couche de base(et quelque fois une couche de fondation en sable gypseux)traité au liant hydraulique (ciment).

Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie.
Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

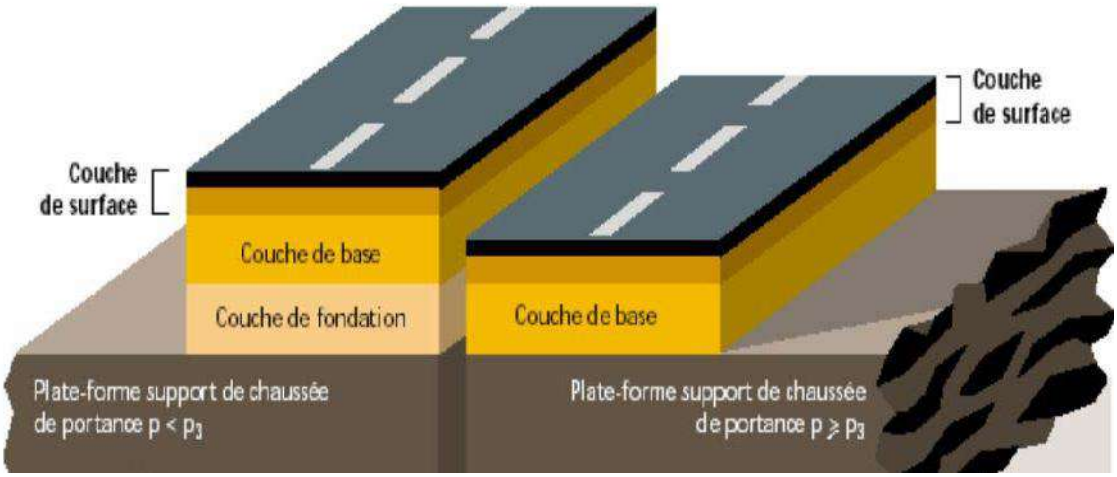


Figure I.3:Structure type d'une chaussée semi-rigide

3. Chaussée rigide :

Comportant des dalles en béton (correspondant à la couche de surface de chaussée souple) qui, fléchissant élastiquement sous les charges transmettent les efforts à distance et les répartissent ainsi sur une couche de fondation qui peut être une grave stabilisé mécaniquement, une grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques. Ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie.

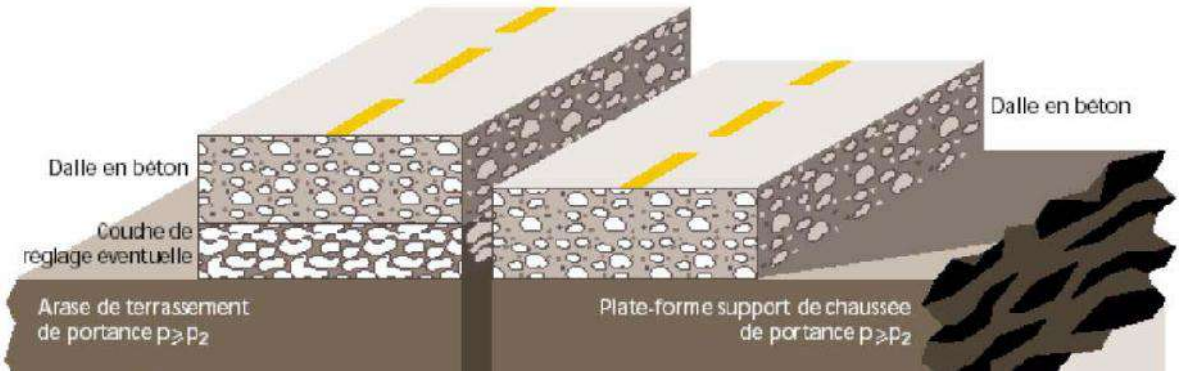


Figure I.4 : Structure type d'une chaussée rigide

I.1.4. Dimensionnement des corps de chaussées

Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude d'un projet routier. Actuellement, dans beaucoup de pays développés, on parle le plus souvent de « projet chaussée » compte tenu de son importance sur le plan technique et économique de l'ensemble du projet. Il s'agit en même temps, de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de chaussée. Tout cela est mené en fonction de quelques paramètres fondamentaux. Il est aussi nécessaire de définir dès le départ, une stratégie « Investissement-Entretien » en fonction des données économiques.

1. Facteurs influençant sur le dimensionnement des corps de chaussées :

Le nombre des couches, leurs épaisseurs et les matériaux d'exécution, sont conditionnées par plusieurs facteurs, parmi les plus importants on citera:

✓ ***Le trafic :***

Le trafic pris en compte est essentiellement le trafic poids lourds (véhicules supérieur à 3,5 tonnes).Il intervient comme paramètre d'entrée dans le dimensionnement des structures de chaussées et le choix des caractéristiques intrinsèques des matériaux, pour la fabrication des matériaux de chaussée.

Il est apparu nécessaire de caractériser le trafic à partir de deux paramètres :

- Le trafic poids lourds « T » lié à la mise en service, résultat d'une étude de trafic et decomptage sur les voies existantes ;

- Le trafic cumulé sur la période considérée qui est donnée par :

$$N = T \cdot A \cdot C$$

Où :

N : trafic cumulé ;
A : facteur d'agressivité globale du trafic ;
C : facteur de cumul ;

Avec : $C = [(1+\tau)^{p} - 1] / \tau$.

Où :
τ : Taux de croissance du trafic.
p : nombre d'années de service (durée de vie) de la chaussée.

✓ ***Environnement :***

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations ; ainsi, la variation de la température intervient dans le choix du liant hydrocarboné, et aussi les précipitations sont liées aux conditions de drainage et conditionnent le réseau d'assainissement.

✓ ***Le sol support :***

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate – forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme.

Les plates formes sont définies à partir :

- De la nature et de l'état du sol ;
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

✓ ***Matériaux :***

Les matériaux utilisés doivent résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois (le passage répété des véhicules lourds - fatigue).

2. Les principales méthodes de dimensionnement :

On distingue deux familles des méthodes de dimensionnement des chaussées:

- ✓ Les méthodes empiriques dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées.
- ✓ Les méthodes dites « rationnelles » basées sur l'étude théorique du comportement des chaussées.

- **La méthodeC.B.R(Californian–Bearing–Ratio):**

C'estuneméthode(semi-empirique),elleestbaséesurunessaidepoinçonnementsurunéchantillon desolsupportencompactant leséprouvettes à(90à100°)del'Optimum Proctor. Ensuite, parabaquesondéterminel'épaisseur«e»des chausséesenfonctiondespneusetdunombrederépétitionsdescharges,tout entenantcomptedel'influencedutrafic.

L'épaisseurdelachaussée,obtenueparlaformuleCBRaméliorée,correspondàunmatériau bien défini(généralement, un graveproprebiengraduée).Pourcematériau,lecoefficientd'équivalenceestégalà1.

L'épaisseur équivalente est donnée par la formule suivante :

$$e = \frac{100 + (\sqrt{p})\,(75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

I_{CBR} : indice CBR

N : désigne le nombre moyen de camion de plus 1500 kg à vide/par sens

P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t).

Log : logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$e = a_1e_1 + a_2e_2 + a_3e_3$

Où :

- a_1, a_2, a_3 : coefficients d'équivalence.
- e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

Les coefficientsd'équivalencepourchaquematériausontprésentésdansle tableau I.1

MatériauxUtilisées	Coefficientd'Équivalence
Bétonbitumineux– enrobédense	2.00
Gravebitume	1.70
Graveciment– gravelaitier	1.50
Sableciment	1.00à1.20
Graveconcasséeougravier	1.00
Graveroulée–gravesableuse– T.V.O	0.75
Sable	0.50
Gravebitume	1.60à1.70
Tuf	0.60

Tableau I.1**:**Coefficientsd'équivalencepourchaquematériau.[4]

- **La méthode « A.A.S.H.O »**

Cetteméthodeempiriqueestbaséesurdesobservationsducomportement, soustraficdes chausséesréellesouexpérimentales. Chaquesectionreçoitl'applicationd'environunmilliondes chargesroulantesquipermetdepréciserlesdifférentsfacteurs:

- L'étatdela chausséeetl'évolutiondesoncomportementdansletemps ;
- L'équivalenceentrelesdifférentescouchesdematériaux ;
- L'équivalenceentrelesdifférentstypesdechargeparessai ;
- L'influencedeschargesetdeleurrépétition.

- **Méthodede « ASPHALTINSTITUTE »**

Baséesurles résultatsobtenusdes essais«AASHO»on prendenconsidérationle traficcomposite paréchelledefacteurd'équivalenceetutiliseunindicedestructuretenantcomptedelanaturedes diversescouches.
L'épaisseurseradéterminéeenutilisantl'abaquedel'asphalteinstitutes.(l'abaque fig1) en annexe.

- **Méthodedu « cataloguedesstructures »**

Le Cataloguedesstructurestypeneufétablispar«SETRA» distinguelesstructuresdechausséessuivantles matériauxemployés(GNT,SL,GC,SB).

Il considèreégalementquatreclassesdetraficselonleurimportance,allantde200à1500Véh/J. Il tientcomptedescaractéristiquesgéotechniquesdusoldefondation.

Il seprésentesouslaformed'unjeudefichesclasséesendeuxparamètresdedonnées:

- Traficcumulédepoidslourdsàla20ème annéeTj ;
- Les caractéristiquesdesol(Sj).

Classedetrafic	Traficpoidslourdscumulésur20ans
T_1	$T < 7.310^5$
T_2	$7.310^5 < T < 2\ 10^5$
T_3	$2\ 10^6 < T < 7.310^6$
T_4	$7.310^6 < T < 4\ 10^7$
T_5	$T > 4\ 10^7$

Tableau1.2**:**Déterminationdelaclassedetrafic

Letraficcumuléestdonnéparla formulesuivante:

$$Te=Tpl\ \ 1+(1+Z)^{n+1}/Z \cdot 365$$

Avec:

Tpl: traficpoidslourdsàl'annéedemiseenservice ;Z: tauxd'accroissement annuel.

Classedesol	IndiceC.B.R
S1	25-40
S2	10-25
S3	05-10
S4	<05

Tableau.1.3**:**Déterminationdelaclassedusol selon l'indice CBR.[5]

- **Méthode « LCPC » (Laboratoire centraldes Pontset Chaussées)**

Cetteméthodeestdérivéedesessais

« A.A.S.H.O »,elleestbaséesurladéterminationdutrafic équivalentdonnéeparl'expression:

$$Teq = TJMA \cdot a \cdot (1+Z)^{n}-1 \cdot 0.75 \cdot P \cdot 365 \ / (1+z)-1.[4]$$

Avec:

Teq: traficéquivalentparessieude 13t ;

TJMA: traficàlamiseenservicedela route ;

a: coefficientquidépenddunombredevoies ;

Z: tauxd'accroissementannuel ;

n : duréede viedelaroute ;

p : pourcentagedepoidslourds ;

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée,on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente « **e** »(enfonctiondeTeq,I_{CBR})àpartirdel'abaqueL.C.P.C. L'abaqueL.C.P.Cestdécoupéenuncertainnombredezonespourlesquelles,ilestrecommandé enfonctiondelanatureetlaqualitédelacouchedebase.[6]

- **Méthodedu « cataloguedesstructuresalgérien »**

Cette méthodedécoule durèglementalgérienenB60–B61,etelleconsisteàdéterminerlaclasse dutraficdespoidslourdsàla20ème annéeetdelaclassificationdusolsupport.Unegrille combinantcesdeuxparamètres permetauprojecteur detrouver letypedechaussée qu'ildésire suivantladisponibilitédesmatériauxaux environs.

- **Méthode du « catalogue de dimensionnement des chaussées neuves »**

Le catalogue de dimensionnement des chaussées se présente sous forme de fiches de dimensionnement dans lesquelles les structures sont déjà pré-calculées.

La démarche adoptée pour le catalogue et qui est présentée ci-dessous, fait appel aux spécificités géologiques et climatiques du pays ainsi qu'aux ressources en matériaux disponibles pour chaque région. Elle donne ainsi la possibilité au projeteur de faire un choix entre plusieurs variantes de dimensionnement, selon les données technico-économiques locale et régionale relatives au projet.[4]

- **Principes du dimensionnement catalogue :**

Le trafic (sollicitation) : charge de référence 13t, Le sol support, La zone climatique, La durée de service, Les matériaux et les types de structure.

- **Les étapes de dimensionnement des chaussées :**

- Comprendre le comportement de la chaussée ;
- Trouver l'épaisseur des couche ;
- Décider des types des matériaux pour chaque couche ;
- La réalisation et la vérification de stabilité de structure.

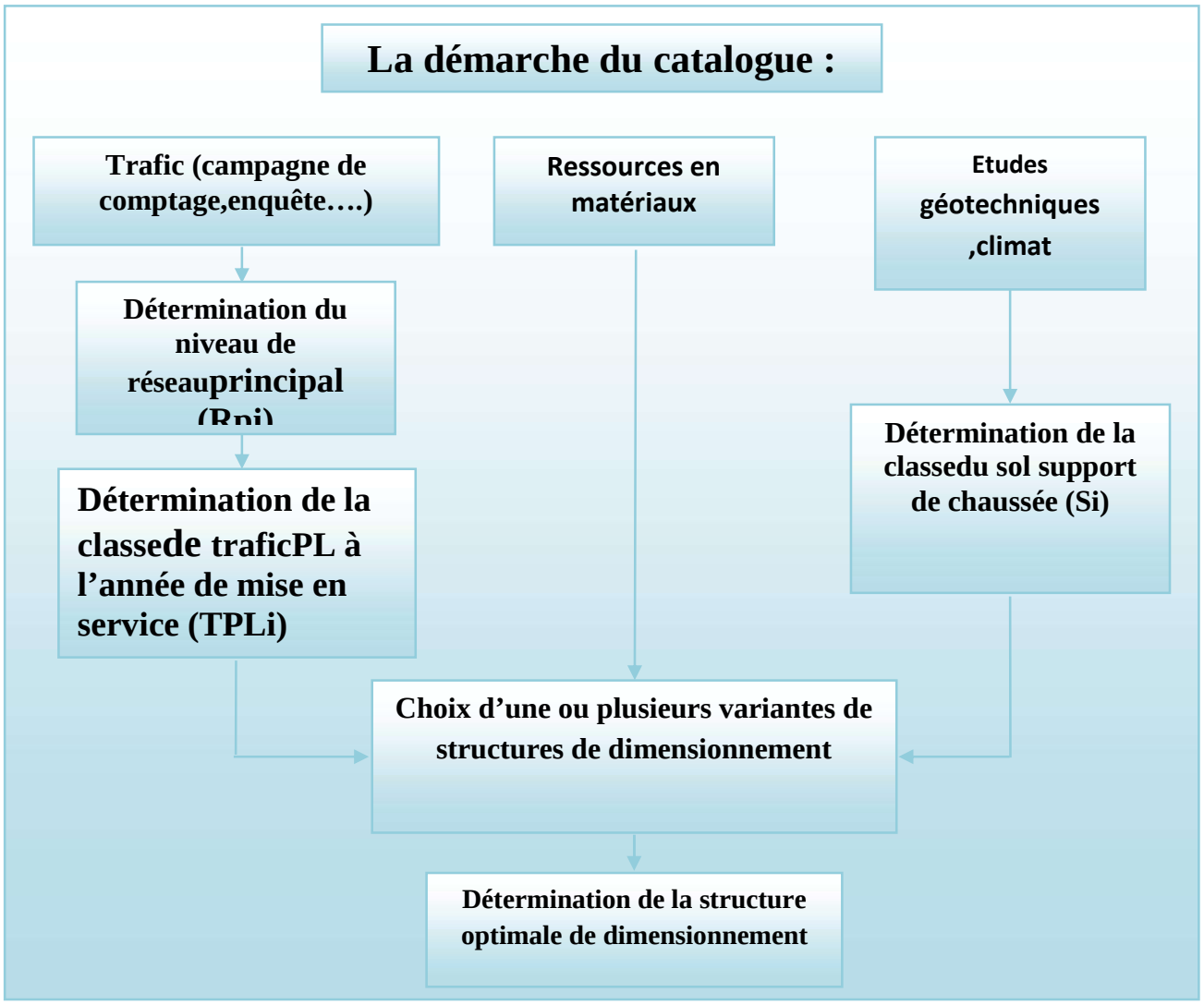


Figure I.5 : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves

I.1.5. Principaux modes d'endommagement des chaussées

Les dégradations, visibles ou invisibles, traduisant l'endommagement d'une chaussée donnée, varie selon la nature et la qualité des différentes couches.

1. Couche de roulement

Les dégradations les plus couramment observées sont les suivantes :

✓ l'usure due aux efforts tangentiels exercés par les charges roulantes,

✓ l'orniérage par fluage dans des conditions excessives de température et de sollicitations par le trafic,

✓ la fissuration par fatigue par suite d'une mauvaise adhérence de la couche de roulement bitumineuse à l'assise,

✓ la fissuration par remontée des fissures des couches d'assise de chaussée,

✓ la fissuration par fatigue thermique suite à un vieillissement du bitume.



a) Ornierage à petit rayon b) Faillençage c) Pelade

Figure I.6: Mode de dégradation de la couche de roulement

2. Couches d'assise traitées

Les dégradations les plus couramment observées sont:

✓ la fissuration par fatigue due à l'endommagement qui résulte de la répétition des efforts de traction par flexion au passage des charges,

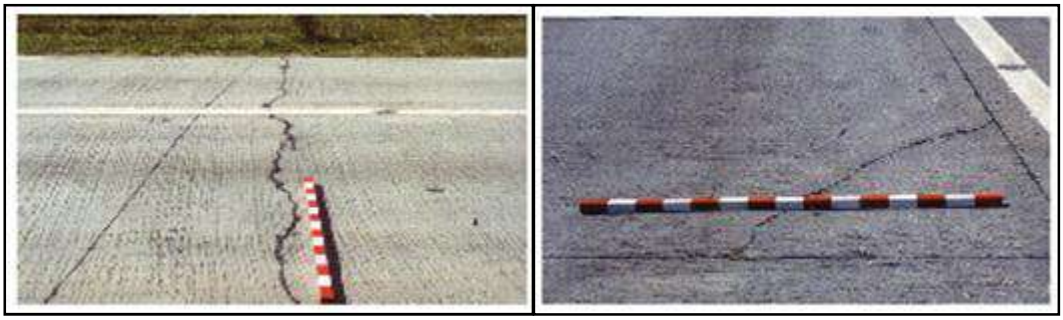
✓ la fissuration de prise et de retrait thermique des graves traitées aux liants hydrauliques,

✓ la fissuration due aux gradients thermiques des dalles de béton,

✓ le pompage et décalage de dalles dans les couches présentant des fissures de retrait ou des joints, ceci est dû généralement à mauvaise qualité du transfert de charge et de l'érodabilité du support.



a) Fissure longitudinale b) Fissuration en dalle



c) Fissure transvsale (béton) d) Fissuration en coin dalle (béton)

Figure I.7 : Modes de dégradation : Couches d'assise traitées

3. Couches d'assise non liées et support de chaussée (mécanisme d'endommagement structural) :

Ces couches s'endommagent le plus souvent par :

✓ Déformations permanentes de la structure (affaissement, orniérage, ...) dues au cumul des déformations plastiques provoquées dans ces matériaux non liés par les sollicitations répétées du trafic.

✓ Aggravation en présence d'eau (période pluviale, gel-dégel,…) ; la faible rigidité de ces chaussées les rend fortement sensibles à la réduction de portance du sol support.

Pour chaque type de structure de chaussée, il existe des défauts prépondérants traduisantdes modes de disfonctionnement particuliers.

- **Chaussées souples :**

- Développement avec le trafic de déformations permanentes(orniérage des matériaux non liés, graves non traitées et/ousol support),

- paramètre de contrôle :εz (ou σz), compression verticaledans les couches de matériaux non liés et les sols,

- Démarche de dimensionnement : méthode rationnelle.

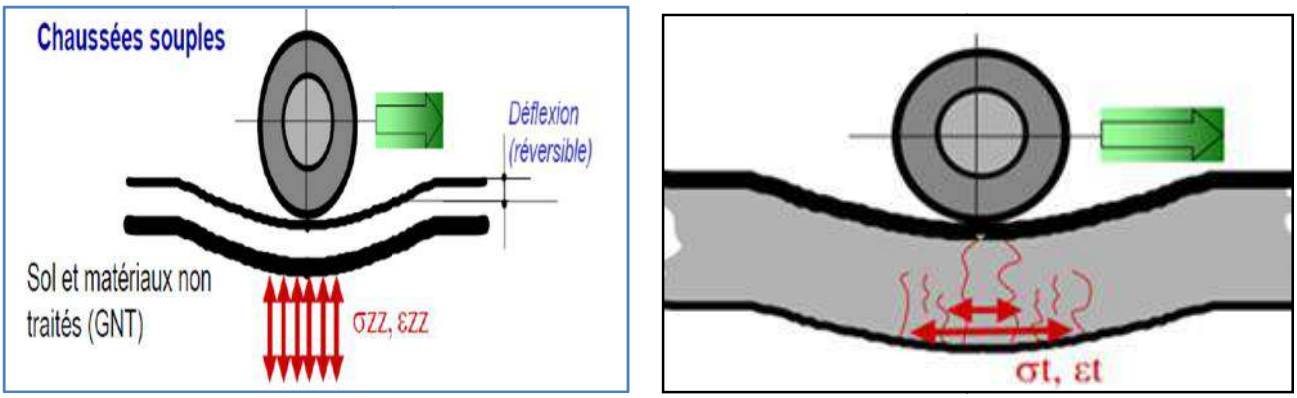
- **Chaussées épaisses :**

Chaussées à assises traitées (bitumineuses, hydrauliques, béton) :

- développement avec le trafic d'un endommagement par fatigue en traction-flexion, conduisant à la fissuration à la base des couches liées en flexion (fissuration évolutive vers la surface –remontée–)

- paramètre de contrôle : εt (ou σt) horizontale dans les couches de matériaux traités en traction.

- Démarche de dimensionnement : méthode rationnelle.



a) Une chaussée souple b) une chaussée épaisse

Figure 1.8 : Principaux modes d'endommagement des chaussées[19]

II: Les Géosynthétiques

II.2. Généralités sur les géosynthétiques

Introduction

Dans le domaine du génie routier, l'amélioration des caractéristiques des sols par l'utilisation de matériaux d'emprunts date de plusieurs millénaires.

Les premières expériences remontent à l'époque de la civilisation romaine, où l'on note l'utilisation, essentiellement des corps végétaux tel que 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 routiers.

Pour répondre à cette problématique, les techniques chimiques on vu le jour (additif à base de chaux, de résine ou de ciment).

Parallèlement à ces techniques, les matériaux géosynthétiques connaissent un développement fulgurant depuis une quarantaine d'années.

II.2.1. Définition d'un géosynthétique :

Les géosynthétiquessont des produits dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel. Ils se présentent sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle utilisés en contact avec les sols ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Les géosynthétiques peuvent être produits à partir de différents polymères : polyéthylène tetraphtalate (PET) polyvinyle alcool(PVA),polypropylène(PP).L´avantagedu PET est sonfaibleallongementlié àunegrande résistance àlatraction(hauteténacité).

L´avantage du PVA est son allongement extrêmement bas et une excellente résistance chimique.

L´avantage du PP est aussi une très bonne résistance chimique avec un allongement acceptable.

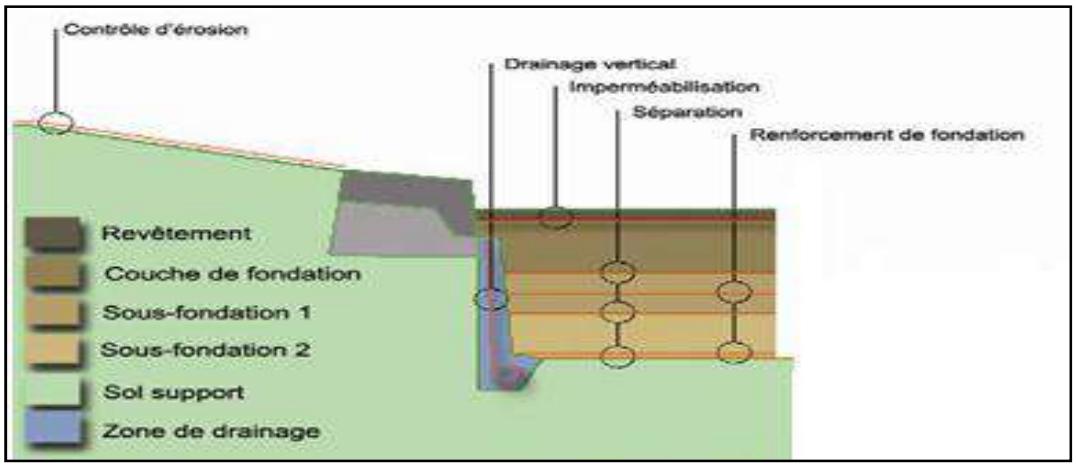


Figure I.9 : Coupe type chaussée

II.2.2. Types de géosynthétiques

Le type de géosynthétiques dépend de l'élément constituant, de la fibre et de la technique de productionemployée. On distingue les géosynthétiques :

- ✓ A une dimension (1D) : bandelettes, filaments ;
- ✓ A deux dimensions (2D): produits plans, avec des dimensions typiques de l'ordre de 3-5m de largeur et d'environ 50-30 0m de long, tandis que l'épaisseur de l'ordre de quelques millimètres;
- ✓ A trois dimensions (3D) : produits volumétrique, dans ce groupe, nous pouvons inclure principalement les géocellules (géocells), qui ont la troisième dimension (hauteur) dans la fourchette comprise entre environ 0,1 et 0,25 m; très souvent ils sont fabriqués à partir de bandes localement connectés. Une fois étiréles cellules 3D sont créées, par exemple, sous forme de nid d'abeilles.



Figure1.10 : Image agrandis d'une géocellules.

Les géosynthétiquesles plus utilisés sont les produits plans ; il est possible de distinguer: les geotextiles, les géomembranes (membrane plane imperméable à partir de polymères d'épaisseur entre environ (0,5 et 3 mm), les géogrilles, les géocomposites(produits créés par la combinaison de plusieurs géosynthétique).



Figure 1.11 : Exemple de géocomposite.

Le bon fonctionnement du renforcement exige de la part du géosynthétique, un faible allongement sous sollicitation, et un choix judicieux doit être réalisé en fonction du type de sol.

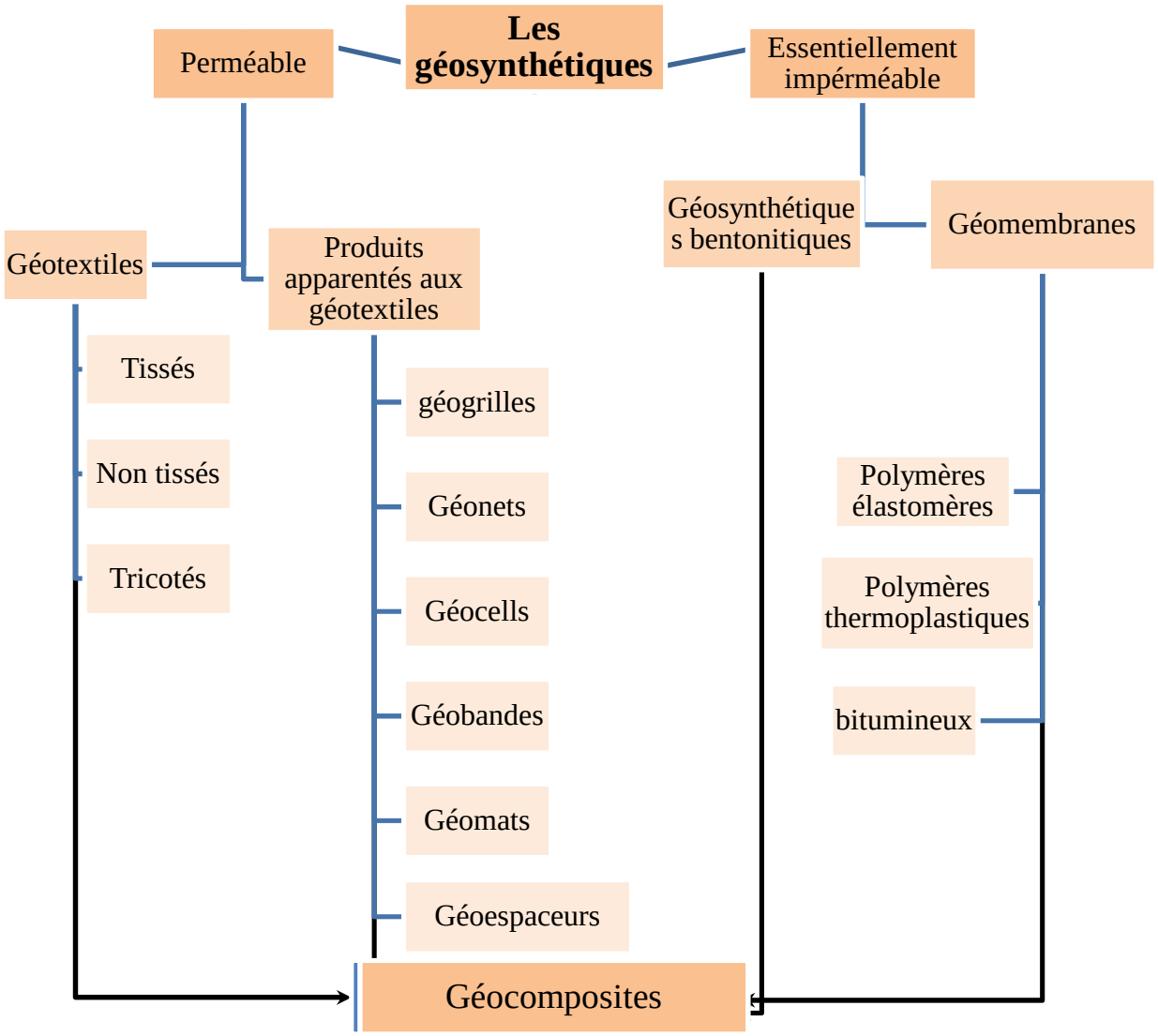


Figure I.12 : Les géosynthetiquesles plusutilisés [14]

1.Lesgéotextiles

Les géotextilessontdes produits tissés,nontissés,outricotés,perméables, fabriquésàbasedepolymèreetutilisés danslesdomainesdelagéotechniqueetdu génie civil.Lafonction dugéotextiledanslesolpeut être : laséparation, lafiltration, et aussi lerenforcement.

Les géotextiles tissés sont produits par entrelacement, habituellement à angle droit, de deux ou plusieurs faisceaux de fils, de filaments, de bandelettes ou autres éléments.

Cependant, pour faciliter la sélection des géotextiles et leur production, donc en définitive réduire leur coût, dans la plupart des cas les manufacturiers proposent des gammes de produits standards dits de commodité, qu'ils proposent pour des applications conventionnelles. Il n'en demeure pas moins que certains adoptent une approche différente en proposant des produits spécialisés « sur mesure » répondant aux besoins spécifiques de l'application visée, définis par l'ingénieur de conception.

À la base de l'ensemble de ces produits : les fibres polymériques, il est aisé de sélectionner les dimensions des fibres les plus intéressantes (diamètre et longueur), leurs caractéristiques mécaniques (force et allongement à la rupture, etc.) et physico-chimiques (par adjonction d'additifs chimiques). Dans certains cas, des fibres naturelles tels les lins, le coco ou le jute sont utilisées, notamment lorsqu'une biodégradation est recherchée.

Il faut comprendre que les caractéristiques et les performances des géotextiles sont liées à l'ensemble des caractéristiques des fibres. Mentionnons que le diamètre des fibres influence principalement les propriétés hydrauliques des géotextiles (ouverture de filtration, perméabilité, transmissivité), la longueur et les caractéristiques mécaniques des fibres influencent principalement les propriétés mécaniques des géotextiles (résistance en traction par arrachage, résistance en tension, résistance à la déchirure), tandis que la constitution polymérique des fibres influence les caractéristiques physico -chimiques des géotextiles (résistance aux rayonnement UV, inertie chimique, résistance à la chaleur, résistance bactériologique).

✓ **Lesgéotextiles non-tissés**

Lesgéotextilesnon-tissésreprésententlaplusimportantepartdumarché. On retrouveprincipalementtroisprocédésdefabricationdistincts:

- Lesnontissésvoie sècheaiguilletés,
- Lesnontissés«spun» aiguilletés,
- Lesnontissés«spun» thermoliés.

Àl'inverse desproduitsissusdesautresprocédésdefabrication présentésplusloin, les technologiesdesnon-tissésutilisentdesfibresoufilaments individualisés et visent desproduitsprésentantun comportementuniformequellequesoitladirectionduplan choisie.Lespremierssontconstituésdesfibresde longueurfinie(de75à150 mm) présentantunefrisure(crimp).Ces fibres individualisées sontassemblées parcardage souslaformedevoilestrèslégers(del'ordrede10à30g/m²)dontlacohésion est assuréeparlaprésencedes frisures des fibres.Plusieurs couches devoilesontalors superposéespar nappagepour former unenappedemassesurfaciquedésirée.

Laconsolidationparaiguilletagereposealorssurla créationd'unenchevêtrement desfibresaumoyendenombreuses pénétrationsd'aiguillesmuniesdebarbes, engendrantune cohésion par friction inter fibres.Ladensitédepénétration des aiguillesestde l'ordrede300 à600 coupspar cm².

Danslecasdesnon-tissés« spun»aiguilletés,lemêmeprocédéd'aiguilletage expliqué précédemmentest employé.

Ilestpossibled'énuméreruncertainnombredecaractèresdesdifférentstypesde non-tissés.Ainsi,enrèglegénérale,lesnontissés« spun» thermoliésprésententune porositérelativementfaible(60à70%) quipeutréduirelamouillabilitéduproduit notamment lorsqu'il est constituédefilamentsdepolypropylène.

Des manufacturiers incluentdes additifs chimiques pourremédieràceproblème maisilssontsouventlessivables.Encontre-partie,latechnologiedesnon-tissés« spun»thermoliéspermetd'obtenirdesnon-tissésdetrèsfaiblemassesurfaciquequi peuvent êtreutilisésdefaçon satisfaisanteà titred'agrotextiles.

Les non tissés aiguilletés présentent une porosité plus élevée, de 85 à 95% à moins qu'un traitement ultérieur de calandrage n'ait été réalisé.

Encequiconcernelesnon tissés« spun» aiguilletés,ilsrévèlentgénéralementdes propriétés mécaniqueslégèrementplusélevéesqueceuxproduitsparvoiesèche,tous lesautresparamètresrestantconstant.Ceciestliéàl'usagedesfilamentsdelongueur infinie.

Parrapportàlatechniquesèche,la technologie« spun» estcependantmoins versatileetpermetdifficilementlaréalisationdeproduitsavecunmélangedefibres dedifférentsdiamètresoutypesdepolymères;deplusonnepeututiliserdefibres naturelles.

Pourconclure, indiquonsque latechniquedeconsolidation desnappespar aiguilletageestaussiutiliséepour laréalisationdenon-tissésrenforcésainsiquepour laréalisationde produitsgéocomposites,legéocompositebentonitiqueétant un exemple.

- ✓ **Lesgéotextilestissés**

Àl'opposédesnon-tissésquisontcomposésdefibres,lesgéotextilestisséssont constituésde filsqui peuvent être de différentstypes :monofilament, filsmulti filamentaires,filsdefibrescourtes,bandelettes.Ces fils sontentrecroisésdans leplan dans deuxdirections perpendiculaires,lesensmachine(chaîne)etlesens travers (trame),selonunpatrondonné(nombredefils parcm,armureoutype d'entrecroisement)pour former uneétoffetrèsanisotrope.

Enrèglegénérale,onretrouveles mêmes types depolymèrequedans lecas des non-tissés,quoiqued'autresmatériauxtels quelesfilamentsdeverre,soientutiliséspour desapplicationsspécifiques.

Il existe une grande variété de métiers à tisser, cependant il est possible de classifier lesproduitsquien découlentendeuxgrandesclasses.Lestissus conventionnelset lestissusà étoffesmultiples.Les seconds, plusdifficilesà mettreen œuvre,permettentl'obtentiondeproduits très variés detypetridimensionnel,pouvant répondreàdesapplicationstrès spécifiques.

Un des caractères spécifiques du géotextile tissé est, sans aucun doute, ses propriétés mécaniques.Elles sonteneffettrès différentes decelles desnon-tissés.Il fautcomprendrequeles fils utilisés formentfinalementdans l'étoffedeuxnappes très fortementorientéesselonlesens machineet lesens travers.Cettecaractéristique est trèsappréciéenotammentpour lesapplicationsderenforcement.

Néanmoins,ilnes'agitpaslàduseulchampd'applicationdesgéotextilestissés. Ilssontcourammentutilisés àtitredefiltreoudeséparateur.Cependant,alorsqueles non-tissésprésententdes granulométriesdepores relativementétalées,les tissus ont desgranulométriesbeaucoupplusuniformes,parfoismultimodales.Lestissésétant beaucoup plusdensesque lesnon-tissés,ilestimportantdetenircomptede leur pourcentaged'ouverture quidonneuneimagedelaquantitédeporesdisponibles. Mentionnonsquelestissussonttrès adaptésàlaréalisationdegéotextilesprésentant

desouverturesdefiltrationélevées(> 500µm).

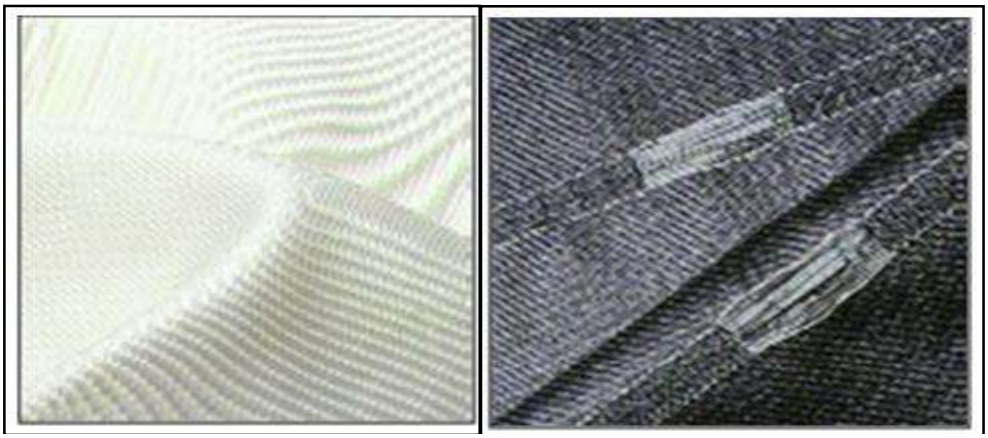


Figure I.13 : Lesgéotextilestissés

- ✓ **Lesgéotextilestricotés:**

Traditionnellement,les géotextiles tricotés étaientuniquementceuxutilisés àla façondebas,autourdestuyauxdedrainage.Lestricotstramesissusdes tricoteuses circulairessemblenteneffetappropriésàcetyped'application. Parcontre,depuis plusieurs années et suite au développement de nouveaux métiers ditstricoteuses chainesetlapossibilitéd'insérer destramesauseindestricots,plusieurs manufacturiers ont développé une nouvelle famille de géotextiles tricotés pour diversesapplicationstelslerenforcement et lecontrôledel'érosion.

Commedans lecas des tissus,lematériaudebasedes tricotsestlefil.Les fils sont entrelacés selon un patron donné.

Lesgéotextiles tubulairesdetypetricots tramessonttrèsdéformablesdufaitde la possibilitélaisséeaux filsformantlesmaillesdeglisser lesunspar rapportaux autres.

Encequi concernelesgéotextilesdetypetricots chainesavecinsertionde trames, ils consistentenfaitenl'assemblage,pardes fils deliage,denappes defils très fortementorientés selonlesdirectionsmachineet travers.

Cette orientation permet d'atteindredes propriétés mécaniques en traction et notammentdesmodules d'élasticitéencoreplusélevéesquedansle casdesmatériaux tissés.

2. Lesgéocomposites

Ungéocompositeestunassemblagemanufacturédematériauxdontaumoinsl'un descomposantsestun produitgéosynthétique,parexempleunegéogrille complexée avecungéotextilenon-tissé.Ilpeutêtreutilisé,soitengéotechnique(fonctions de séparation etrenforcement),soitpour lescouchesderoulement(fonction de renforcement, particulièrement en réfection), dansledomaineroutier.

Ungéocompositederenforcementapporteenunepose,les avantages dugéotextile non-tisséetceceuxd'ungéosynthétique derenforcement,géotextiletissé,tricoté ou géogrille.Lesdifférentscomposantspeuventêtre assemblésliéspar coutureou soudure thermique.

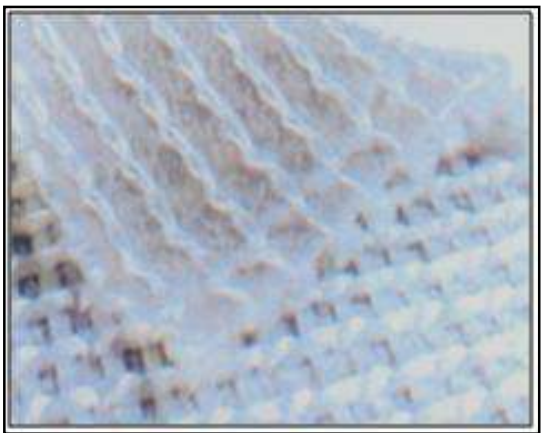


Figure I.14 :Géocomposite.

✓ **Renforcementdesenrobéspar desGéocomposites**:

Les matériaux constituants l'enrobélui confèrent une faible résistance à l'allongement.Ilenrésultel'apparitiondefissuresgénérantuneréductionde laduréedeviedela couchederoulementetdela chaussée.

Dans les enrobés, l'utilisationla plus fréquente des géocompositesest le renforcement.Leurchoixjudicieux augmente larésistanceà l'allongementet permet d'absorber une part importante de la contrainte horizontale sur la couched'enrobés enlarépartissantdemanièrehomogènesuruneplus grande surface.

Lesgéocompositesempêchentdanslemêmetempsl'apparitiondefissureset l'élargissementdecelles existantes.Ceci grâceàleurcapacité d'absorptiondes forcesdecisaillement.Uncomposite soigneusementchoisidiminueles déformations permanentesetlaformationd'ornières.

Lesgéocompositespermettentderenforcerlesenrobés,nonseulementen travaux neufs, maisaussi enentretienetréparation.

Lalimitationdel'apparitionetdel'élargissementdesfissuresaugmentedece faitladuréedeviededeschaussées.

3. Les géogrilles

Les géogrillessont des géosynthétiques dont la fonction est le renforcement des sols. Une géogrilleest une structure plane à base de polymère, constituée par un réseau ouvert et régulier d'éléments résistants à la traction et pouvant être assemblés par extrusion, par collage ou par entrelacement, dont les ouvertures ont des dimensions

supérieures à celles des constituants et permettant le confinement du sol.

Applications	Fonction du materiaugeosynthetique	Condition du sol	Positionnement
Portance du sol support	Renforcement et séparation	CBR< 3 à 5	Interface sol support /couche de fondation, Interface sol support/sous fondation, Interface couche de fondation/couche de base
Renforcement de la fondation granulaire	Renforcement	CBR> 3 à 5	Interface sol support /couche de fondation Milieu de la couche granulaire

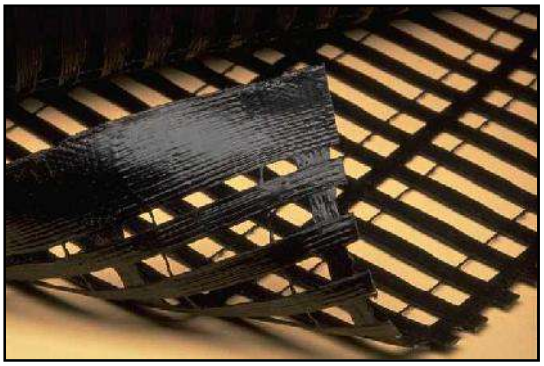
Tableau I.4 : Renforcement de chausse à l'aide des géogrilles[17]

Les géogrillesse différencient selon leur matériau constitutif et selon leur mode de fabrication. Elles peuvent donc être:

- ✓ thermoformées
- ✓ extrudées(**Figure1.15**)
- ✓ sous forme de bandes extrudées soudées
- ✓ tissées(**Figure1.16**)
- ✓ poinçonnées



Figure I.15 : Géogrille extrudé.





a) uniaxiale b) biaxiale

Figure1.16 : Géogrille tissé.

On distingue des géogrillesmono-axiales et bi-axiales:

- ✓ **Mono-axiale:** la résistance à la traction est plus importante dans un sens (longitudinal ou transversal) que dans l´autre

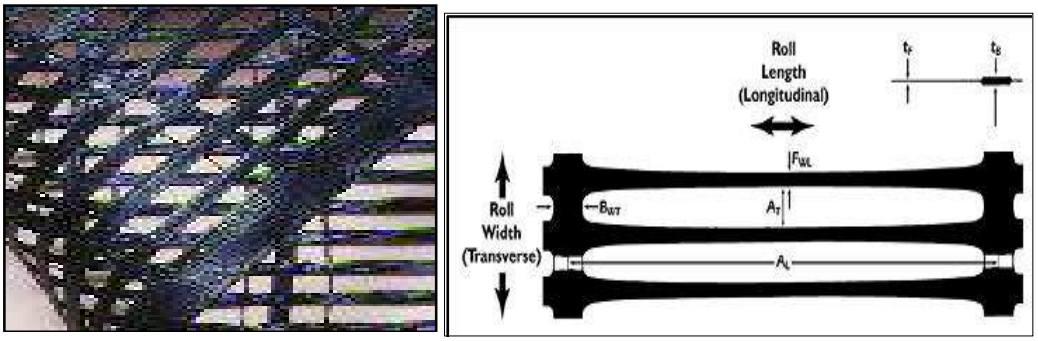


Figure1.17 : Géogrillesmono-axiales

- ✓ **Bi-axiale:** la résistance à la traction est sensiblement équivalente dans le sens longitudinal et transversal.

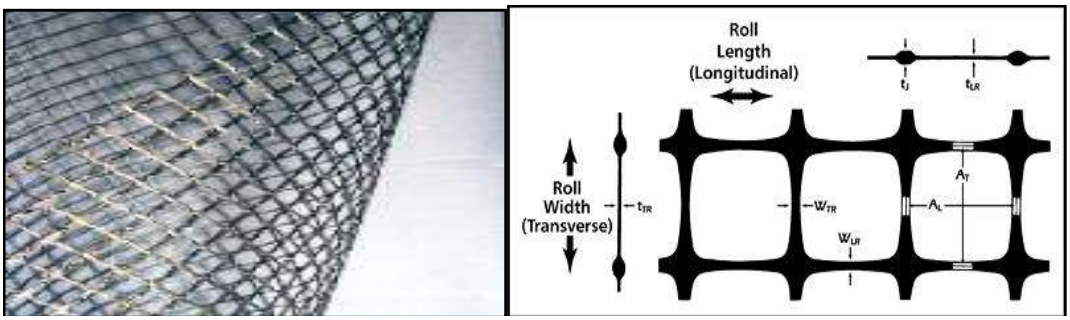
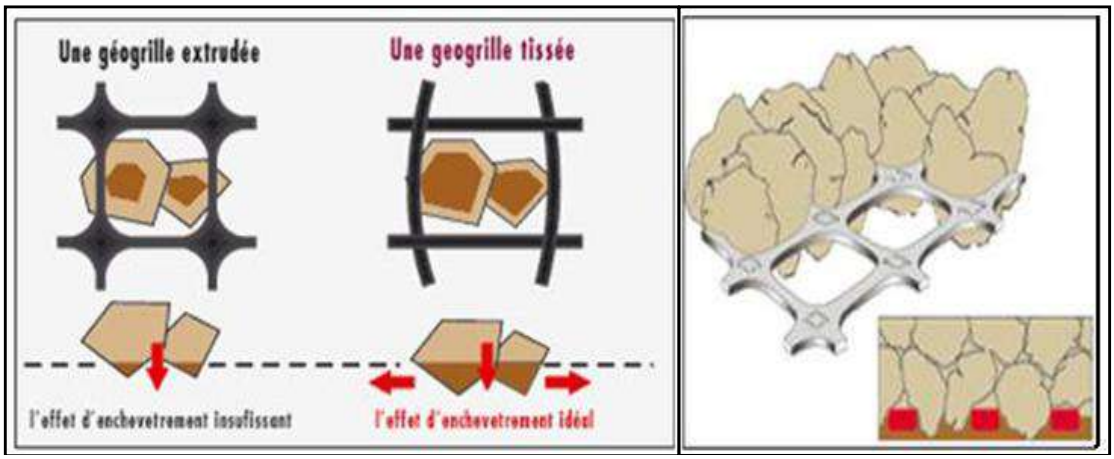


Figure I.18 : Géogrilles bi-axiales.

La grandeur des mailles varie généralement de 1 et 10 cm pour permettre la pénétration des gros éléments du sol, et la création d'un effet d´imbrication de ces constituants dans la géogrille. Le mode d'action des géogrilles n'est pas le même que pour les géotextiles classiques. En effet, les éléments du sol s'introduisent dans la structure ouverte des géogrillesce qui permet d'obtenir une transmission de contraintes non seulement par frottement sol-géogrillemais aussi par autoblocageentre la grille et le remblai comme le montre le second schéma de la figure pour une géogrillebiaxiale rigide et une géogrillebiaxialesouple.

Il est important de noter qu'une grille à mailles souples et déformables favorise l'enchevêtrement des grains (interlocking) dans le maillage et donc augmente sensiblement la capacité d'ancrage du produit (dans certaines conditions de granulométrie difficile à déterminer précisément). Le comportement mécanique dépend sur tout du matériau constitutif de la géogrille. De manière générale, peu d'essais et de préconisations correspondent au contexte des sols à forte granulométrie.



a) Géogrille rigide b) Géogrille souple

Figure I.19 : L'enchevêtrement des grains dans une géogrille rigide (a) et souple (b)

Ce mode d'action a pour effet d'obtenir une grande résistance au glissement et de réduire la longueur d'ancrage des nappes de géogrilles.

D'autre part, la nature même des géogrilles fait que leur module d'élasticité est élevé ce qui génère une grande résistance à la traction pour de faibles contraintes. En outre, le problème du fluage à long terme est réduit en grande partie.

Leur surface de contact avec le sol est plus faible: l'ancrage des géogrillesse fait essentiellement par le blocage d'éléments à l'intérieur des mailles. Ceci a pour effet d'augmenter la cohésion entre les grains. On peut ainsi obtenir des valeurs du coefficient de frottement > 1 lors d'un essai de cisaillement (Collios,1981).Ce phénomène dénommé la "pseudo-cohésion"(inter lockingen anglais),nécessite une bonne adéquation entre le diamètre moyen des grains et la taille de la maille. Les meilleurs résultats en ancrage semblent être obtenus pour des sols bien triés (Cu faible, granulométrie uniforme) et pour des diamètres de maille de l'ordre de 3 à 15 fois le D50.du matériau. D'unemanière générale les géogrilles présentent les caractéristiques suivantes:

✓ **Les avantages :**

- bonne résistance à l'endommagement.

- excellente perméabilité (colmatage impossible).

✓ **Les inconvénients :**

- peu de souplesse en flexion.

- recouvrement important conseillé (Tensar préconise1, 5m).

II.2.3. Les applications de sgéosynthétiques

Les géosynthétiques sont utilisés en solution pour beaucoup d'applications et les plus importantes sont les suivantes:

1. Séparation :

✓ **Objectif de séparation :**

La fonction séparation des géosynthétiques sert à empêcher la contamination des sols. Le phénomène de contamination n'est pas souhaitable dans une structure de chaussée puisqu'il contribue a diminuer sa capacité de transmission hydraulique, sa résistance a supporter les charges sans déformation, et a augmenter sa susceptibilité au gel.

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

✓ **Avantage :**

- Empêche la perte d'agrégats par pénétration ;
- Prévient la remonte des particules fines dans la fondation granulaire ;
- Conserve l'homogénéité des matériaux de fondation ;
- Préserve les matériaux naturels ;
- Réduit les volumes d'excavation.

2. Filtration :

✓ **Objectif de filtration :**

La fonction filtration est remplie lorsque l'on utilise un géosynthetique qui tout en laissant passer l'eau, retient les particules de sol et empêche la contamination des matériaux contigus

✓ **Avantage :**

- Remplace un filtre inversé de matériaux granulaires ;
- Facile à installer ;
- Réduit les volumes d'excavation.

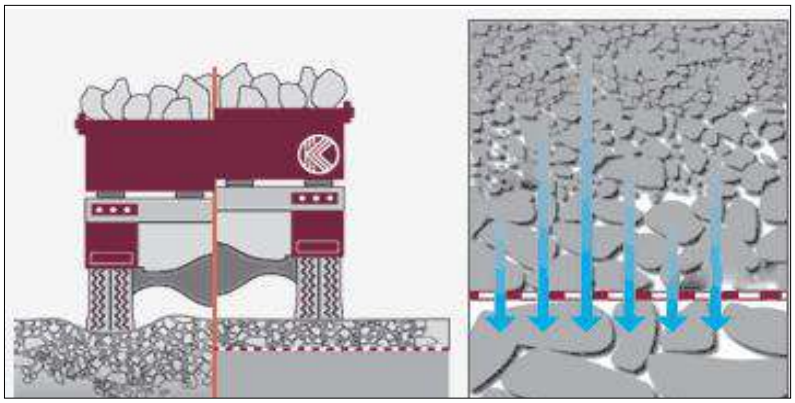


Figure I. 20 : L'utilisation desgéosynthétiques dans la séparation et filtration.

3. Drainage :

✓ **Objectif de filtration :**

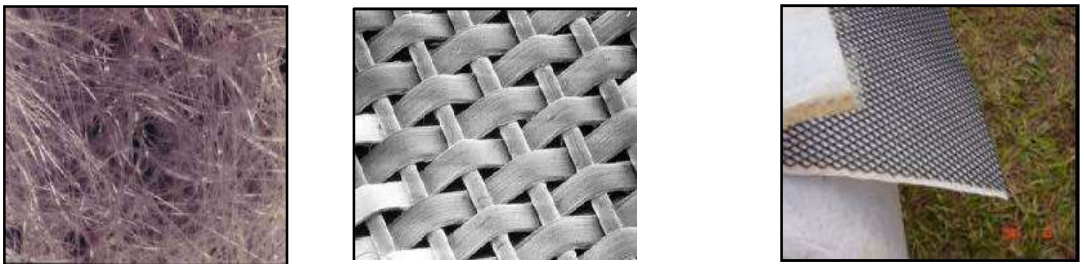
La fonction drainage décrit la nécessité de recueillir et de transporter les liquides présents sur ou dans une structure.

✓ **Avantage :**

- Permet un plan de drainage continu ;
- Assure une capacité drainante à long terme ;
- Réduit les volumes d'excavation ;
- Permet une économie de matériaux granulaires.

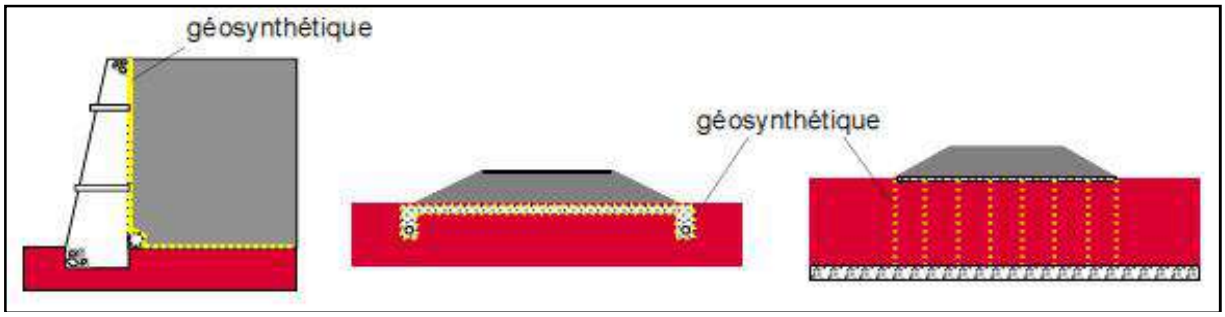
✓ **Types de produits utilisés en drainage :**

- Géonets de drainage en PEHD ;
- Géocomposite de drainage (géonet ou géotextile de drainage entre deux produits de séparation ou de filtration).



a) Géotextile non-tissé b) Géotextile tissé (macro) c) Géocomposite en drainage

Figure 1.21 : Géosynthétiquesen drainage et filtration.



a) Murs de soutènement b) Chaussées c) Drainage vertical

Figure 1.22 : Applications de géosynthétiquescomme drains et filtres.

4. Les géogrillesde lutte contre l'érosion et la remontée des fissures :

✓ **Objectif du contrôle d'érosion :**

Il existe plusieurs types de produits géosynthétiques destines a contrer l'érosion des sols, de façon temporaire ou permanente, et à favoriser l'implantation de la végétation.

✓ **Avantage :**

- Remplace les matériaux naturels dégradables ;
- Offre une meilleure conductivité hydraulique ;
- Présente une tarification et une disponibilité homogène dans le temps.

✓ **Types de produits utilisés au contrôle contre l'érosion :**

Nappes d'ancrage, produits végétaux naturels (fibre de coconut) Géotextile de végétalisation Structure souple en béton.

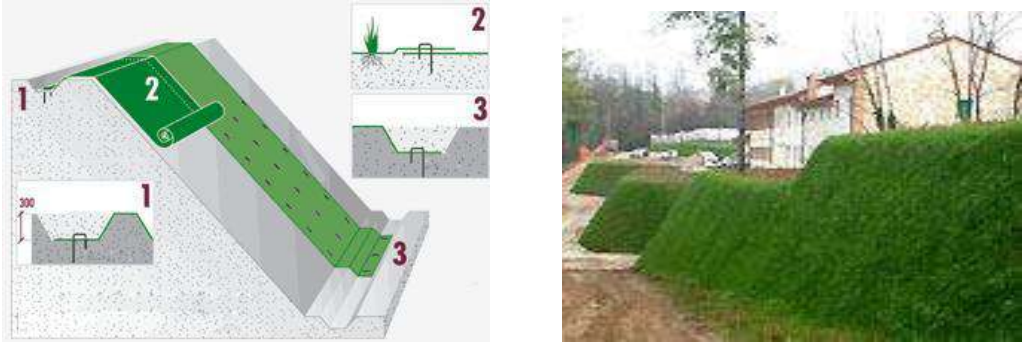


Figure I.23 : Les géogrillesanti-érosion.[11]

5. Renforcement de sol :

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



a) Renforcement de sol géogrille b) mur en terre renforcée par

Figure I.24. : Renforcementde sol.

✓ **Méthodes de renforcement**

Nos ancêtres ont fréquemment stabilisé des sols et des chemins à l'aide de corps végétaux: paille, foin, roseaux, arbrisseaux, branches de sapin, etc. Au-delà de cet ancien principe, qui fonctionne toujours sur des sols très peu portants, l'industrie actuelle offre aussi des techniques de stabilisation chimique (chaux, ciment, bitume, émulsion, résine, etc.) et de stabilisation à l'aide d'un géosynthétique (géogrille, géotextile de renforcement, etc.).

Le présent mémoire expose uniquement la stabilisation de l'infrastructure ou de la structure granulaire d'une chaussée à l'aide d'une géogrille ou d'un géotextile de renforcement, utilisé en guise d'armature dans les sols et les matériaux granulaires.

✓ **Objectif et fonction du renforcement**

Le renforcement par géosynthétique a pour objectif de s'opposer aux contraintes internes transmises dans la chaussée et le sol afin de limiter les déformations. L'expérience impose une distinction entre les cas d'application suivants :

– Augmenter la résistance d'une chaussée (typiquement sans revêtement);

– Augmenter la rigidité d'une chaussée (typiquement revêtue à l'enrobé bitumineux).

La notion de résistance renvoie fondamentalement aux états limites, elle intervient principalement dans le cas des chaussées faibles qui tendent à se déformer assez rapidement ou à défoncer, comme une chaussée sans revêtement construite sur un sol de faible portance.

La notion de rigidité s'applique à de très petites déformations, lorsque le matériau demeure sollicité à l'intérieur du domaine élastique. C'est le cas des chaussées revêtues qui cumulent en moyenne moins d'un millimètre de tassement permanent par année (orniérage) malgré le passage de dizaines de milliers de camions.

Le renforcement a un coût, mais il peut aussi permettre des économies en réduisant les épaisseurs de matériau granulaire et la profondeur des déblais requis, en facilitant la réalisation des travaux et en évitant le remaniement du sol d'infrastructure, en améliorant la qualité du compactage de la sous fondation (première couche plus mince), en atténuant les tassements différentiels, en empêchant la contamination des fondations et en augmentant la durée de vie structurale de l'ouvrage réalisé.

Outre la fonction de séparation, on peut retracer dans la littérature trois mécanismes distincts (figure I.25) pour expliquer l'effet d'un renforcement par géosynthétique.

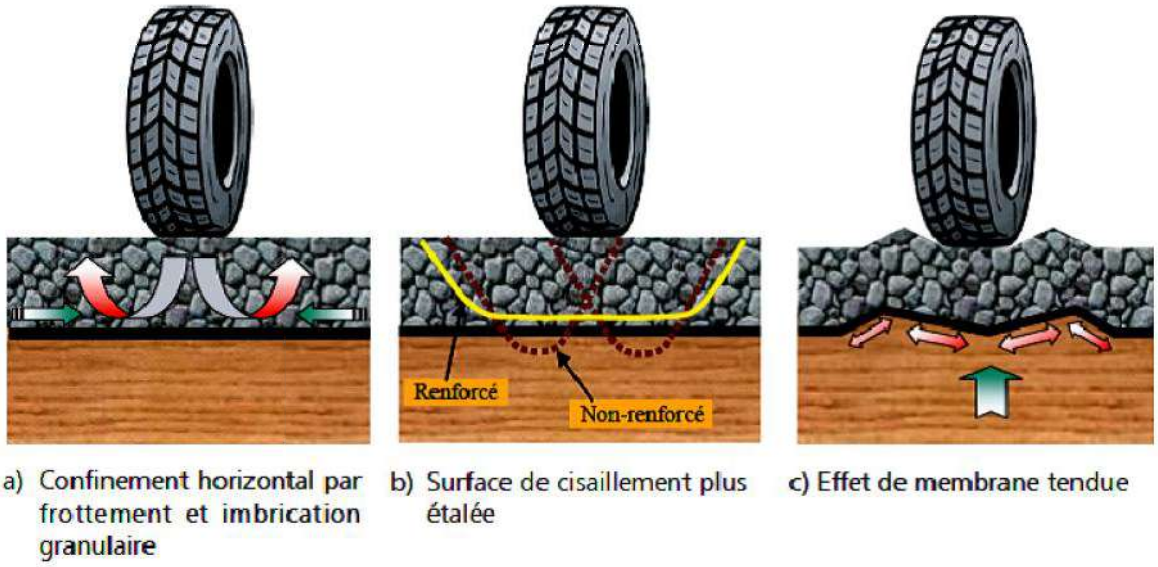


Figure I.25 : Mécanisme de renforcement par geosynthetique.[17]

✓ **Mécanisme de renforcement**

Le géosynthétique de renforcement produit tout d'abord un confinement horizontal (figure I.25.a), un peu à la façon d'une armature dans une poutre en béton. Cela peut contribuer à réduire les déformations dans le matériau granulaire et permettre à un sol argileux sous-jacent d'exercer sa résistance sur une plus grande surface (figure I.25.b). La littérature décrit ce gain comme un accroissement de capacité portante provenant de la

formation d'une zone de rupture par cisaillement plus généralisée, tandis que la rupture dans le cas non renforcé est localisée sur un plus petit volume de sol.[17]

Par la même occasion, le géosynthétique de renforcement reprend les efforts de cisaillement horizontaux qui autrement se produiraient le long de l'interface.

Finalement, lorsque les déformations sont assez importantes, ce qui ne se produit généralement que sur des chaussées sans revêtement, les contraintes en tension contribuent à soutenir la charge verticale à la façon d'une membrane tendue ou, en termes plus imagés, à la façon d'un hamac (figure I.25.c).

Ces trois mécanismes sont à la base des méthodes d'analyse et de conception des renforcements par géosynthétique, et la détermination de leur contribution respective fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. On peut dès maintenant affirmer qu'une des qualités les plus fondamentales qu'un géosynthétique de renforcement doit posséder pour mobiliser ces trois mécanismes est un haut module de rigidité en traction. Il ne faut pas confondre cette notion avec la résistance à la rupture, puisqu'un matériau peut présenter une grande résistance à la rupture mais s'avérer très déformable.

✓ **Spécifications pourles géosynthétiques de renforcement**

Les géosynthétiques doivent être protégés contre les rayons ultraviolets jusqu'à leur mise en place et résister aux agents chimiques et biologiques auxquels ils risquent d'être exposés (bases, acides, hydrocarbures, hydrolyse, micro-organismes). Ils doivent aussi conserver chacune de leurs propriétés malgré les dommages et contraintes physiques subis au cours de leur mise en place et de la compaction des matériaux granulaires sus-jacents.

Une inclusion géosynthétiquede renforcement doit remplir les deux fonctions suivantes:

- Avoir une bonne résistance à la rupture ;
- Mobiliser le frottement du sol.

- **Résistance et déformabilité**

La résistance des géogrillescroît avec la pression de confinement exercée par le sol sur la géogrille. L'essai adapté par Mc Gownetal(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 1.26)** proposé par Cristopher

(1983) et permettant de déterminer la courbe effort-déformation en traction d'une géogrille enterrée **(Figure 1.27)**.

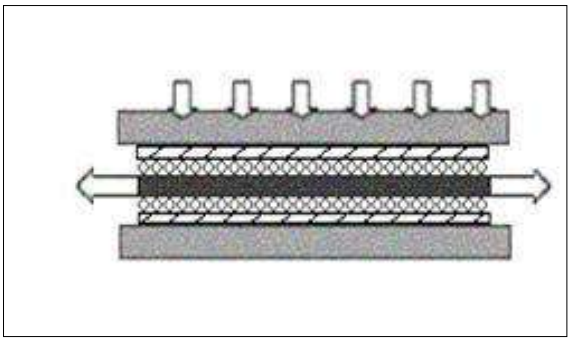


Figure I.26 : Essai de traction

Le fonctionnement à la traction est caractérisé par son module de raideur en traction (J) :

$$J = T_d / \varepsilon_d$$

Tf–Résistance à la traction ultime;
εf–Déformation à la rupture;
Td–Résistance à la traction de calcul;
εd–Déformation de calcul

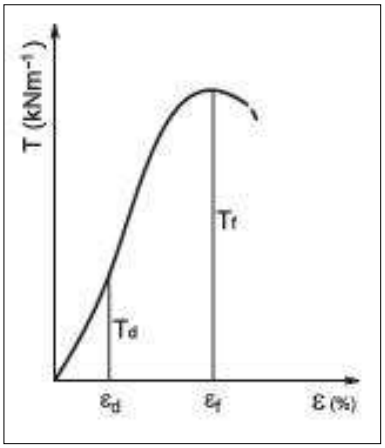


Figure 1.27 : Comportement typique d'une inclusiongéosynthétique à la traction.

Type de renforcement		Resistance à la traction (kN/m)		Regidite en flexion (g·cm)
		A 5% de deformation	A la repture	
1	Géotextile de renforcement (infrastructure seulement)	5	11	_
	Géogrille à nervures textiles (infrastructure seulement)	8	11	50

2	**Géogrille conventionnelle (infrastructure et fondation)**	8,5	12,5	250
3	**Géogrille à très forte rigidité (pour conditions difficiles)**	11,5	15	750

Tableau I.5 : Exigences mecaniques (longitunal et transversal) pour les géosynthétiques de renforcement**.[3]**

Il est souvent nécessaire de connaître le comportement en frottement du système sol-géogrillesurtout lorsque les géogrillessont utilisées comme éléments de renfort dans les ouvrages.

Le frottement dépend:

- des caractéristiques de résistance au cisaillement du sol,
- de ’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 1.28)**. Le sol placé dans la demiboîtesupérieure est bien frotté sur la géogrille qui est placée à la surface de la demiboîte inférieure. Cet essai ne nécessite pas ’appareillage complexe.

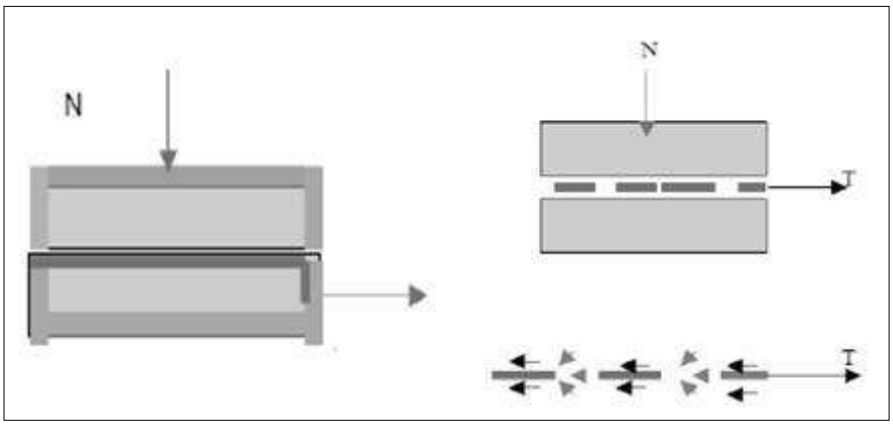


Figure I.2.8 : Boîte de cisaillement

- **Resistanceàl’endommagement**

L'endommagement peut avoir lieu de différentes manières, en fonction du type de géosynthétiqueutilisé, du type de sol, du compactage, de la présence de branches ou de débris...

Des essais types permettant de comparer le comportement des différents produits face au poinçonnement ou aux déchirures éventuelles peuvent être mis en œuvre suivant les spécificités du chantier.

Les produits les plus résistants à l'endommagement sont, par ordre décroissant, les géogrilles, géotextiles tissés puis les non- tissés (fibres longues puis courtes). Cet aspect devra être pris en considération pour l'utilisationdessolsgrossiersparticulièrementagressifsmécaniquement.

✓ **Conditions de mise en œuvre**

Bien que la procédure d'installation soit assez simple, la plupart des problèmes qui peuvent survenir découlent d'une technique d'installation inappropriée. Les chances de bien performer seront réduites si le géosynthétique est déchiré ou percé pendant les activités de construction. La présence de rides ou de plis peut empêcher le développement de l'effet renforçant découlant d'une bonne mise en tension.

Les autres problèmes se produisent en raison d'un endommagement du sol (orniérage, remaniement) antérieur au placement du géosynthétique ou en conséquence d'un recouvrement granulaire insuffisant au-dessus du géosynthétique. La mise en œuvre doit respecter les recommandations et les restrictions du fournisseur. Les étapes suivantes devraient être suivies en parallèle avec une observation prudente du déroulement des travaux de construction.[18]

✓ **Préparation de la surface**

La surface d'installation doit être uniforme, exempte de débris ou de terre végétale et conforme au profil planifié.

La mise en œuvre du géosynthétqiue se fait classiquement sur une couche de sol compacte. L'interface sol/geosynthetique est plane, ce qui peut en faire une surface de glissement préférentielle (< 1).

II.2.4. Mise en place des géosynthétiques

Dans tous les cas de renforcement par géogrilles, si un géotextile anti-contaminant est requis, il doit être placé le premier et la géogrille est placée par-dessus.

Le géosynthétique doit être étendu dans le sens de la circulation en commençant par les nappes situées sur les côtés ensuite par le centre. Le rouleau entier doit être placé aussi uniformément que possible et ne devrait pas être traîné sur la surface de l'infrastructure. Les

rides et les plis dans le tissu devraient être évités en étirant et en immobilisant le géosynthétique adéquatement.

Le géosynthétique peut être plié ou coupé pour se conformer à la géométrie des courbes (figure I.29).

Les plis ou recouvrements se font dans la direction de construction (tissu précédent sur le sommet) et doivent être tenus en place (épingles, agrafes, amas de matériau, ouvriers) tous les ± 0,6 m jusqu'à leur recouvrement.

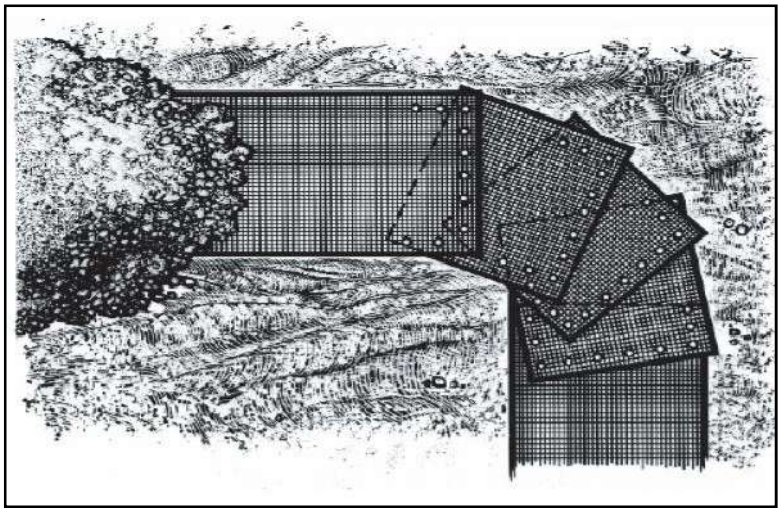


Figure I.29: Mise en place d'un géogrille dans une couche

Les géosynthétiques doivent être découpés pour épouser la forme des regards, boîtes de vannes, arrondis de trottoirs ou de toute autre discontinuité de la structure, le cas échéant.

Au contact d'une chaussée existante où un géosynthétique a été utilisé, le nouveau géosynthétique devrait idéalement se joindre à l'ancien.

La durée de l'exposition atmosphérique des géotextiles déroulés doit être inférieure à 14 jours pour minimiser le potentiel de dommages, incluant l'oxydation sous les rayons ultraviolets.

1. Assemblage des nappes

Les rouleaux adjacents doivent être assemblés par couture ou chevauchement, en conformité avec les plans et devis.

- ✓ **Assemblage par recouvrement**

Les géosynthétiques peuvent être agrafés ou fixés à l'endroit des recouvrements pour maintenir leur position pendant les travaux de construction.

- ✓ **Assemblage par couture**

Si le géotextile est assemblé par couture, le fil utilisé doit être aussi résistant et durable que le textile utilisé (polyester ou polypropylène) et être de couleur contrastée. Le fil en nylon ne devrait pas être utilisé.

Des coutures en « J » avec emboîtement des points sont recommandées. Des coutures doubles, espacées de 10 mm au maximum peuvent aussi être choisies comme solution de rechange. La résistance du géotextile peut devoir dépasser les spécifications afin de les atteindre une fois cousu.

2. Recouvrement du géosynthétique

Lors du recouvrement du géosynthétique, aucun véhicule ne doit être admis directement sur le géosynthétique,

Il faut limiter la hauteur des tas de matériau granulaire pour éviter d'endommager les sols trop faibles, et étendre ces tas aussitôt que possible jusqu'à la pleine épaisseur requise.

L'épandage de la couche initiale doit être fait avec précaution pour éviter la formation de vagues ou de replis dans le géosynthétique. La lame du bouteur devrait être graduellement levée à mesure que le matériau de remblai est poussé sur le géosynthétique de manière à épaissir la couche à la limite du recouvrement (figure I.30).[1]

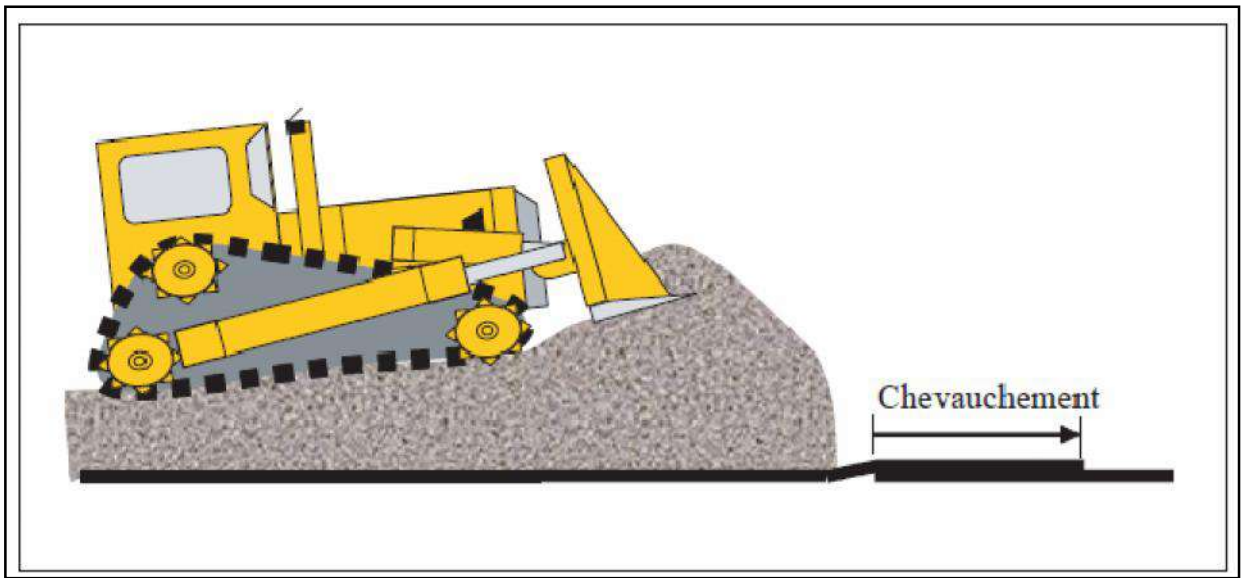


Figure I.30: Sens de chevauchement des nappes

Les couches granulaires doivent être étalées et nivelées en respectant les épaisseurs de compactage prescrites par le CCDG ou spécifiées par le concepteur. Pour les sols extrêmement faibles, des véhicules de construction légers seront probablement nécessaires pour accéder à la première couche de sous-fondation.

Une méthode de construction efficace consiste à placer momentanément une couche de matériau granulaire plus épaisse mais plus étroite au centre de la chaussée et d'étendre au dernier moment le surplus vers les côtés.

La première couche de sous-fondation peut être compactée avec les chenilles du bouteur ou avec un compacteur à rouleau lisse. Même en présence d'un géosynthétique de renforcemen, les exigences de compactage devraient être réduites de façon raisonnable (par exemple de 5 %) pour la première couche au-dessus des sols problématiques, puisque la densité optimale peut difficilement être atteinte.

La circulation sur la première couche de sous-fondation devrait se faire sans effectuer de manœuvres de virage, ceci pour ne pas transmettre d'efforts de torsion au géosynthétique.

Toutes les ornières qui se forment pendant la construction doivent être remplies par un ajout de matériau supplémentaire. On ne doit en aucun cas se contenter de les aplanir mécaniquement puisque cela diminuerait l'épaisseur du recouvrement granulaire situé entre les ornières.

3. Surveillance et inspection en chantier

Leur mise en place est aisée, mais les problèmes associés aux géosynthétiques proviennent le plus souvent d'une installation inappropriée ou d'une surveillance déficiente. Le surveillant doit lire et bien comprendre les plans et devis ainsi que les spécifications techniques.

II.2.5. Renforcement granulaire avec géogrillebiaxiale

Pour que le renforcement granulaire soit efficace, il faut transférer les charges qui s'appliquent sur les agrégats vers la géogrille tendue. Avec les géogrillesbiaxiales, on y parvient grâce à un « verrouillage mécanique », un procédé où les particules granulaires pénètrent partiellement dans les ouvertures de la géogrille et se figent en place lorsque le matériau est compacté (Figure I.31) Ce procédé est aussi appelé «confinement mécanique ».

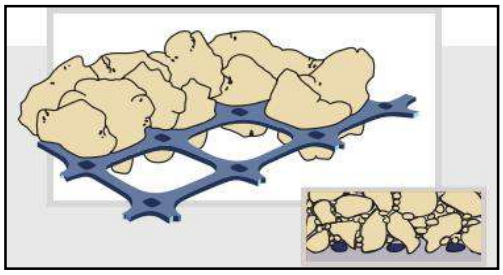


Figure I.31. : Verrouillage mécanique dunegéogrille

On pourrait comparer le verrouillage mécanique à un triangle de billard (Figure I.3.2). Le triangle retient les billes grâce à la raideur et à la force de ses coins (i.e. les joints). Pour retenir efficacement les billes, le triangle doit avoir des côtés hauts et plats. Le procédé unique utilisé pour fabriquer les géogrillesbiaxiales renforce la structure de la grille avec des joints

résistants et des nervures rigides. Il en résulte un rebord carré épais pour contenir la couche d'agrégats, permettant un verrouillage mécanique efficace.

Le triangle de billard est l'exemple que le confinement efficace des agrégats produit une « zone améliorée » qui s'étend bien au-delà de l'interface entre la géogrille et les agrégats. Le rendement de la route est considérablement amélioré grâce au figement des agrégats en place.

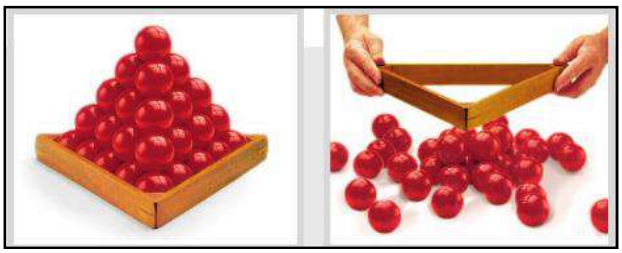


Figure I.32 : Comparaison du verrouillage mécanique à un triangle de Billiard

La force et la résistance des géogrillesbiaxiales lorsqu'elles sont soumises à une faible tension sont essentielles à leur rendement dans les applications routières. Une fois que le verrouillage mécanique a été effectué après l'épandage et le compactage des agrégats sur le dessus de la géogrille, les avantages du renforcement se manifestent dès que le trafic commence à circuler sur la route. Cela a clairement été démontré par une étude menée par l'Université du Montana pour le compte de la FederalHighway Administration (FHWA).

En créant une plate-forme rigide et en répartissant uniformément la charge, les géogrillesbiaxiales réduisent la contrainte appliquée au sol support.[1]

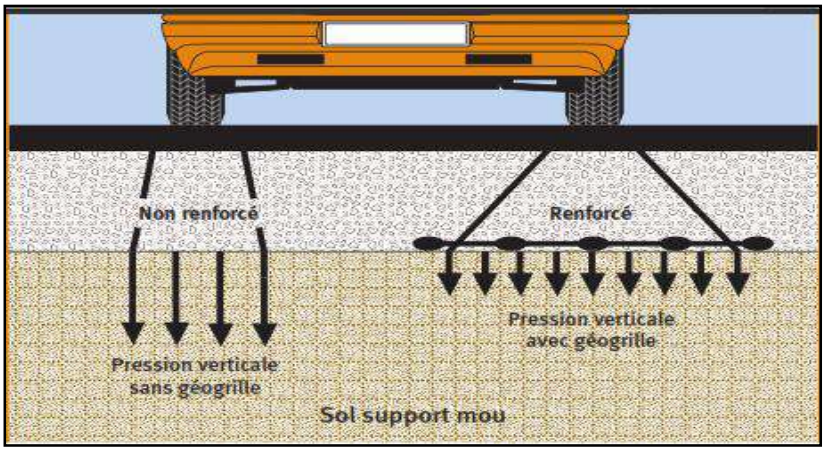


Figure I.33 : Répartition des charges dans une chaussée

II.2.6. Renforcement du sol support

Les sols supports (infrastructure) mous constituent un problème courant dans le domaine de la construction routière. Cela peut poser un problème à court terme s'il s'agit de la construction d'une route d'accès temporaire ou un problème à long terme dans le cas d'une

route permanente construite sur un sol support de faible portance. Dans les deux cas, une déformation importante du sol support entraînera la détérioration rapide de l'ensemble de la structure de la route.

Le confinement des agrégats dans les ouvertures des géogrillesbiaxiales procure une plate-forme granulaire plus rigide. Cette plate-forme améliore la distribution de la charge, comme une raquette répartit uniformément le poids d'une personne sur une plus grande surface de neige. Cet « effet de raquette » généré par les géogrillesbiaxiales réduit la contrainte appliquée au sol support (Figure I.34).



Figure I.34 : Effet de la raquette

Les géogrillesbiaxialessontfiables en tout temps. Avec une charge réduite appliquée uniformément sur des sols supports très variables, le compactage est plus uniforme que lorsqu'aucun renforcement n'est utilisé. Cela permet de réduire les coûts d'entretien et de réparation pour toute la durée de vie de la route.

II.2.7. Renforcement de fondation granulaire

Les systèmes de chaussée souple se détériorent souvent de façon prématurée, ceci en raison de l'affaiblissement progressif de la fondation granulaire par déplacement latéral des agrégats. Cela entraîne éventuellement la formation d'ornières à la surface de la chaussée. Le Système Spectra maintient la capacité structurelle et améliore le rendement du système de chaussée en maintenant les agrégats confinées dans la couche de fondation.

Le renforcement de fondation est une application traditionnellement utilisée pour les routes avec un revêtement en enrobés. Ces routes se caractérisent par un sol support relativement ferme avec un CBR supérieur à 3. Alternativement, si le sol support est mou, on peut utiliser une couche additionnelle d'agrégats et une géogrillebiaxialeafin d'améliorer la portance du sol support avant de placer les couches de fondations.

Dans les applications de renforcement de fondation, le mécanisme critique de rupture se produit lorsque le déplacement latéral des agrégats de la fondation granulaire s'effectue en s'éloignant du point de passage des roues. L'inclusion de géogrillesbiaxiales permet un confinementlatéral de la fondation, ce qui améliore le rendement de la chaussée (Figure I.35).

De nombreux essais ont été conçus pour déterminer les avantages d'utiliser les géogrillesbiaxiales pour le renforcement de la fondation granulaire. Le rendement d'une section donnée sans renforcement est comparé à celui d'une section comprenant un géosynthétique après le passage du trafic.

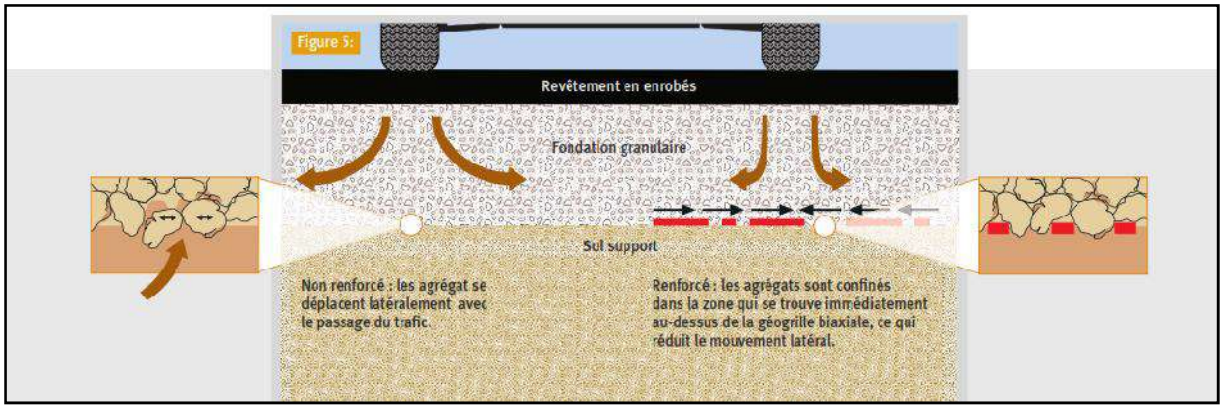


Figure I.35 : Renforcement de fondation d'une chaussée

II.2.8. Utilisation des Géogrilles à base de fibre de verre

1. Fibres de verre

La fibre de verre est un filament de verre. La fibre de verre permet :

- La réduction de poids en améliorant les performances ;
  - La résistance aux chocs ;
  - L'isolation.

Les principales utilisations de la fibre sont, par ordre d'importance :

- Les infrastructures routières et aéroportuaires
- Les bâtiments ;
- Les transports ;
- L'électricité et l'électronique ;
- Les sports et loisirs ;
- Les équipements industriels.

2. Utilisation de la fibre de verre en renforcement des chaussées souples

La fibre de verre trouve des applications dans plusieurs domaines notamment en renforcement, en isolation et en optique. L'utilisation en renforcement est la plus importante.

L'utilisation de la fibre de verre dans le renforcement des chaussées apporte une résistance en traction.

II.2.9. Perspectives

De nouveaux produits géotextiles devraient voir le jour dans le futur afin de répondre à des problématiques plus sophistiquées que celles auxquelles la gamme de géotextiles actuels, aussi large soit elle, peut répondre.

Parmi ceux-ci, plusieurs devraient être le fruit de l'utilisation conjointe des techniques conventionnelles de fabrication des géotextiles et des technologies nouvelles de "finition" des matériaux textiles, telles les technologies de fonctionnalisation par plasma. Dans ce cadre, on peut imaginer l'application des géotextiles dans une gamme diversifiée de nouvelles applications:

- Contrôle des odeurs
- Réduction de la pollution diffuse d'origine agricole
- Traitement de l'eau (potable, usée domestique, etc.)
- Traitement des sols contaminés
- Désalinisation de l'eau
- Barrière de gel
- Supports de croissance (aquaculture, etc.)

Les géotextiles devraient aussi augmenter leur marché dans une multitude de nouvelles applications, en combinaison avec d'autres matériaux.[16]

II.2.10. Conclusion

Les géosynthétiquesne doivent pas être perçus comme une source de complication ou de dépense additionnelle. Ils représentent au contraire une ressource pouvant grandement faciliter la réalisation d'un chantier sur un sol de piètre qualité.

Les géotextiles de séparation devraient être systématiquement utilisés lorsqu'un matériau de chaussée, généralement la première couche de sous-fondation ou de fondation granulaire, ne respecte pas le critère de filtre par rapport au matériau sur lequel il est déposé.

Les géogrilles et géotextiles de renforcement peuvent être utilisés pour réduire les coûts d'une chaussée non revêtue, plus vraisemblablement sur un sol de faible portance.

Le renforcement d'une par une géogrille ou par un géotextile reste un domaine prometteur.

Introduction

Dans ce présent chapitre, on va essayer de donner d'une manière brève une idée générale sur le mode de fonctionnement des deux logiciels utilisés dans ce mémoire : Alizé et Plaxis. Le premier logiciel est utilisé pour le dimensionnement de la chaussée, et le second pour la modélisation de cette dernière sans et avec renforcement avec des nappes de géogrille.

II.1. Calcul Alizé

II.1.1. Objet du logiciel Alizé

Le logicielAlizé-Lcpc met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement mécanique des structures de chaussées, développée par le LCPC et le SETRA.

La vocation première de la méthode rationnelle est d'encadrer les opérations de dimensionnement des chaussées neuves routières et autoroutières, pour toutes les classes de trafic (des chaussées à faible trafic aux chaussées à fort trafic). Dans ce contexte d'application, la démarche du dimensionnement, l'ensemble de ses hypothèses et les outils à mettre en œuvre sont totalement explicités.

Par ailleurs, la démarche générale du dimensionnement rationnel fait l'objet de diverses transpositions, visant son adaptation à d'autres types de dimensionnement: autres trafics (par exemple porteurs industriels, charges aéronautiques,…), autres problématiques de dimensionnement (par exemple renforcement de chaussées endommagées,…). Le logiciel Alizé s'applique également à ces utilisations particulières, sans que ses modalités de mise en œuvre soient, dans ce cas, totalement encadrées par une méthode officielle.

Dans tous les cas, le logiciel facilite la réalisation pratique des calculs numériques nécessaires au dimensionnement des structures de chaussées Cependant, le dimensionnement des structures de chaussées déborde largement de ces aspects numériques. Il reste une affaire de spécialiste de la mécanique des chaussées, auquel le logiciel n'a, en aucune façon, l'ambition de se substituer.

II.1.2. Démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées

En utilisation courante, la démarche du dimensionnement rationnel s'articule selon les trois phases principales suivantes :

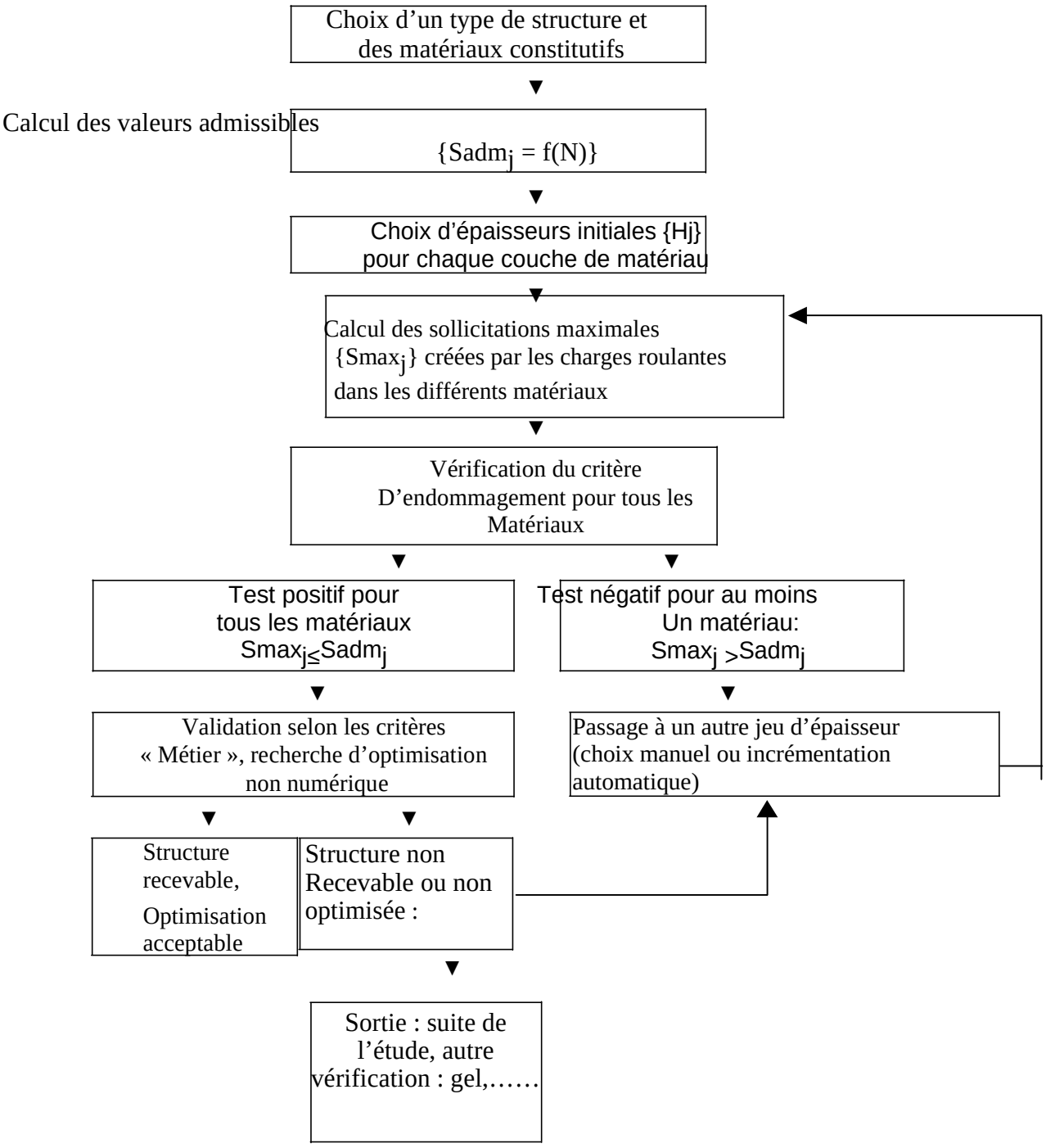


Figure II.1 : Démarche générale du dimensionnement ALIZE-LCPC [20]

La solution numérique au problème posé n'est pas, par ailleurs, unique. Le choix final fait aussi appel à des considérations technologiques (par exemple, épaisseurs minimales et maximales des couches suivant le matériau, suivant la classe de trafic, etc.), et empiriques (par exemple, épaisseur des couches de surface).

II.1.3. Structure et fonctionnalités du logiciel

Le logiciel Alizé-Lcpc est conçu pour fonctionner sur micros-ordinateurs compatibles PC, sous environnement Windows 98, XP,vista et seven

L'architecture globale du programme s'articule autour d'une interface Homme-machine pour la saisie des données et la présentation des résultats, et d'un moteur de calcul pour le calcul mécanique des sollicitations dans la structure de chaussées.

L'interface homme-machine est développée sous Visual-basic Edition professionnelle 6.0. Cette interface assure :

- ✓ La saisie de l'ensemble des données nécessaires à la mise en œuvre de méthode rationnelle;
- ✓ La présentation des résultats des calculs sous forme de tableaux et/ou de graphiques;
- ✓ L'affichage et la gestion de la bibliothèque des matériaux ;
- ✓ L'affichage d'un ensemble d'écrans d'aide, visant à assister l'utilisateur dans le choix pratique des hypothèses et des valeurs numériques à affecter aux différents paramètres de calcul, en fonction des spécificités du projet étudié.

1. Description du moteur de calcul Alizé

Le moteur de calcul permet la détermination des sollicitations engendrées par le trafic dans les différentes couches de matériaux constituant le corps de la chaussée. Il met en œuvre le modèle de Burmister. Ce modèle s'appuie sur la modélisation mécanique de la structure par un massif semi-infini, constitué d'une superposition de couches de matériau d'épaisseur constante, à comportement élastique linéaire isotrope. Les paramètres descriptifs du comportement mécanique de chaque matériau sont donc au nombre de deux: le module de déformation E et coefficient de Poisson ν.

Chaque interface entre couches adjacentes peut être prise collée, ou glissante, ou semi-collée.

Le chargement appliqué par les charges roulantes à la surface de la chaussée est représenté par un ensemble de disques circulaires, chargé chacun par une pression verticale uniforme et statique.

Toutes les combinaisons de charges élémentaires circulaires de ce type sont possibles. Ceci permet de reproduire les silhouettes d'essieu, de bogie, de véhicule ou d'ensemble de véhicules les plus diverses.

Dans les opérations de dimensionnement courant, un chargement unique, désigné chargement de référence, est en général appliqué à la surface du modèle.

Par exemple, le jumelage de 65kN (3,25kN par roue, pression de contact 6,62Mpa) constitue sauf cas particulier, la charge de référence pour le dimensionnement des structures de chaussée des réseaux routiers et autoroutiers français.

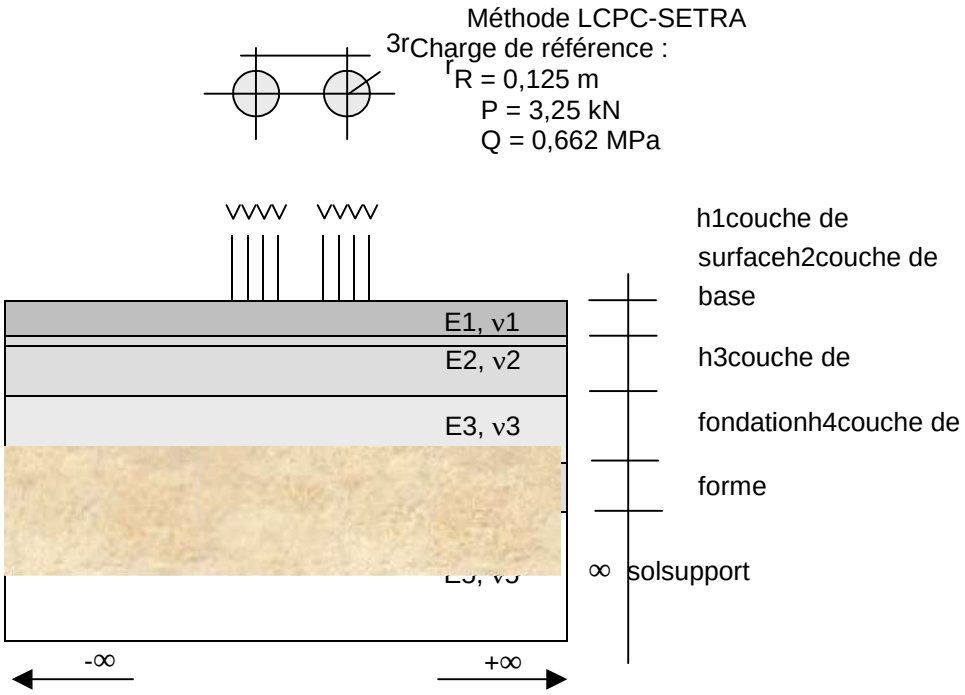


Figure II.2 : Moteur de calcul Alizé –problème traité, exemple [20]

Le modèle de calcul donne accès, potentiellement, aux tenseurs complets de contraintes et de déformations, ainsi qu'aux trois composantes de déplacement, en tout point de la structure. En utilisation courante, les résultats du modèle strictement nécessaires au dimensionnement se réduisent à la sollicitation maximale Smaxj supportée par chaque couche de matériau d'indice j (j=1 pour la couche de surface à j= nc pour le sol support).Suivant la nature du matériau concerné, Smaxj représente la grandeur suivante

Nature de matériau n°j	Définition de Smaxj
Matériau hydrocarboné	Valeur de la déformation d'extension Horizontale maximale εt maxj
Matériau traité au liant hydraulique et béton	Valeur de la contrainte de traction Horizontale maximale σt maxj

Matériau non traité et sol	Valeur de la déformation de compression verticale maximale σt maxj

Tableau II.1 : Les valeurs Smaxj selon la nature du matériau

II.2. Calcul « PLAXIS »

II.2.1. Présentation du logiciel « PLAXIS »

L'analyse de projets géotechniques est possible grâce à de nombreux codes éléments finis. L'ingénieur ayant de l'expérience en ce domaine sait que le poids des hypothèses permettent le passage de la réalité au modèle de calcul est difficile à évaluer.

Le code éléments finis « PLAXIS » représente scientifiquement, un outil d'analyse non linéaire en élasto-plasticité non standard, avec prise en compte des pressions interstitielles (et même la consolidation linéaire), doté de méthodes de résolution et d'algorithmes robustes, éprouvés, ainsi que de procédures de choix automatique évitant des choix délicats à l'opérateur peu averti. Du point de vue pratique, le système de menu arborescent à l'écran rend l'utilisation souple et agréable. L'ensemble des options par défaut (condition aux limites) rend la mise en données aisée et rapide.

Enfin, les options simplifiées (initiation des contraintes, pressions interstitielles) permettent d'aller droit au but (prévoir le comportement d'un ouvrage).

Un calcul par élément finis fournit une masse imposante de résultats: Des résultats directement utiles au projeteur: déplacements, contraintes, pressions interstitielles à un stade donné du chargement, et des résultats plus mathématiques concernant le déroulement du processus de calcul proprement dit. L'ensemble de ces résultats est accessible, selon que l'on est intéressé par l'un ou l'autre aspect; c'est également un système de menu arborescent qui permet de sélectionner les informations souhaitées.[7]

II.2.2. Les modèles de comportements utilisés

Les modèles de comportement de sols sont très nombreux: depuis le modèle élastique-plastique de Mohr-Coulomb jusqu'aux lois de comportement les plus sophistiquées permettant de décrire presque tous les aspects du comportement élasto- visco-plastique des sols, aussi bien sous sollicitation monotone que cyclique. Ces modèles ont été développés dans le but d'être intégrés dans des calculs par éléments finis.

1. Comportement élastoplastique

Le comportement élastoplastique peut être représenté par un modèle monodimensionnel, en série d'un ressort de raideur K, pour symboliser l'élasticité du matériau, et d'un patin de seuil S_0 (figure II.3).

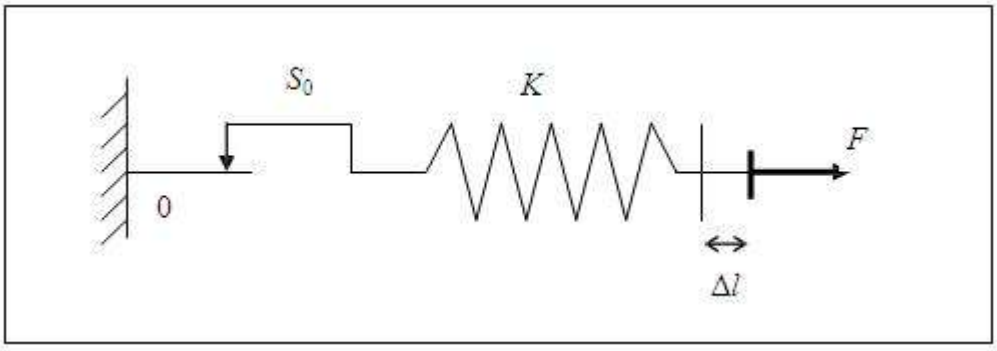


Figure II.3 : Modèle monodimensionnel du comportement élastoplastique.

La courbe effort-déplacement ou contrainte-déformation que l'on trouve est présentée sur la **figure II4.**

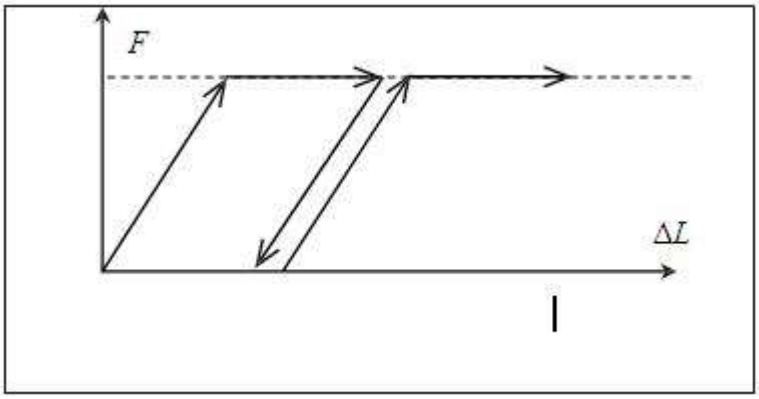


Figure II.4: Représentation du comportement élastique parfaitement plastique.

Lors d'une décharge, le comportement est élastique et réversible. La longueur de la déformation plastique est a priori indéterminée.

Le type de comportement représenté par les figures II.3 et II.4 est un comportement élastique-plastique sans écrouissage.

La figure II.5 représente un comportement élastique-plastique avec écrouissage.

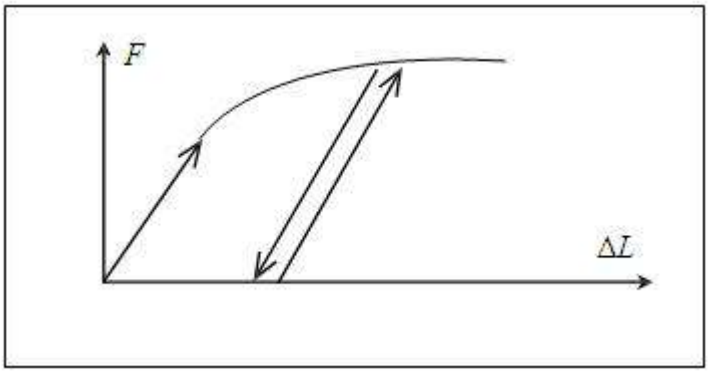


Figure II.5 : Représentation du comportement élastoplastique avec écrouissage.

II.2.3. Conclusion

Cette description rapide des différents modèles utilisés dans PLAXIS montre qu'il s'agit de modèles suffisamment simples pour qu'il soit possible d'en déterminer les paramètres avec une étude géotechnique classique ou avec des corrélations. Il n'y a dans ces modèles aucun paramètre de calage ou sans signification physique comme on en rencontre souvent dans des modèles sophistiqués. Souvent la détermination des paramètres nécessite des techniques d'optimisation. Ces modèles appartiennent au domaine de recherche.

La détermination des paramètres géotechniques à entrer dans PLAXIS n'est pas différente d'un choix de paramètres de calcul manuel pour un calcul de tassement ou de stabilité : à partir d'essais, il est indispensable d'arriver à ce que l'on pourrait appeler un modèle géotechnique de terrain. Certains des paramètres sont différents dans leurs expressions, mais toujours reliés à des paramètres géotechniques classiques. Le paramètre le moins courant est vrai semblablement l'angle de dilatance.

III.1. Problématique

III.1.1. Description du problème

Dans ce mémoire, il s'agit d'évaluer l'apport des géogrilles intercalées entre les couches du sol support et la couche de base en tant que matériaux de renforcement. Cette étude est menée en prenant un corps de chaussée souple neuf choisis au niveau du dédoublement de la RN01 dans la Wilaya de Médéa. La géogrille est intercalée sous la couche de fondation GNT1 ainsi que sous la couche de bas GB2e tout en faisant diminuer les épaisseurs de ces deux dernières couches, et celle du roulement en dernier pour essayer de voir l'efficacité des géogrille sur la portance de la chaussée, ainsi que pour pouvoir évaluer le gain possible des matériaux utilisés.

Notre étude consiste à dimensionner le corps de chaussée souple neuf en utilisant le «Alize-lcpc», ensuite insérer les résultats obtenus dans «Plaxis8.2» pour mener une modélisation et un calcul en éléments finis, ensuitefaire une comparaison de résultats en considérant séparément les cas avec et sans renforcement.

III.1.2.SituationduProjet (Site)

La section (3) du projet dédoublement « RN1 » débute au Sud–Ouest de Moudjbeur **(figure III.1),** jusqu'auNord-Est de Ksar elBoukhari, lieu de la wilaya de Médéa ; le tracée projeté suit parallèlement la RN1.

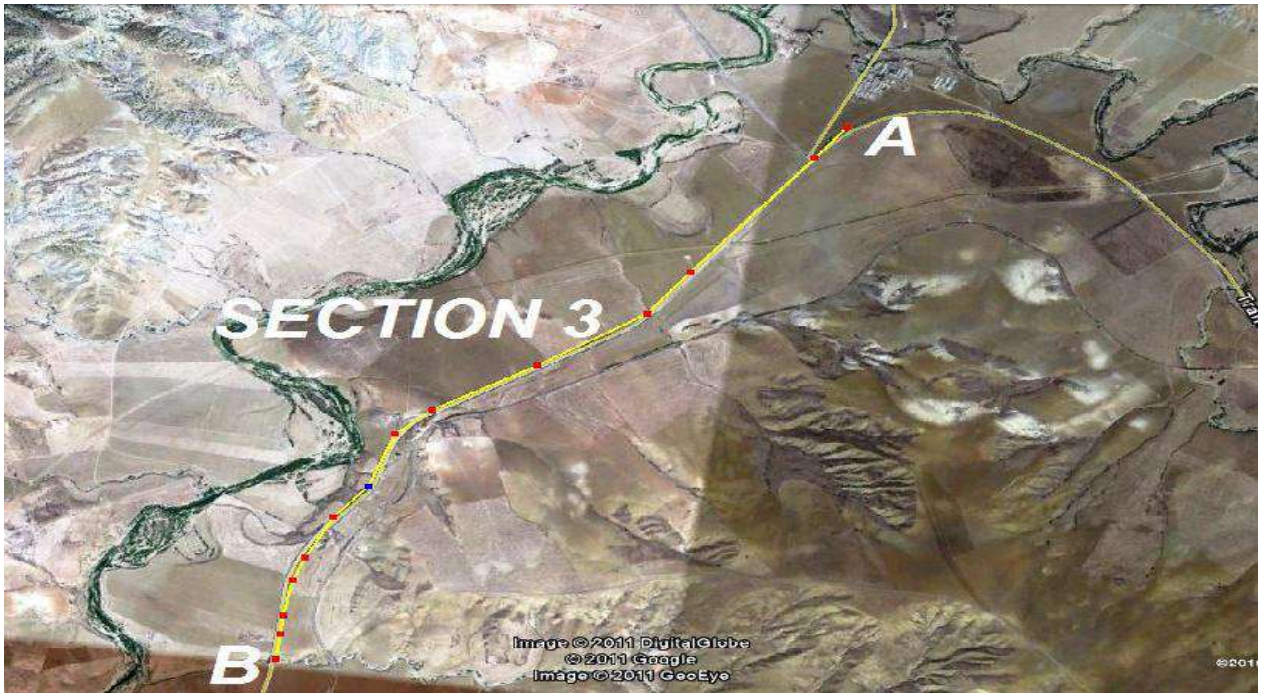


Figure III.1 : Situationapproximative de lasection 3.

	X	Y	Elévation
A	35°56'56.56" N	2°47'10.19" E	678m
B	35°55'27.83" N	2°46'08.89" E	696m

Tableau III.1 : cordonées de la section (Référence : GOOGLE EARTH)

III.1.3.Rapport d'essais en laboratoire

PuitsN°		P-005-3.3-S3
Profondeur (m)		0.5–3.7
Teneur en eau naturelle(Wn) (%)		9.35
Densitésèche,(γd)(t/m³)		1.71
Densitéhumide,(γ_h)(t/m³)		1.87
Degrédesaturation(%)		45.22
VBS		7.01
Limites d'Atterberg	WL(%)	51
	WP(%)	25
	IP(%)	26
	Ic	1.6
Analyse chimique en(%)	Insolubles (%)	69.2
	Carbonates (%)	14.50
	Gypses (%)	6.82
	Chlorures (%)	0.18
	Sulfates (%)	1.27
	Matièreorganique(%)	5
Granulométrie Tamisât en(%)	Dmaxmm	0.4
	<2mm	99
	<80µm	78
	<60µm	66
	<2µm	47
Proctor normal	γdOPM(t/m³)	1.81
	Wopm (%)	13.1
CBRà95%		1.72
Classification GTR		**<A_2m>**

Tableau III.2 : Résultats des essais au laboratoire

P-005-3.3-S3

1. Le sol est de classe $A_{2:\ sol\ fin}$.
2. La densité dévoile un sol dense de mauvaise portance.
3. La teneur en eau indique un sol légèrement humide.
4. La valeur de l'indice de plasticité indique un sol plastique.
5. Le taux de carbonate témoigne d'un sol argileux peu marneux.
6. Le sol est agressif à cause de la présence des chlorures et des gypses.
7. Le taux des sulfates atteste un sol fortement agressif.
8. Le sol est faiblement organique.
9. L'indicedeconsistance caractérise dessols très consistant.
10. Le VBS indiqueun sol fin argileux et sensible a l'eau.
11. L'indice CBR indiqueun solàfaibleportance.

Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée).

Dés que l'Ip atteint des valeurs ≥12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté.

Date d'essai	Position PK	couche	EV2 (Moyenne)	K	Spécification	OBS
23-04-2012	0+000auPK0+125 Section 3	Fond de forme	395	1.35	K < 2.5 EV2<450 Bars	Faible portance du sol support
21-04-2012	0+125auPK0+250 Section 3		363	1.38	K < 2.5 EV2<450 Bars	
26-04-2012	0+450auPK0+550 Section 3		137.62	1.44	K < 2.5 EV2<450 Bars	Présence des grandes déformati-onssuperfic ie-lles (matlasage)
26-04-2012	0+350auPK1+550 Section 3		131.20	1.66	K < 2.5 EV2<450 Bars	

Tableau III.3 :Résultats de l'essai de chargement a la plaque dans la section S3 de pk 0+000 au pk 1+550 (suivant la NORME **NF P 94 - 117-1**)[8]

NB : Les résultats de la réception de fond de forme (sol support) dans la section étudiée sont avéré faibles EV2 < 450 suivant les règlements des travaux de terrassement routiers.

III.2. Calcul par le logiciel « ALIZE »

Dans le but de dimensionner une chaussée souple sous sollicitions du trafic généré à l'année de prévision de la fin de la durée de vie de cette chaussée on a utilisé lesrecommandations du catalogue Algérien dedimensionnement deschaussées neuvesduMinistère desTravauxPublicsd'AlgérieetleGuideTechnique français de construction deschausséesneuves (SETRA2003).

La vérification et la modélisation des structures proposées du corps de chaussée a été effectuées à l'aide du logicielAlizé-LCPC du LaboratoireCentraldesPontsetChaussées,France.

III.2.2. Calculs et dimensionnement de la chaussée

1. Sollicitations dues au trafic

✓ **Classes de trafic**

Le trafic supporté par cette chaussée est classée selon le volume de poids lourds par jour et par voie, pour une durée de vie de 10ans, selon les classes suivantes:

La classe de trafic lourd des chaussées à l'étude est définie par le calcul suivant :

$$N\,(PL) = 30\%.\ TJMA_{2022}$$

TraficPL=trafictotal(TJMA)dela voielaplussollicitéeX30%(pourcentagetotalde poidslourds) :

TPL 0 : 0-50 PL/j/sens
TPL 2 : 100-150 PL/j/sens
TPL 5 : 600-1500 PL/j/sens
TPL 6 : 1500-3000 PL/j/sens
TPL 7 : >3000 PL/j/sens

2. Valeurscaractéristiquesdedimensionnement

Les valeurs TPL utilisées pour le dimensionnement sont pour l'année horizon 2022.

L'analyse des données de l'étude de trafic réalisé dans l'APD permet d'identifier les volumes de trafic présentés au tableau 1.

Section Berrouaghia-Ksar El Boukhari				
Année	**TJMA/Sens**	**Volume PL (30%TJMA)**	**Volume PL survoie de design**	**TPL**
2012	**4.16**	**1.24**	**1.12**	**6**
2022	**23.98**	**7.19**	**6.47**	**7**

Tableau III.4: Volumes de trafic lourd. Données obtenues de l'étude APD.

Actualisationdesdonnéesàl'année2011:**Volume PL survoie de design (30%PL)**: MJA=**1313 PL /j /sens/vois.**

Le volume de poids lourds retenu pour le dimensionnement structural des chaussées de la RN-01 dans le tronçon Berrouaghia-Ksar El Boukhari est de classe TPL7.

L'augmentation de trafic prévue selon l'étude de trafic nous donne un taux d'accroissance arithmétique annuel presque le 5%.

3. Caractéristiquesdessol-supports

✓ **Classesdeportance**

Les valeurs CBR utilisées pour la classification des sols-supports sont basées sur les résultats des puits de reconnaissance, essais et analyses effectués dans la section S3 étudiée (Rapport geologique et geotechnique)

L'analysedecesdonnéesindiquequelessols-supports surlesquelsserontconstruitsles diverstypesdechausséessontdetypesS4(CBR<5)danslazoneduprojet.

4. Caractéristiques des matériaux de la chaussée:

Les matériaux de construction routière considérés dans le cadre du dimensionnement structural sont :

- Pour la couche de roulement béton bitumineux (BB),

-Couche de base, grave bitume (GB2)

-Couche de fondation (GNT1).

Le suivant tableau présente les propriétés de ces matériaux telles que considérées dans le cadre des calculs de dimensionnement structural des chaussées.

✓ **Caractéristiques des matériaux routiers :**

Élément de la chaussée	Matériaux	Propriétés mécaniques	
		(E) Module (Mpa)	Coefficient Poisson
Couche roulement	BB	5400	0,35
Base	GB2	9300	0,35
Fondation	GNT 1	600	0,35
Sol-support	S4 (pf 2)	50	0,35

Tableau III.6 : Caractéristiques des matériaux routiers

5. Méthodologie de dimensionnement structural

Le dimensionnement structural de la chaussée été réalisé en trois étapes:

- ✓ Calcul de la déformation horizontale admissible à la base de la couche de base bitumineuse ($\varepsilon_{t,ad}$)
- ✓ Calcul de la déformation verticale admissible sur le sol-support.($\varepsilon_{z,ad}$)

$\varepsilon_{z,ad}=22x10^{-3}xTCEi^{-0,235}$

$\varepsilon_{t,ad}=\varepsilon_6(15^oC,10Hz)xk_{ne}xk\theta xk_rxk_c$

- ✓ Validation de structures de chaussées.

Pour le nouveau corps de chaussée on propose la structure suivante, qui sera validée en suivant la méthode décrit ci-dessus.

Revêtement	Base	Fondation	Sol-support
8 cm BB	20cm GB 2	40cm GNT1	S4

Tableau III.7: Dimensionnement de la chaussée étudiée

6. Calcul des déformations admissibles

Le tableau suivant présente les paramètres de calcul ainsi que les déformations admissibles calculées pour les divers types de chaussées du projet selon le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du Ministère des Travaux Publics de l'Algérie.

Coefficient d'agressivité VL	Duréedeviedu dimensionnement (années)	MJA (PL /j/sens/vois)	Risque de calcul (%)	Température équivalente (°C)	Collage des couches	Déformation admissible horizontale à La base del a GB2 (µdéf)	Déformation admissible verticalesur sol-support (µdéf)
0,6	10	1313	5	15	Oui	$54,4X10^{-6}$	$396,3X10^{-6}$
Trafic (n) cumulé d'essieux équivalents de 13 t pour la durée de vie du dimensionnement.							

Tableau III.8: Paramètres de dimensionnement structural

7. Calcul des déformations sous le chargement standard et selon les caractéristiques des matériaux de la structure de chaussée et du sol-support

Les calculs des déformations sous charge ont été effectués selon le modèle multicouche élastique et linéaire de Burmister (méthode mécaniste-élastique).Les calculs ont été réalisés avec le logiciel Alizé III, développé par le Laboratoire Central de Pontset Chaussées de France.

Les déformations ont été calculées en points d'application de la charge de l'essieu standard de13 tonnes, pneus jumelés, utilisée en Algérie, soit sous la roue extérieure, à l'entraxe (entre les 2 roues) ainsi que sous la roue intérieure. La déformation la plus importante a été retenue pour fins de validation de la structure de chaussée.

8.Validation des structures de chaussées

On a pris les corps de chaussée définis dans le «Catalogue de dimensionnement des Chaussées Neuves» du Ministère de Travaux publiques. Ces structures on été vérifiés à l'aide du logiciel Alizée-lcpc.

Ces validations sont consistées à comparer les déformations calculées, pour divers arrangements de matériaux de construction routière et de sols-support à l'aide du logiciel AlizéIII, aux déformations admissibles.

9. Chaussée souple: RN01

Section	Revêtement	Base	Fondation	Sol-support
RN01 S3	8cm BB	20 cm GB2	40 cm GNT1	S4 (PF2)

Tableau III.9 : Dimensionnements de la chaussée souple étudiée

Section	Déformation calculée à la base de la GB2 (µdéf)	Déformation admissible (µdéf)	Validation	Déformation calculée sur le sol- support (µdéf)	Déformation admissible (µdéf)	Validation
RN1(S3)	52 ,5x10^{-6}	54 ,4x10^{-6}	OK	188,1x 10^{-6}	396,3X10^{-6}	OK

Tableau III.10 : Déformations notées dans la chaussée étudiée sur Alizé

- Déflexion maximale=37,0 mm/100(entre-jumelage) ;
- Rayon de courbure=1236,2m (entre-jumelage).

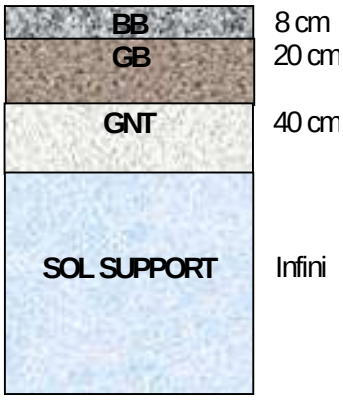


Figure III.2: Structure de corps de la chaussée étudiée.

III.2.3. Résultats

1. Dimensionnement des structuresde chaussées

Selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra.

✓ **Signalement du calcul:**

- donnéesStructure: saisie écran
- originefichier D:\...\...\ mémoire chaussée souple.dat
- titre de l'étude: chaussée souplern 01- Structure gb2/gnt1/pf2-TraficTC7
- donnéesChargement:
- jumelage standard de 65kN
- pressionverticale: 0,6620MPa
- rayon de contact: 0,1250m
- entraxe jumelage: 0,3750m

Unités: m,MN etMPa; déformations enµdéf;
déflexions en mm/100

Notations:

X=axetranversalY=axe longitudinal Z=axevertical
R=axeverticalroue J=axevertical entre-jumelage

✓ **Tractionsprincipales majeuresdansleplanhorizontal XoY et compressionsprincipales majeures selonlaverticale ZZ ;déflexion maximale**

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
			surface(z=0.000)		
h= 0,080m E= 5400,0MPa	0,000m	28,6X-J	0,317X-J	15,7Z-R	0,658Z-R
nu= 0,350	0,080m	10,2X-J	0,250X-J	51,3Z-R	0,562Z-R
			collé (z=0,080m)		
h= 0,200m E= 9300,0MPa	0,080m	10,2X-R	0,401Y-J	24,1Z-R	0,562Z-R
nu= 0,350	0,280m	**-52,5X-R**	-0,639Y-J	49,8Z-R	0,053Z-R
			collé (z=0,280m)		
h= 0,400m E= 600,0MPa	0,280m	-52,5Y-J	-0,015Y-J	101,4Z-R	0,053Z-R
nu= 0,350	0,680m	-70,8Y-J	-0,059Y-J	82,7Z-R	0,009Z-R
			collé (z=0,680m)		
h infini E= 50,0MPa	0,680m	-70,8Y-J	0,000Y-J	**188,1Z-J**	0,009Z-J
nu= 0,350					

- Déflexion maximale=37,0 mm/100 (entre-jumelage) ;
- Rayon de courbure=1236,2m (entre-jumelage).

✓ **Calcul de Valeur admissible- matériau: bitumineux- gb2 données de trafic:**

- MJA= 1313pl/j/sens/voie
- accroisstarith.= 5,00%
- période de calcul= 10,0 années
- trafic cumuléNPL=5 870 800PL

- **Données déduites:**

- accroisst géom.= 4,43%

- **Trafic cumulé équivalentNE :**

- coefficientCAM= 0,80

- trafic cumuléNE =4 696 600 essieux**standard données sur le matériau**:

- Epsilon6= 80,00µdéf
- pente inverse 1/b=-5,00
- TétaEq= 15°C
- moduleE(10°C) = 12300Mpa
- moduleE(TétaEq) = 9300MPa
- Ep. bitumineusestruct.= 0,200m
- écarttypeSh= 0,025m
- écarttypeSN = 0,300
- risque= 5,0%
- coefficientKr = 0,7440
- coefficientKs= 1/1,2
- coefficient Kc = 1,3

- **EpsilonTadmissible**= 54,4µdéf.

✓ **Calcul deValeur admissible- matériau:gnt et solsdonnées detrafic:**

- MJA= 1313pl/j/sens/voie
- accroisstarith.= 5,00%
- période de calcul= 10,0 années
- trafic cumuléNPL=5 870 800PL

- **Données déduites:**
- accroisst géom.= 4,43%

- **Trafic cumulé équivalentNE :**
- coefficientCAM= 0,80
- trafic cumuléNE =4 696 600 essieux**standard données sur le matériau:**
- coefficientA= 12000
- exposant=-0,2220

- **EpsilonZ admissible**= 396,3µdéf.

➢ **Interface de calcul dans alize-lcpc**

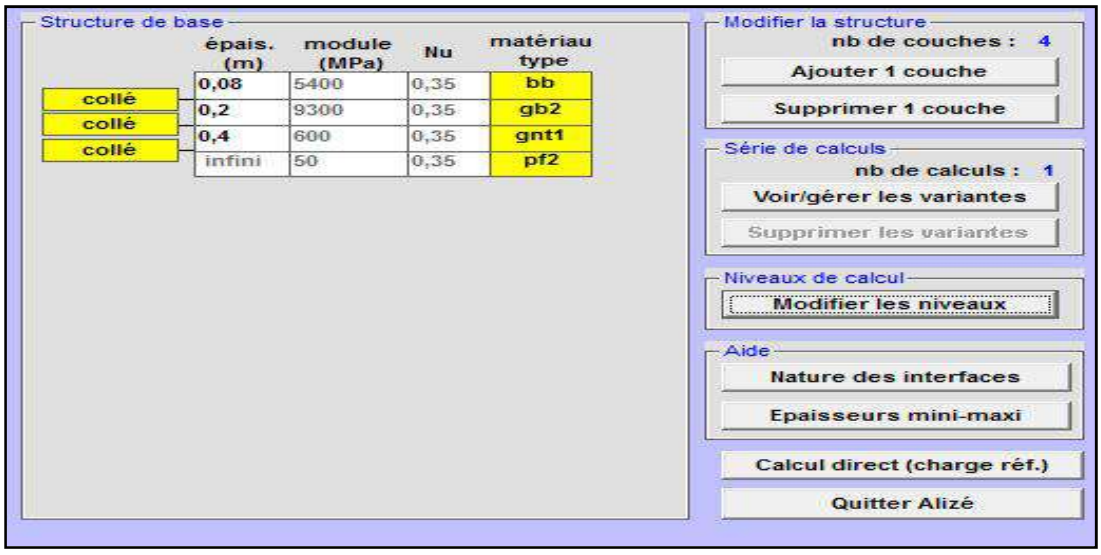


Figure III.3 : Définition de la structure de chaussée.



Figure III.4 : Résultats du calcul mécanique.

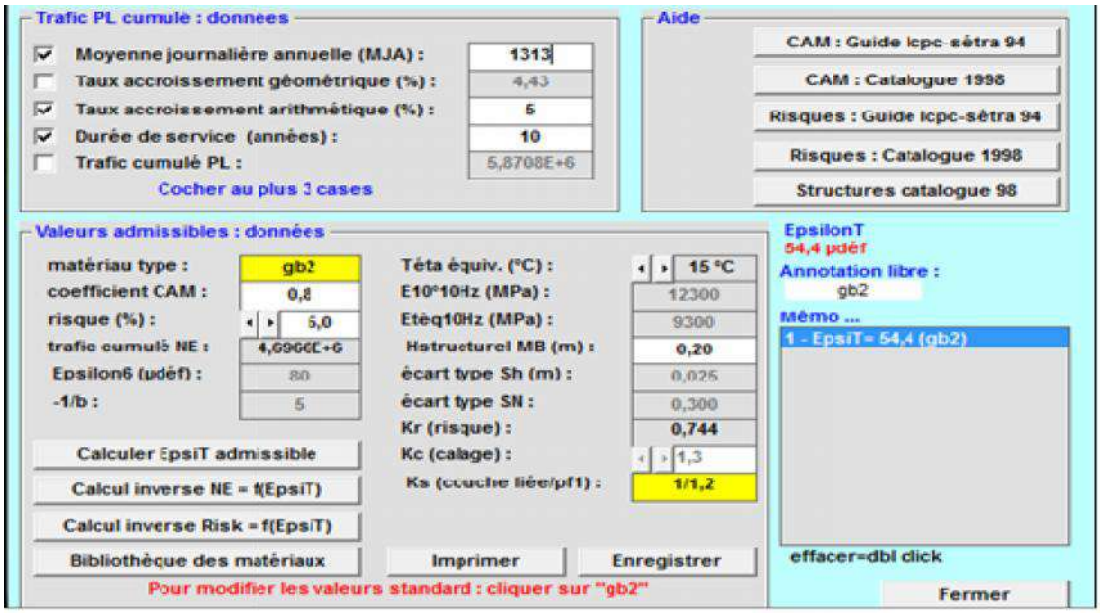


Figure III.5 : Calcul de valeurs admissibles EpsiT

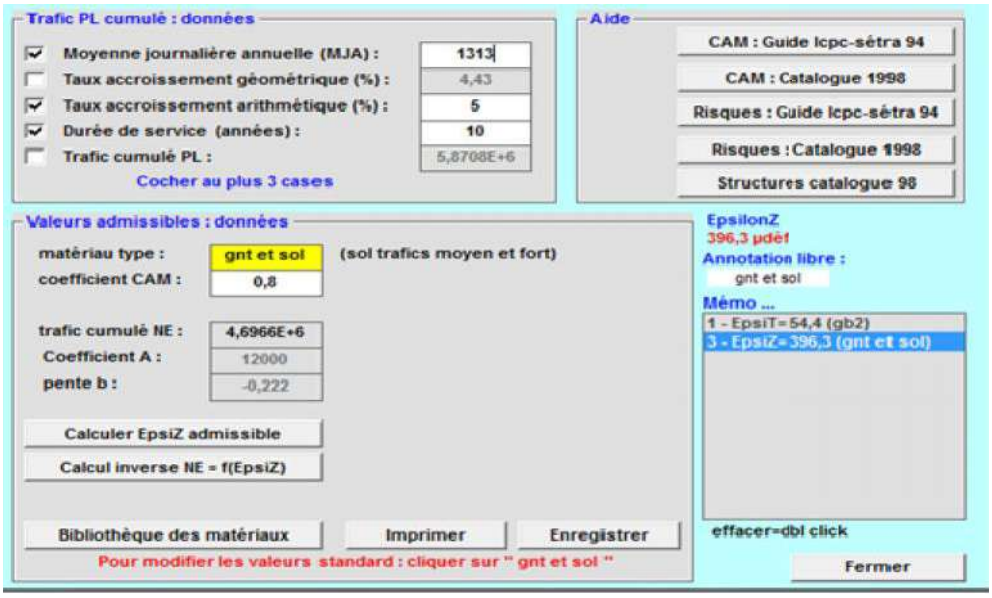


Figure III.6 : Calcul de valeurs admissibles EpsiZ

gnt et sols

statut	nom	E (MPa)	nu	A faible trafic	A fort trafic	pente b
system	gnt1	600	0,35	non défini	non défini	non défini
system	gnt2	400	0,35	non défini	non défini	non défini
system	gnt3	200	0,35	non défini	non défini	non défini
system	gnt-be	360	0,35	non défini	12000	-0,222
system	gnt-inv	480	0,35	non défini	14400	-0,222
system	pf1	20	0,35	16000	12000	-0,222
system	pf2	50	0,35	16000	12000	-0,222
system	pf3	120	0,35	16000	12000	-0,222
system	pf4	200	0,35	16000	12000	-0,222

Figure III.7: Bibliothèque des matériaux GNT et sol support.

matériaux bitumineux

									Variations E(10hz) = f(température)					
statut	nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	T= -10	T= 0 °C	T= 10	T= 20	T= 30	T= 40
system	bb	5400	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	14800	12000	7200	3600	1300	1000
system	bbdr	3000	0,35	/	/	/	stdard	/	8220	6670	4000	2000	720	560
system	bbme	9000	0,35	/	/	/	stdard	/	24670	20000	12000	6000	2170	1670
system	gb1	7000	0,35	70	5	0,4	stdard	1,3	18000	14000	9000	5000	2000	800
system	gb2	9300	0,35	80	5	0,3	stdard	1,3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb3	9300	0,35	90	5	0,3	stdard	1,3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb4	11000	0,35	100	5	0,3	stdard	1,3	27200	22240	14550	7450	3190	1180
system	eme1	14000	0,35	100	5	0,3	stdard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
system	eme2	14000	0,35	130	5	0,25	stdard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000

15 °C-10hz

Figure III.8 : Bibliothèque des matériaux bitumineux

III.3. Calcul par le logiciel « Plaxis »

Introduction

Ce chapitre résume les plus importants résultats obtenus à partir d'une simulation numérique par éléments finis d'une chaussée souple renforcée par des nappes de géogrilles.

III.3.1 Données géométriques du modèle

Point	X[m]	Y[m]
0	0,00	0,00
1	2,00	0,00
2	2,00	1,50
3	0,00	1,50
4	0,00	1,42
5	2,00	1,42
6	0,00	1,17
7	2,00	1,17
8	0,00	0,77
9	2,00	0,77
10	0,75	1,50
11	1,25	1,50

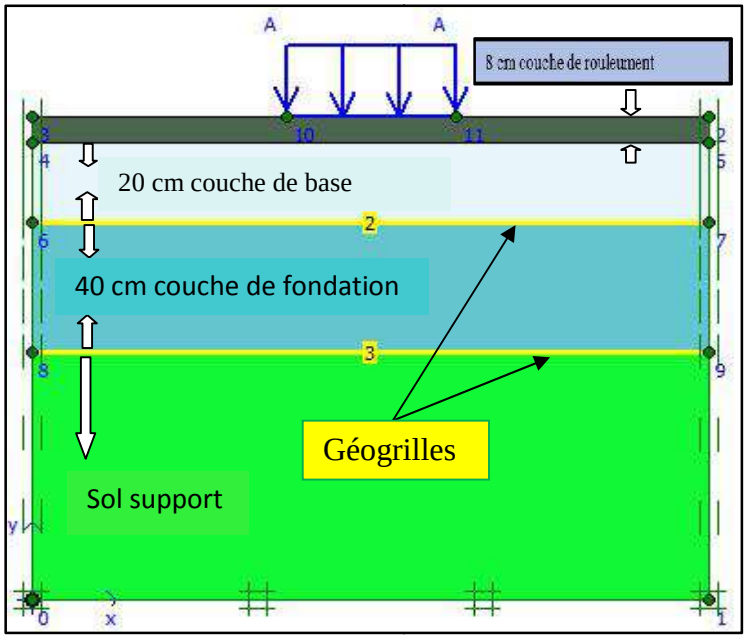


Figure III. 9 : La géométrie du problème.

La **figure III.9** montre la géométrie d'une chaussée souple avec une couche de fondation GNT1 de 40cm, une couche de base GB2 de 20cm, et une couche de roulement de 8cm, la largeur de géogrille à partir de l'extrémité de chaque couche de la chaussée. On prend en considération uniquement deux nappes de renforcement, l'une sous la base de la couche de fondation, et la seconde sous la base de la couche de base puisque notre objectif est de déterminer l'effet de ce renforcement sur la chaussée, les traits de la couleur jaune modélise les Eléments de renforcement (géogrilles).

III.3.2 Propriétés des matériaux du modèle

Nature de la couche	Paramètres avancés		
Sol support	γ_{unsat} = 16 kN/m ^{3}	Module d'élasticité (module de Young) $E_{réf}$ = 5*10^4 kN/m^2	
	γ_{sat} = 18 kN/m ^{3}	Coefficient de poisson υ(nu) =0.35	
	Perméabilité = 1*10^{-3} m/Jour	Caractéristiques mécaniques	$C_{réf}$ = 5kN/m^2
	Type de calcul : Mohr-coulomb		φ=25°
	Drainage : drained		ψ=0 °

Tableau III.11 : caractéristiques mécaniques du sol support.

Couche de fondation GNT	γ_{unsat} = 21 kN/m ^{3}	Module d'élasticité (module de Young) $E_{réf}$ = 6*10^{5}kN/m^2	
	γ_{sat} = 21 kN/m ^{3}	Coefficient de poisson υ(nu) =0.35	
	Perméabilité = 0 m/Jour	Caractéristiques mécaniques	$C_{réf}$ = 1 kN/m^2
	Type de calcul : Mohr-coulomb		φ=30°
	Drainage : drained		ψ=0 °

Tableau III.12 : caractéristiques mécaniques de la couche de fondation.

Couche de base gb2	γ_{unsat}= 22 kN/m ^{3}	Module d'élasticité (module de Young) $E_{réf}$ = 9.3*10^6 kN/m^2	
	γ_{sat} = 22 kN/m ^{3}	Coefficient de poisson υ(nu) =0.35	
	Perméabilité = 0 m/Jour	Caractéristiques mécaniques	$C_{réf}$ = 1 kN/m^2
	Type de calcul: Mohr-coulomb		φ=30°
	Drainage : drained		ψ=0 °

Tableau III.13: caractéristiques mécaniques de la couche de base.

Couche de roulement BB	γ_{unsat} = 24 kN/m ^{3}	Module d'élasticité (module de Young) $E_{réf}$ = 5.4*10^6 kN/m^2	
	γ_{sat} = 24 kN/m ^{3}	Coefficient de poisson υ(nu) =0.35	
	Perméabilité = 0 m/Jour	Caractéristiques mécaniques	$C_{réf}$ = 1 kN/m^2
	Type de calcul : Mohr-coulomb		φ=30°
	Drainage : Not drained		ψ=0 °

Tableau III.14: caractéristiques mécaniques de la couche de roulement.

L'unique propriété du matériau géogrille est la rigidité élastique EA qui est prise dans cette étude égaleà1100 KN/m, ce qui correspondant à une géogrille de type Tensar BX1100.

Charge ponctuelle (t)	Surcharge sur la chaussée (t/m²)
13	6,5

Module de rigidité biaxiale (1100) EA :	1100 kN/m

Tableau III.16: Charges et surcharges. Tableau III.15: Propriété du matériau géogrille.

III.3.3. Calculs:

1. Présentation du modèle étudié

Dans la présente étude, afin deconcevoir un modèle d'un corps de chaussée souple dont le sol support est faible, on utilisera un modèle en éléments finis en déformation plane .

Le massif est au fur et à mesure renforcé par un géogrille biaxiale (en trois étapes), en diminuant les épaisseurs des couches de façon à ce que la portance de la chaussée soit toujours vérifiée.

2. Maillage et conditions aux limites

« Plaxis » permet d'utiliser des éléments triangulaires pour modéliser les couches de sol et autres éléments de volume. L'élément choisi dans cette étude est le triangle à15 nœuds qui fournit une interpolation du quatrième ordre pour les déplacements et une intégration numérique qui se fait sur douze points de Gauss (points de contrainte).

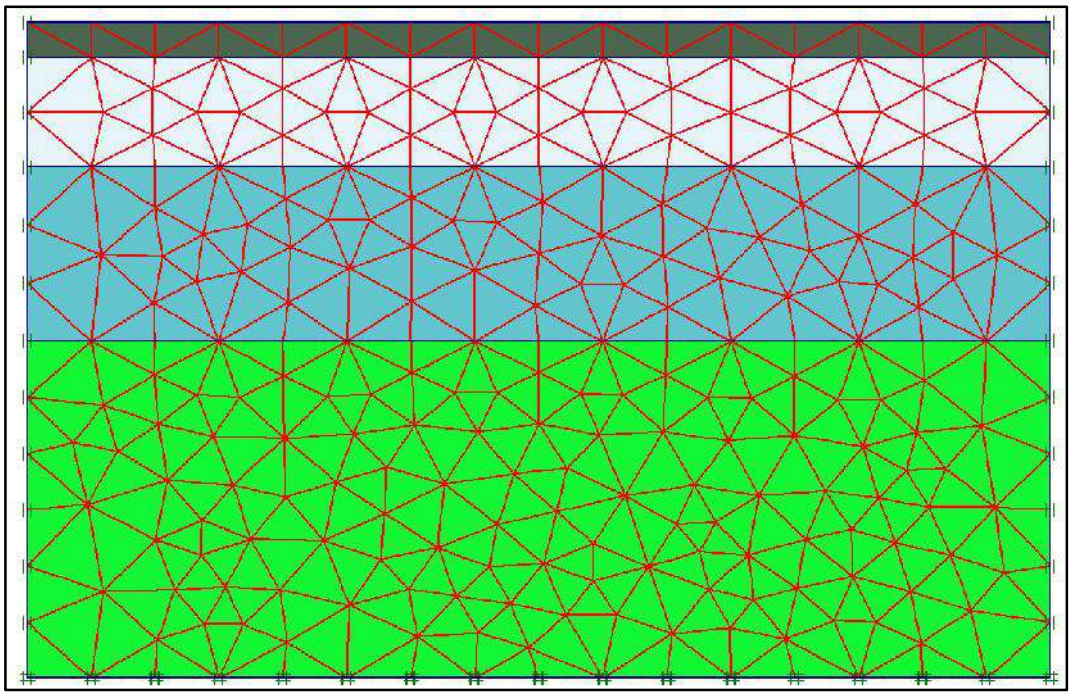


Figure III.10 : Génération du maillage sans renforcement.

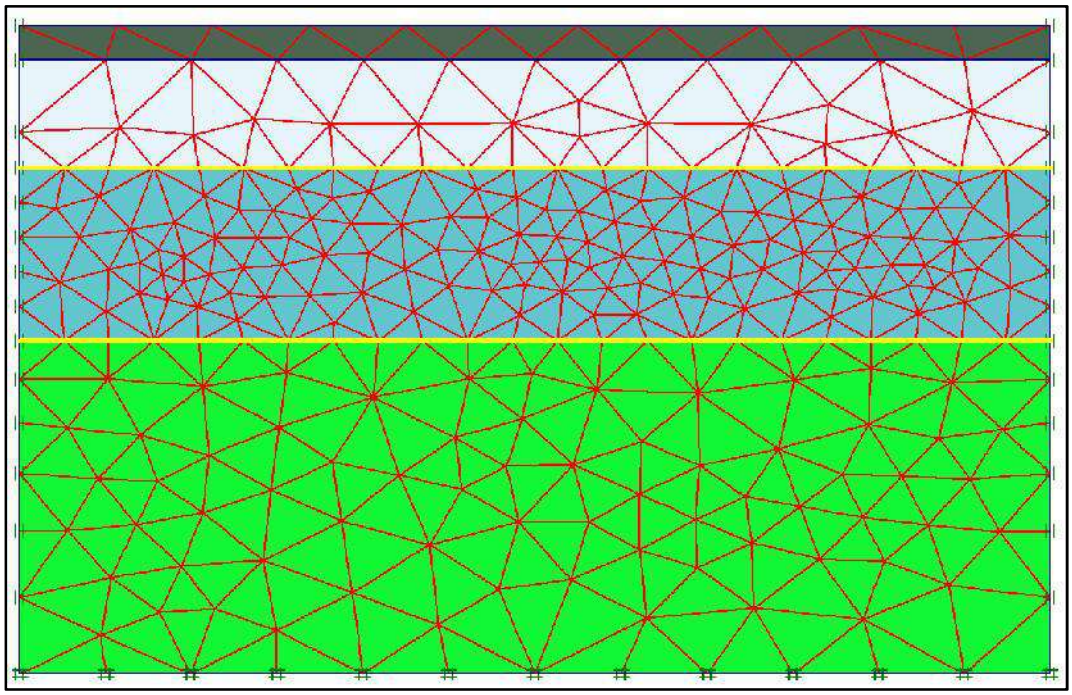


Figure III.11: Génération du maillage avec renforcement.

3. Analyse

Dans toutes les analyses effectuées dans la présente étude, nous supposons que la chausseest situéesur la surface du sol et le sol est cohérent (argile).

4. Résultats

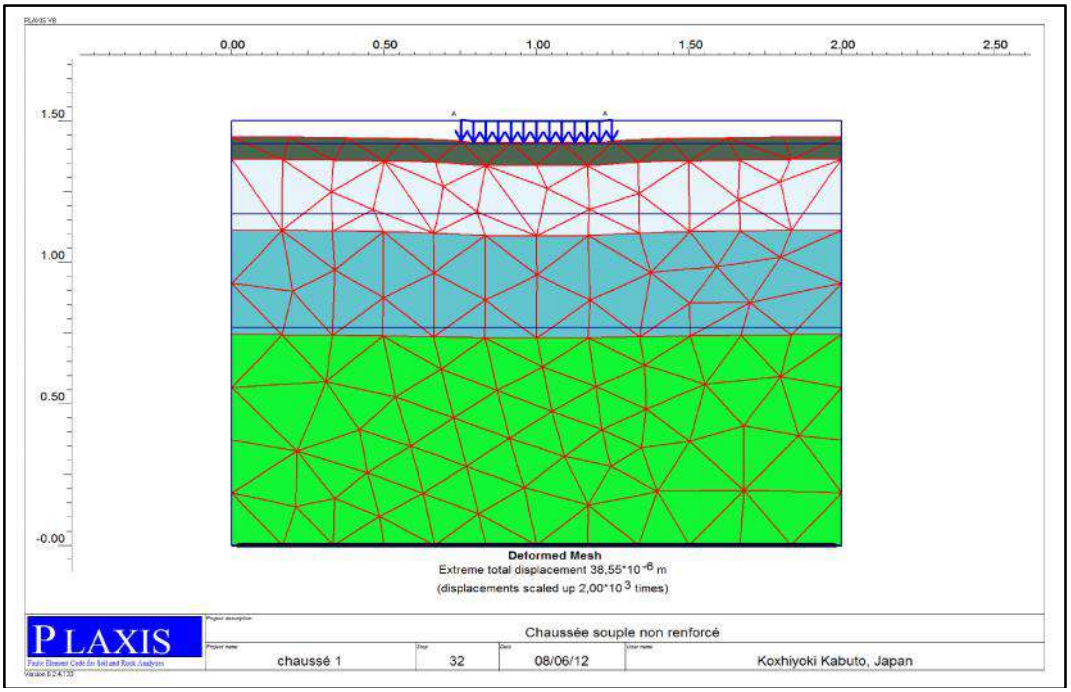
Les principaux résultats d'un calcul d'éléments finis sont les maillages déformés, les déplacements, les déformations et les contraintes.

On présente ci-dessous quelques résultats typiques pour la chaussée non renforcée et renforcée selon les 4 cas suivant :

✓ **Chaussée souple non renforcée :**

Lors de la modélisation et le calcul du corps de chaussée non renforcé, on a obtenu un déplacement vertical total de 38.55×10^{-6} m (Figue III. 12).

a)



b)

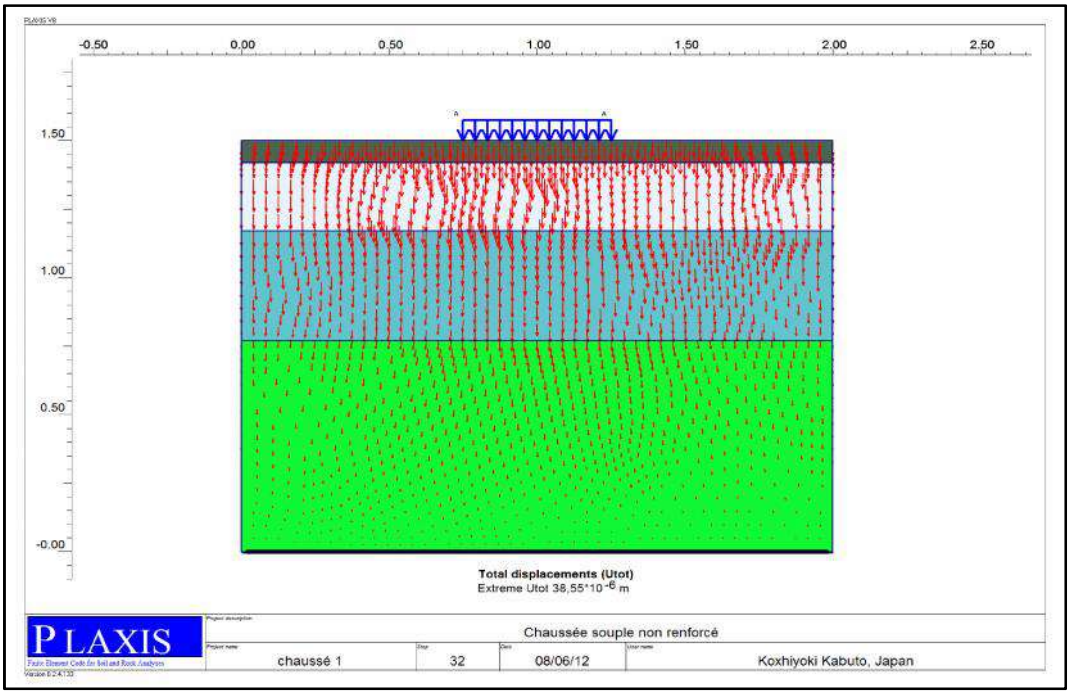


Figure III.12 : Déplacement total dans la chaussée non renforcée

A l'aide dune coupe sous la couche de base (GB2), on constate que la valeur du déplacement vertical total est la même que celle du déplacement admissible obtenue par le calcul de « Alize –LCPC », soit : $37x10^{-6}$ m, (**Figure** III.13 **).**

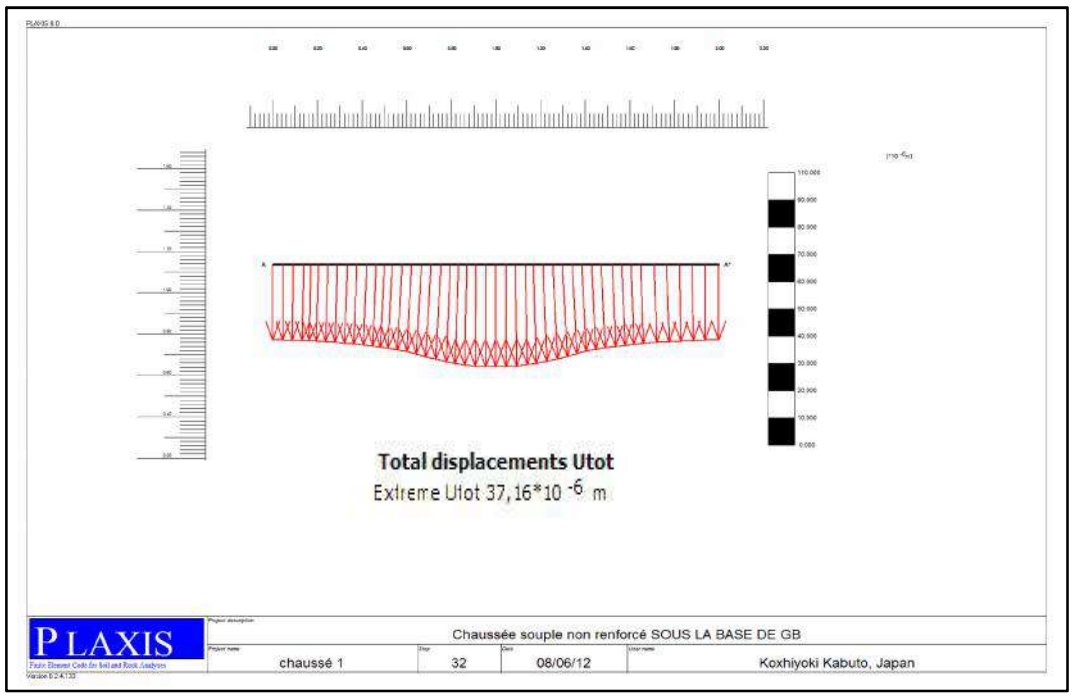


Figure III.13 : Déplacement total sous la base de GB2 de la chaussée non renforcée

Le déplacement vertical total sous la couche de fondation (GNT), a une valeur de 18.44 x 10^{-6} m.(Figure III.14 **).**

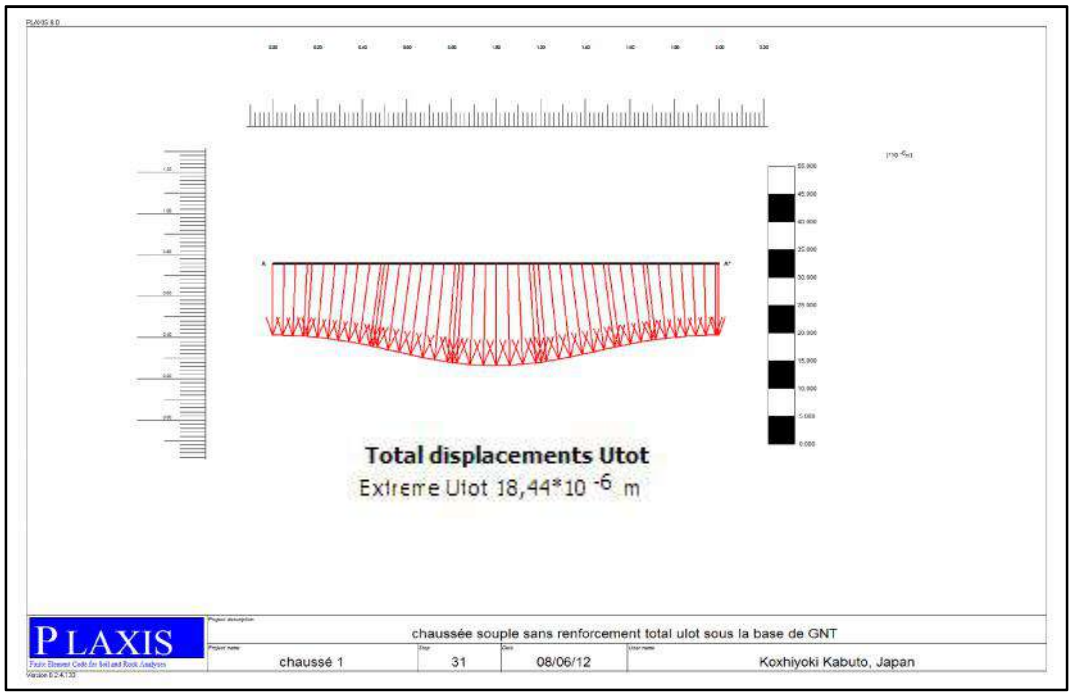


Figure III.14 : Déplacement total sous la base de GNT de la chaussée non renforcée

La déformation dans la chaussée souple non renforcée est extrême sous la base de la couche de fondation (GNT) (interaction sol-GNT),(Figure III.15 **).**

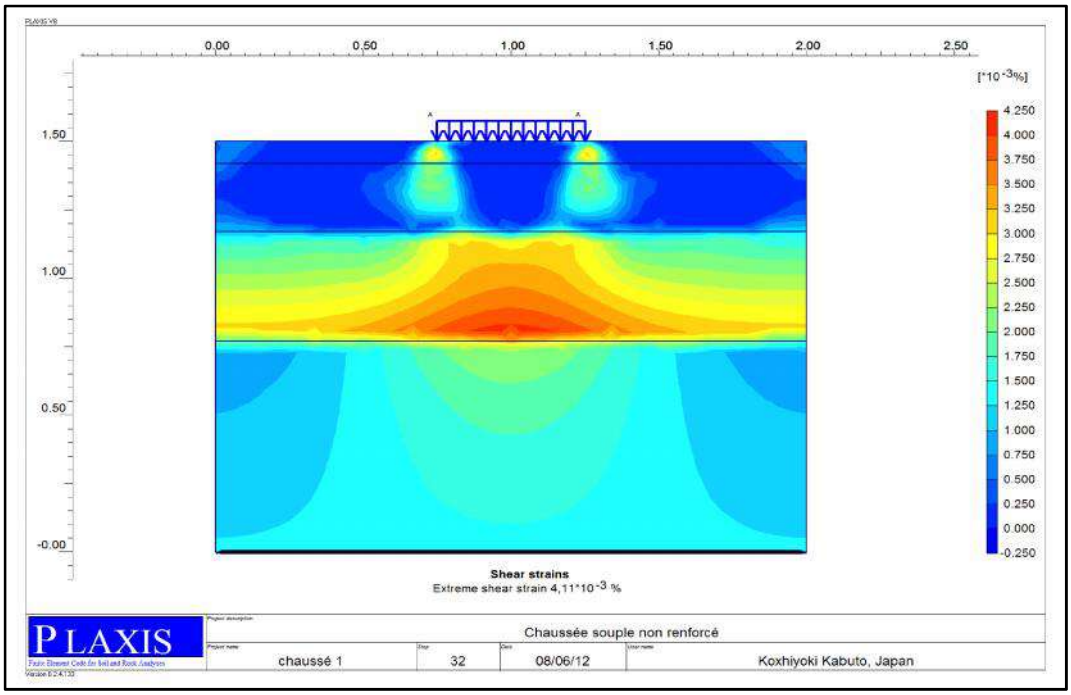


Figure III.15 : Déformation totale dans la chaussée non renforcée

La figure ci-dessousnous donne la valeur de la contrainte qui est de -30.07 kN/m^2, ainsi que sa répartition dans les couches,(Figure III.16 **).**

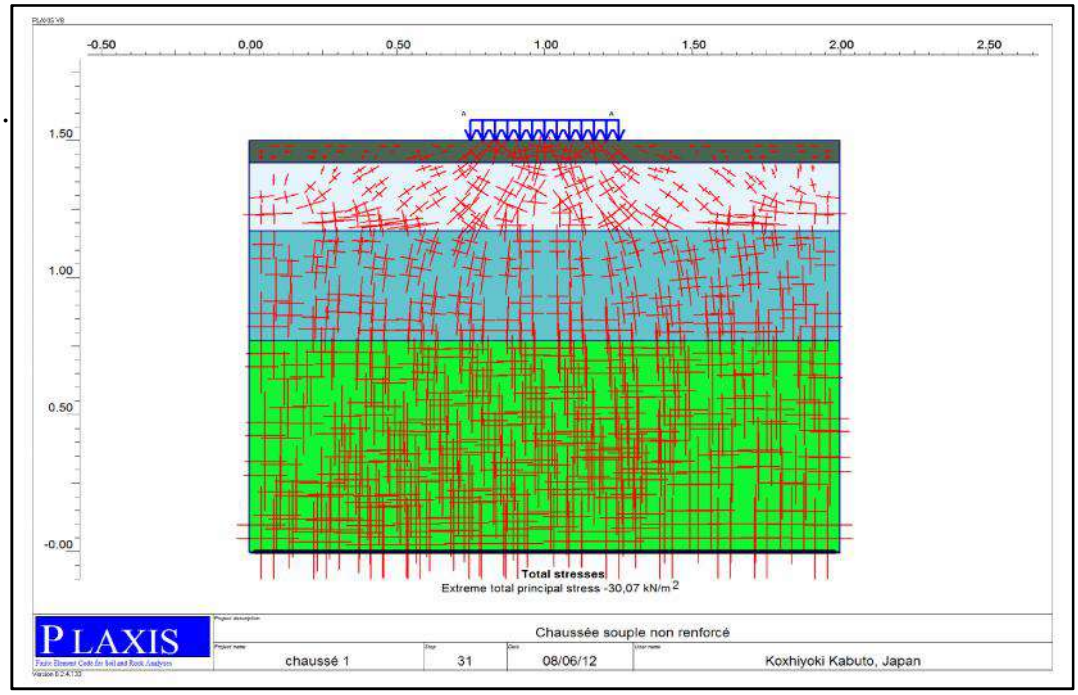


Figure III.16 : Contrainte totale dans la chaussée non renforcée

✓ **Chaussée souple renforcée avec des géogrilles bx 1100:**

En introduisant des nappes de géogrille dans le corps de chaussée non renforcé précédent, on a obtenu un déplacement vertical total de 34.87 x 10^{-6} m,(Figure III.17 **).**

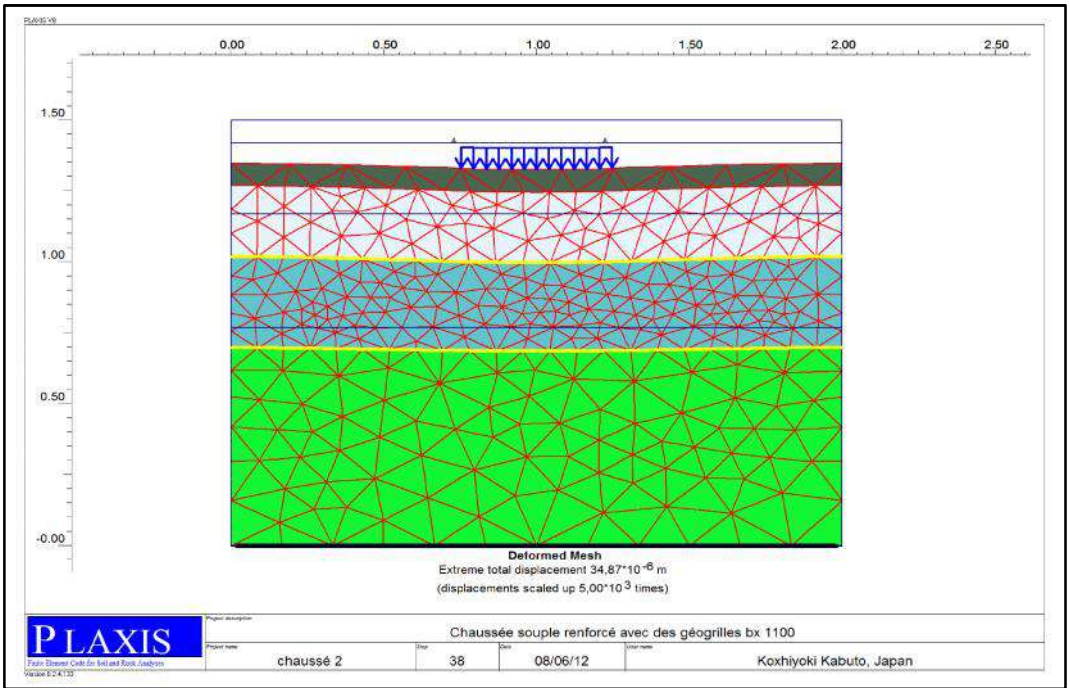


Figure III.17 : Déplacement total dans la chaussée renforcée

Le déplacement vertical total est de 33.78 x 10^{-6} m , sous la base de la couche de base GB2,**(**Figure III.18 **).**

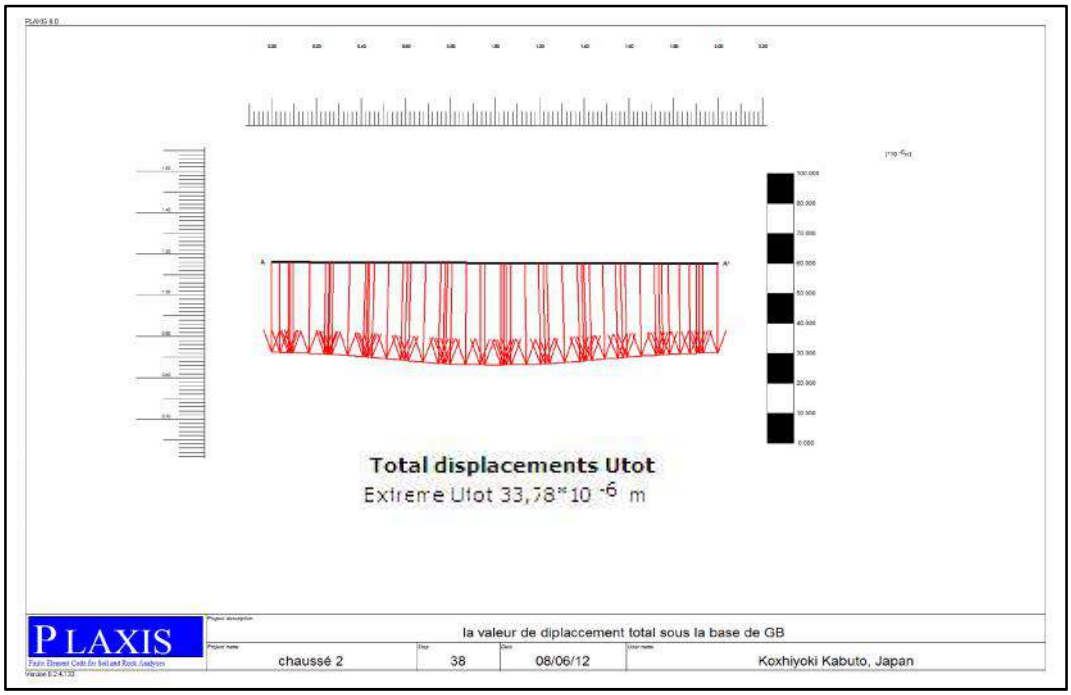


Figure III.18 : Déplacement total sous la base de GB2 de la chaussée renforcée

Le déplacement vertical total sous la base de la couche de fondation GNT est de 16.20 x 10^{-6} m ,(Figure III.19 **).**

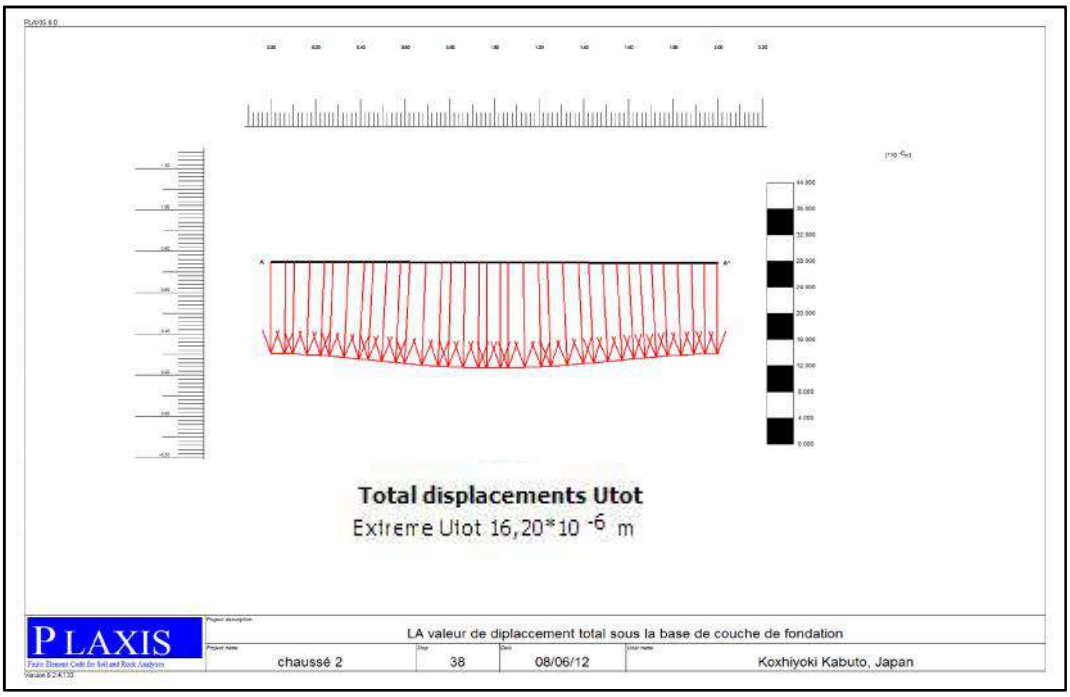


Figure III.19 : Déplacement total sous la base de GNT de la chaussée renforcée

La figure ci-dessousnous montre la distribution des contraintes dans la chaussée renforcée, et la valeur de la contrainte est de -29.70kN/m^2,(Figure III.20 **).**

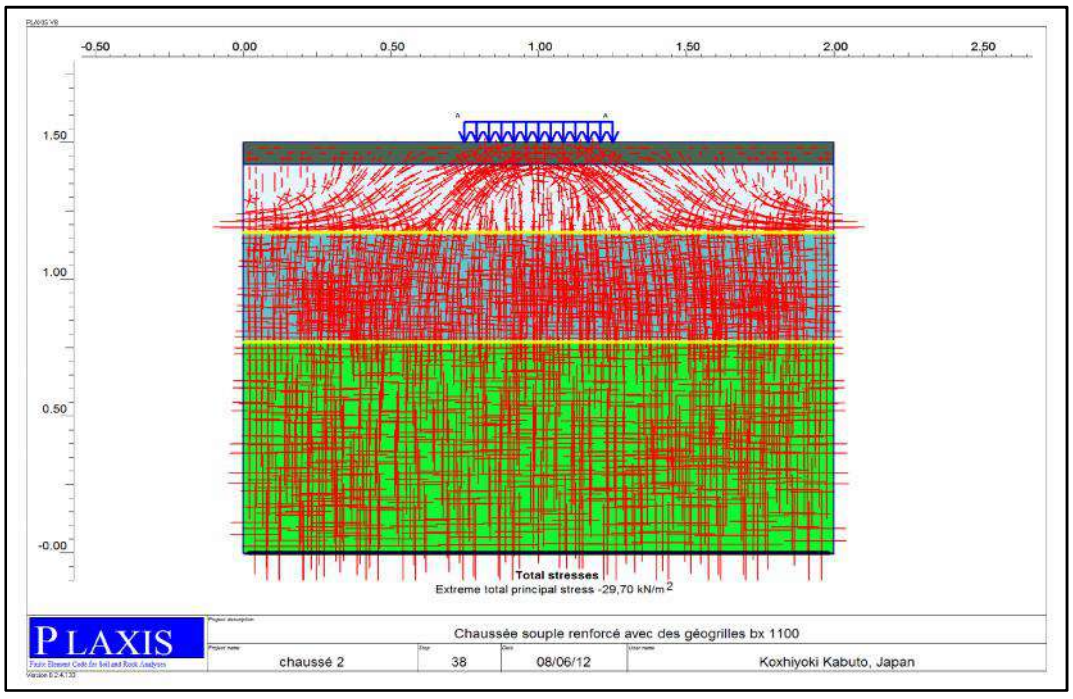


Figure III.20 : Contrainte totale dans la chaussée renforcée

La déformation dans la chaussée souple renforcée est extrême sous la base de la couche de fondation (GNT) sur le long de cette couche,(Figure III.21 **).**

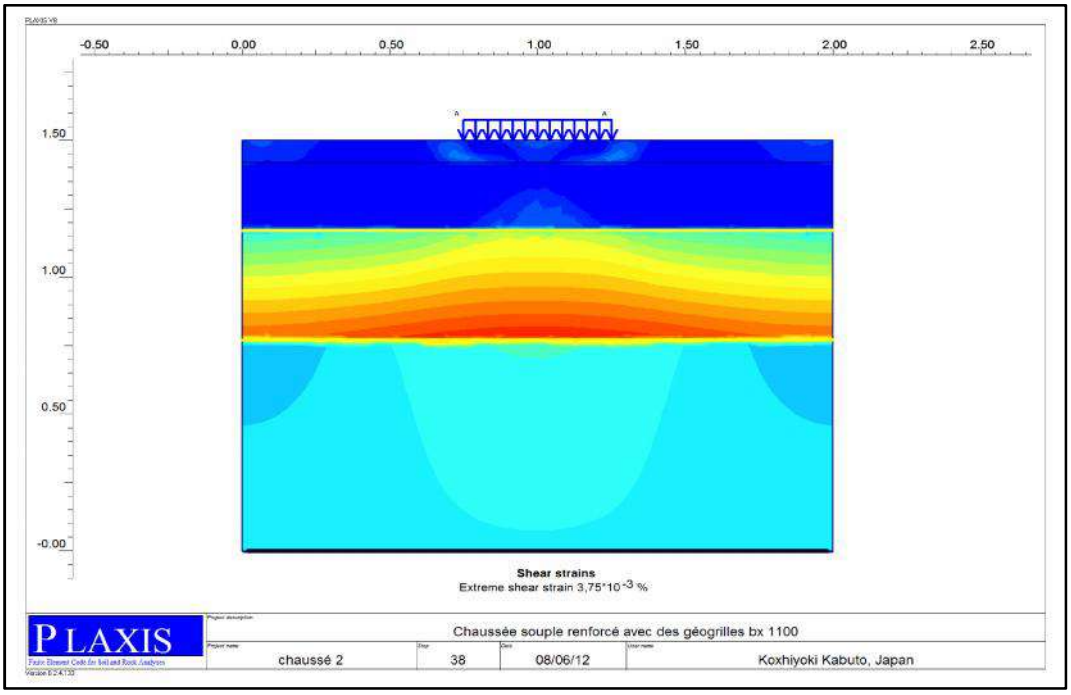


Figure III.21 : Déformation totale dans la chaussée renforcée

- ✓ **Chaussée souple renforcée par géogrilles bx 1100 avec une épaisseur réduite de 40 % dans la couche de fondation, et de 25% de couche de basse:**

En introduisant des nappes de géogrille dans le corps de chaussée non renforcé précédent, et en diminuant l'épaisseur de la couche de fondation à 24 cm et celle de la couche de basse à 15 cm, on a obtenu un déplacement vertical total de 32.48 x 10^{-6} m.**(**Figure III.22**)**

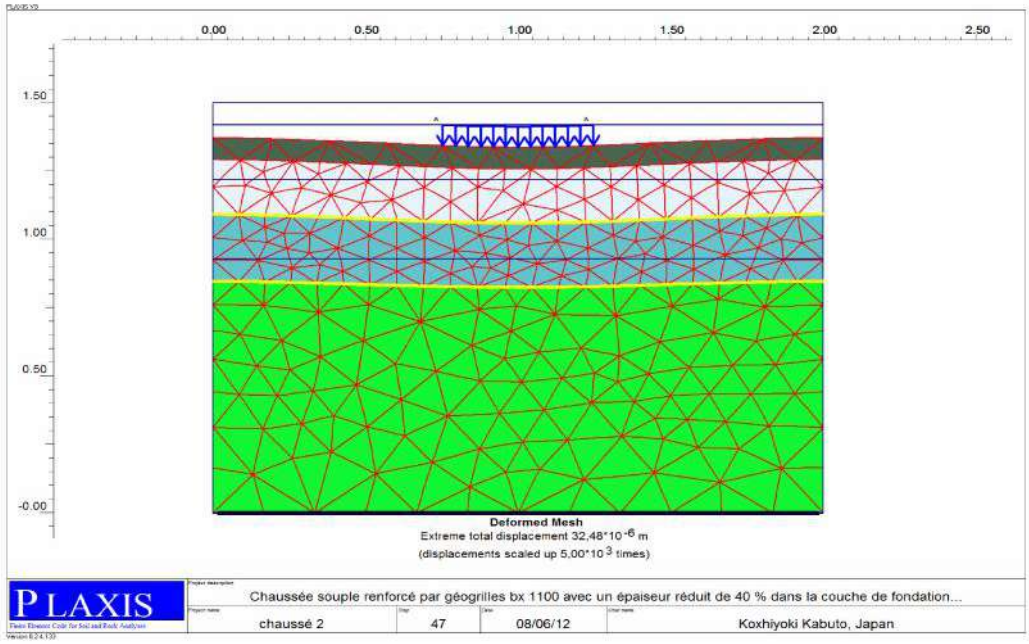


Figure III.22 : Déplacement total dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2.

Le déplacement vertical total est de $31.16*10^{-6}$ m , sous la base de la couche de base GB2 de 15 cm.(Figure III.23 **).**

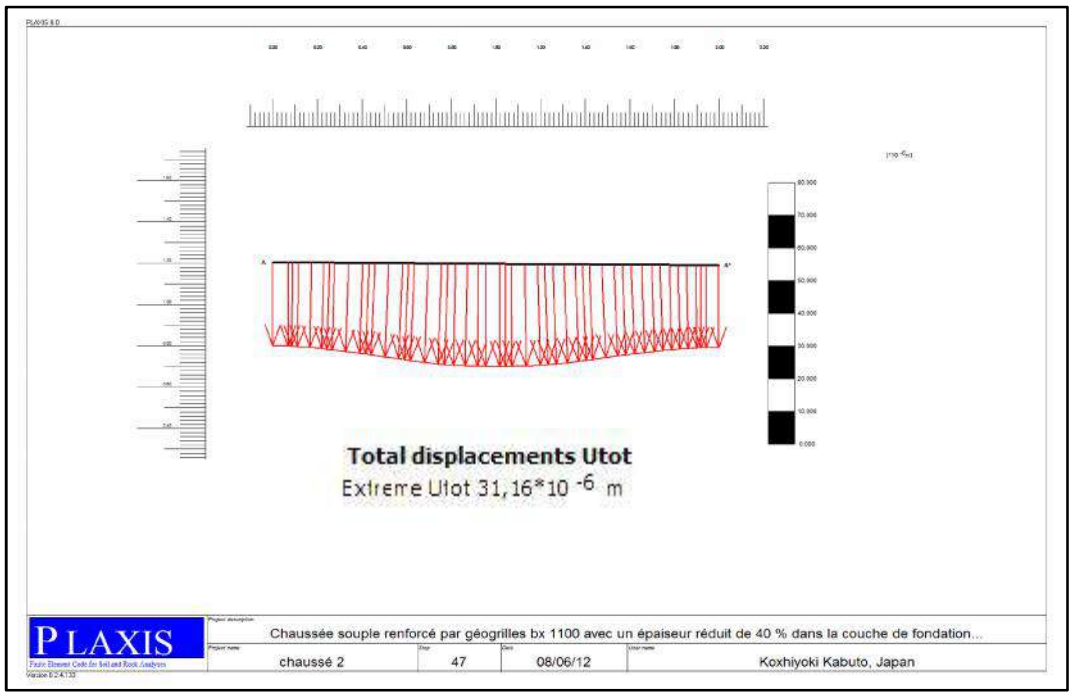


Figure III.23 : Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de la couche de GB2 de 15cm.

Le déplacement vertical total sous la base de la couche de fondation GNT de 24cm est 17.14×10^{-6}m ,(Figure III.24).

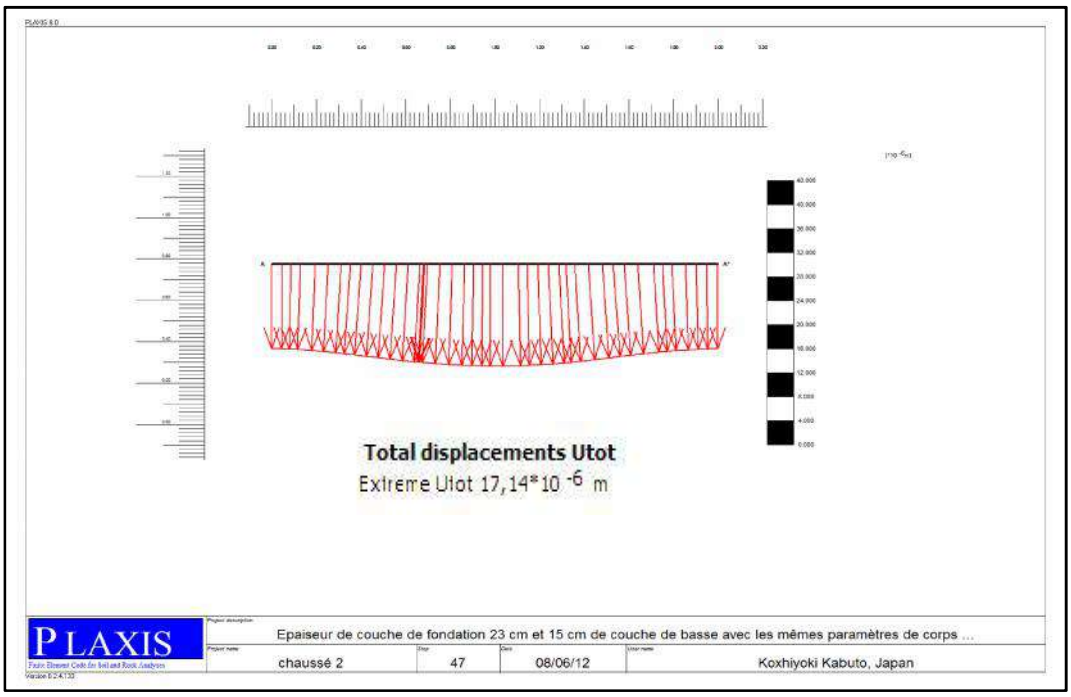


Figure III.24: Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de la couche de GNT de 24cm.

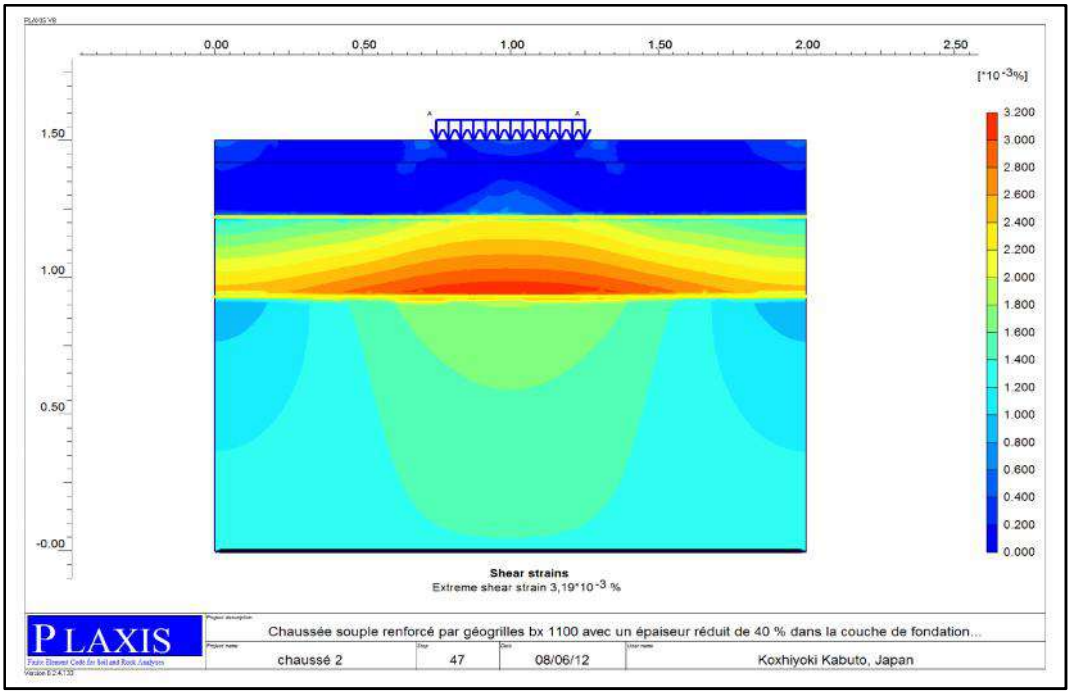


Figure III.25 : Déformation totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2.

La figure ci-dessousnous montre la distribution des contraintes dans la chaussée renforcée avec diminution des épaisseurs du GNT et de GB2, et la valeur de la contrainte est de -29.26 kN/m^2.(Figure III.26 **).**

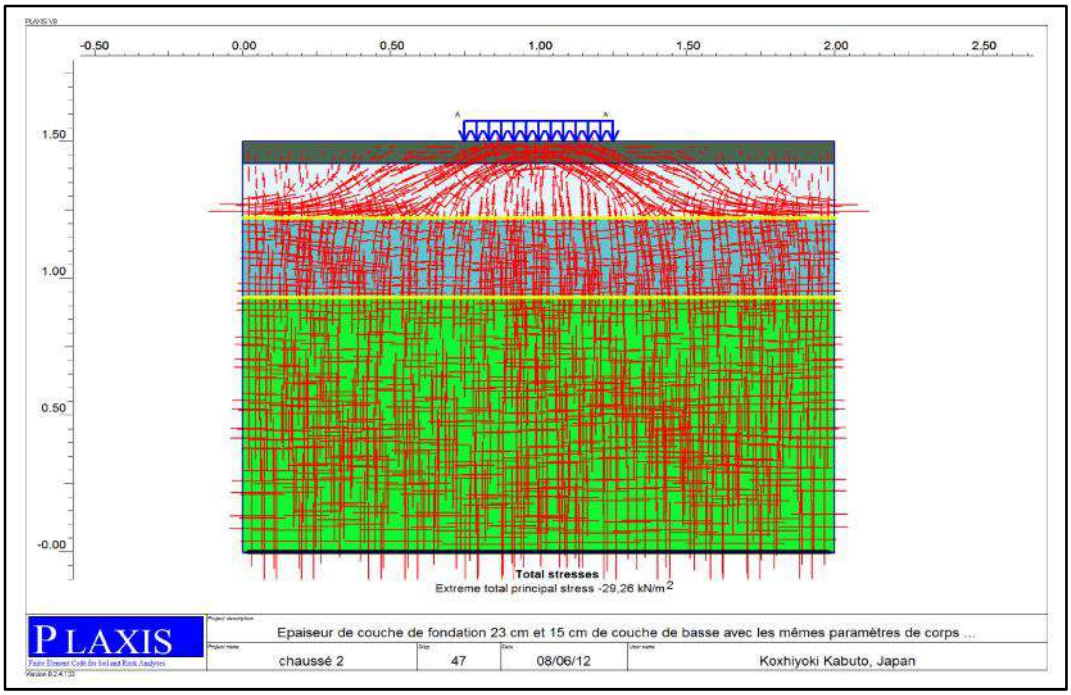


Figure III.26 : Contrainte totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2.

- ✓ **Chaussée souple renforcée par géogrilles bx 1100 avec une épaisseur réduite de 40 % dans la couche de fondation et 25% de couche de base et 25% de la couche de roulement :**

En introduisant des nappes de géogrille dans le corps de chaussée non renforcé précédent, en diminuant les épaisseurs de la couche de fondation à 24cm, est de la couche de base à 15cm , et celle de roulement 6cm, on a obtenu un déplacement vertical total de 33.79 x 10^{-6} m, **(**Figure III.27**) .**

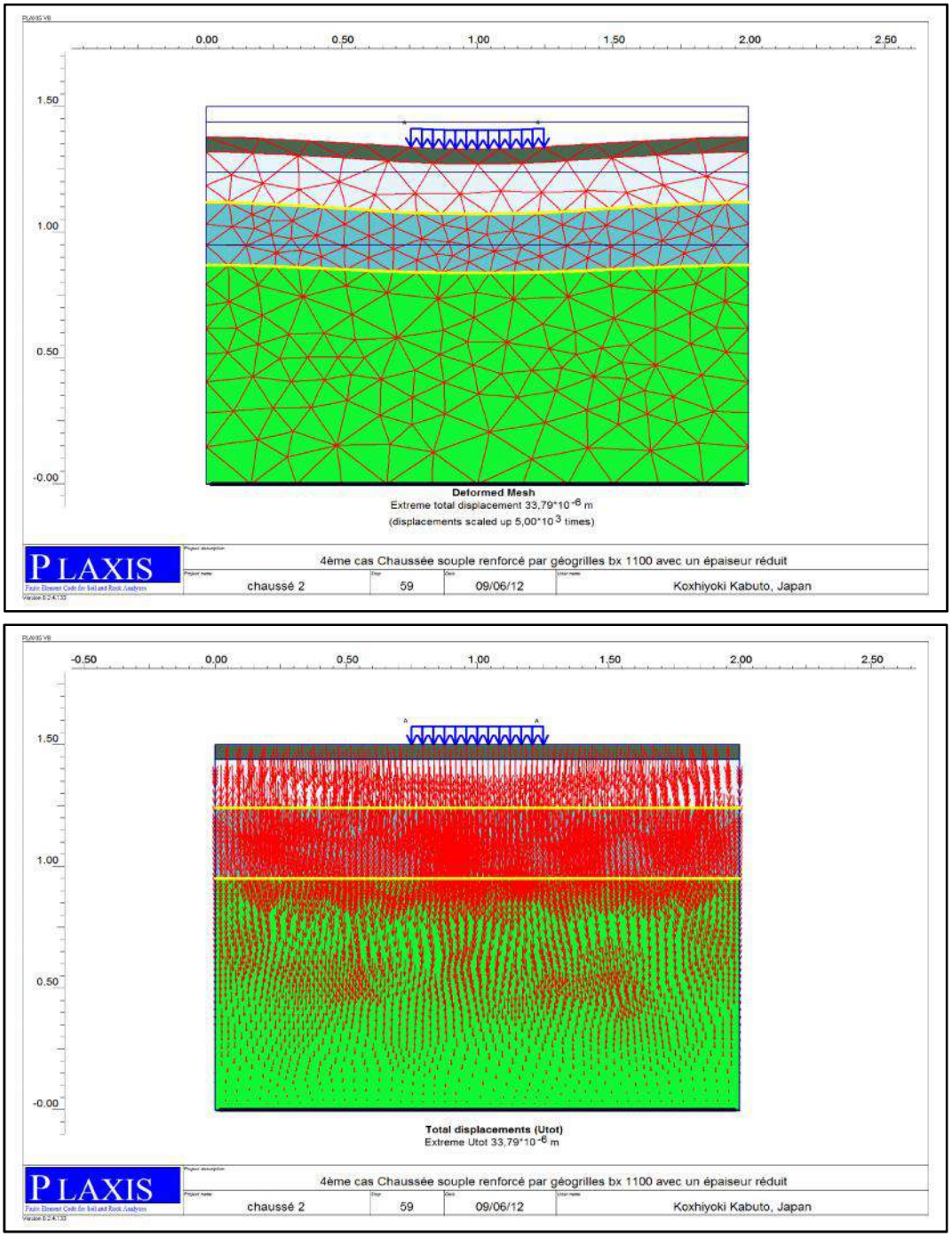


Figure III.27 : Déplacement total dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2, et de 25% de la couche de roulement.

Le déplacement vertical total est de 32.28 x 10^{-6} m , sous la base de la couche de base GB2 de 15 cm.(Figure III.28).

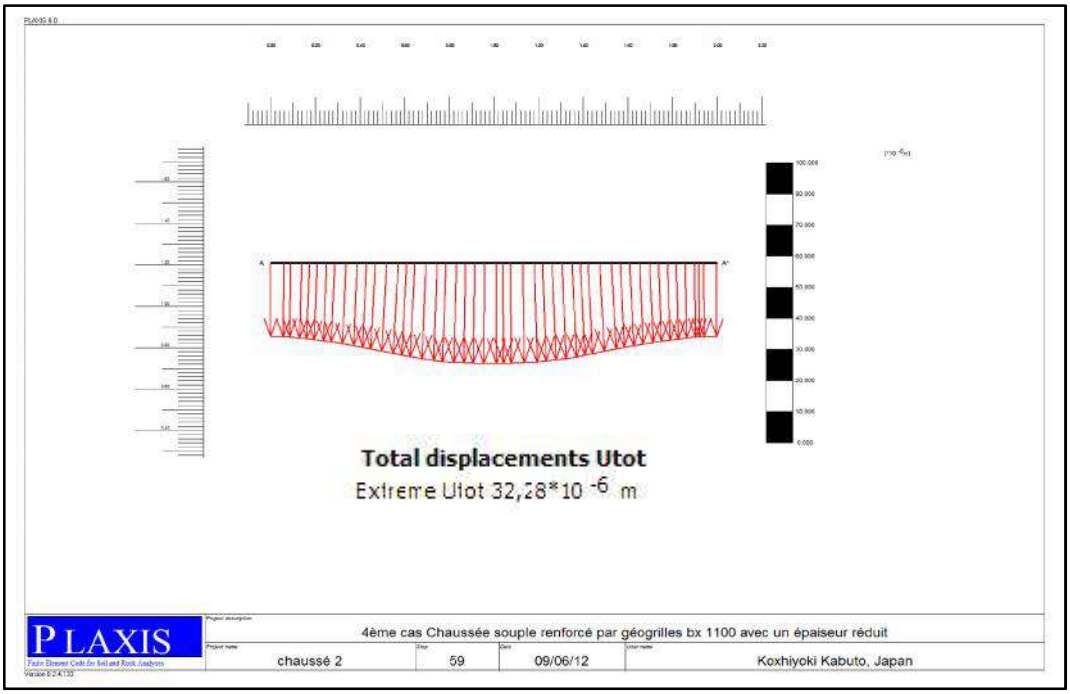


Figure III.28: Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de GB2.

Le déplacement vertical total sous la base de la couche de fondation GNT de 24cm est 18.38 x 10^{-6}m,(Figure III.29 **).**

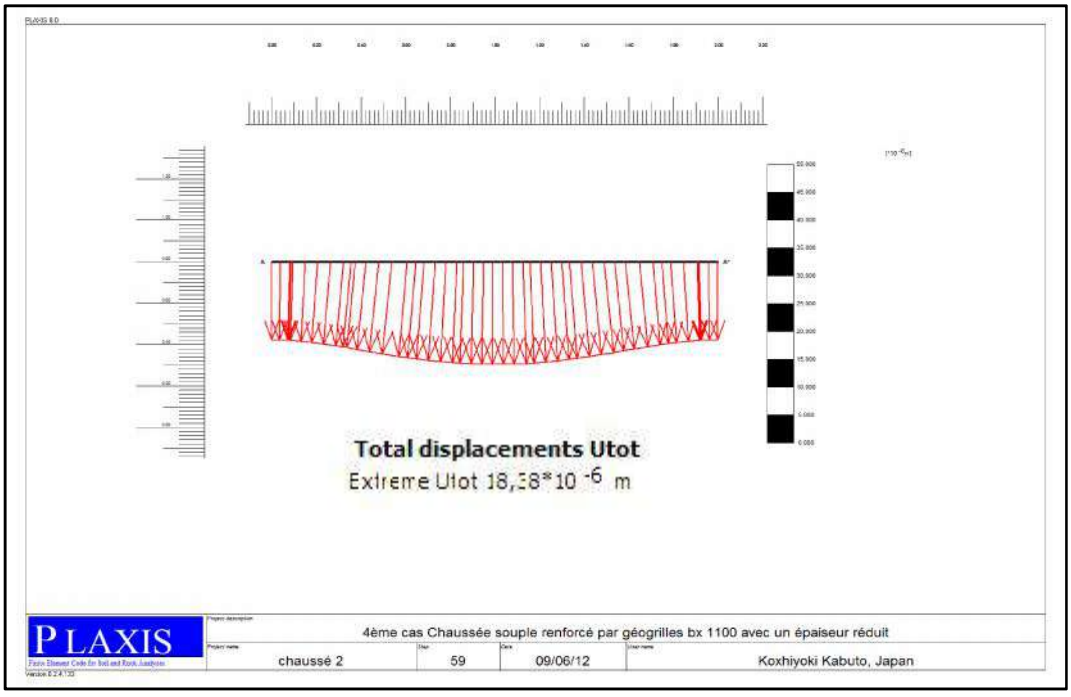


Figure III.29 : Déplacement total dans la chaussée renforcée sous la base de GNT.

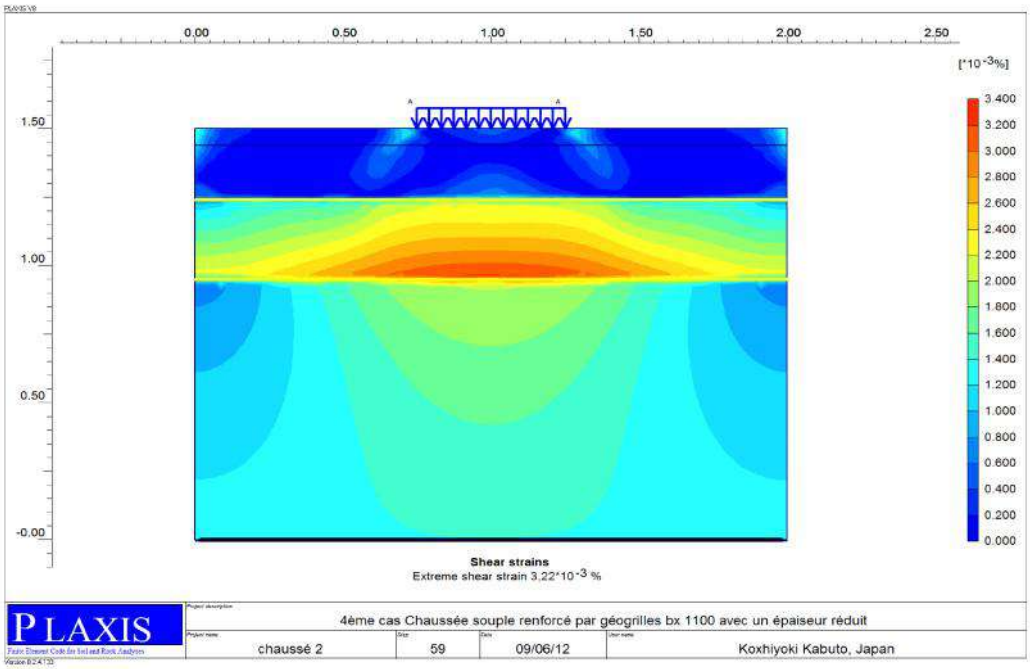


Figure III.30 : Déformation totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2, et de 25% de la couche de roulement.

Les figures ci-dessus nous montrent la distribution des contraintes dans la chaussée renforcée avec diminution des épaisseurs du GNT et de GB2 ainsi que la couche de roulement, et la valeur de la contrainte principale est de -28.72 kN/m^2,**(**Figure III.31**).**

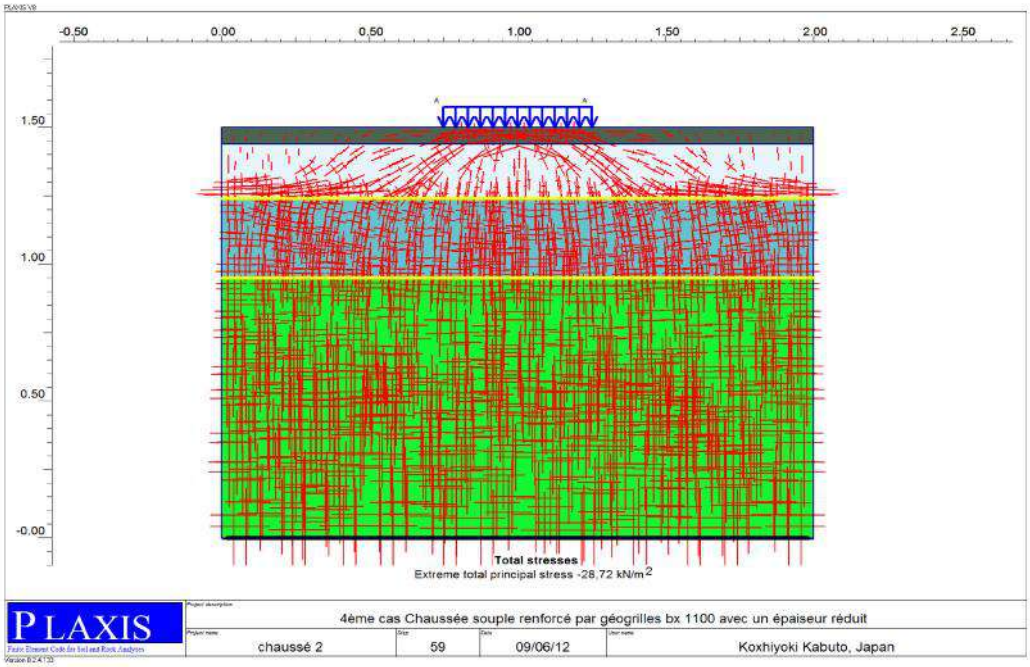


Figure III.31 : contrainte totale dans la chaussée renforcée avec diminution d'épaisseurs de 40% de la GNT et de 25% de GB2, et de 25% de la couche de roulement.

III.3.4. Analyse des résultats d calcul par « Plaxis»

Le tableau III.17 ci-dessous récapitule les résultats obtenus lors des différents cas modélises .Dans ce tableau on décrit une syntèse de résultas avec une description comparative des résultas.

Cas étudier de la chaussée souple	Valeur max des déplacements verticale (m)	Valeur max de déplacement sous la base de GB (m)	Valeur max de déplacement sous la base de GNT (m)	Valeur max de déformation totale (%)	Valeur max de containte totale (KN/m^2)
Chaussée souple non renforcée	38.55×10^{-6}	37.16×10^{-6}	18.44×10^{-6}	4.11×10^{-3}	30.07
Chaussée souple renforcée avec géorgille bx 1100	34.87×10^{-6}	33.78×10^{-6}	16.20×10^{-6}	3.75×10^{-3}	29.70
Chaussée souple renforcée avec géorgille bx 1100 avec épaisseur réduit de 40% de GNT et 25% de GB	32.48×10^{-6}	31.16×10^{-6}	17.14×10^{-6}	3.19×10^{-3}	29.26
Chaussée souple renforcée avec géorgille bx 1100 avec épaisseur réduit de 40% de GNT , 25% de GB et 25% de BB	33.79×10^{-6}	32.28×10^{-6}	18.38×10^{-6}	3.22×10^{-3}	28.72

Tableau III.17 : Comparaison des résultats obtenus.

✓ **Commentaires :**

- La valeur maximale du déplacement vertical total obtenu pour la chaussée non renforcée est de 38.55×10^{-6} m ; on constate que cette valeur a diminué avec le renforcement da la même chaussée par une géogrille biaxiale à de 34.87×10^{-6} m. Alors que celle obtenue pour la même chaussée renforcée avec la diminution de l'épaisseur de la couche de fondation à 24 cm et la couche de base à 15cm, est de 32.48×10^{-6} m, donc la déformation verticale a diminué, mais la même valeur a augmenté un peu pour atteindre une valeur de 33.79×10^{-6} m lorsqu'on a diminué l'épaisseur de la couche de roulement à 6cm, mais cette dernière valeur obtenue reste toujours inferieure a celle obtenue pour la chaussée non renforcée.

- Le déplacement vertical total obtenu sous la base de la couche de base GB pour la chaussée non renforcée est de 37.16×10^{-6} m ; cette valeur a diminué avec le renforcement de la même chaussée par une géogrille biaxiale a de 33.78×10^{-6} m.

- Pour la même chaussée renforcée, en diminuant l'épaisseur de la couche de fondation a 24 cm et la couche de base a 15cm, le déplacement vertical sous la base de la couche de GB a encore diminué à 31.16×10^{-6} m, mais la même valeur a augmenté à 32.28×10^{-6} m lorsqu'on a diminué l'épaisseur de la couche de roulement a 6cm, mais cette augmentation est faible.

- Le déplacement vertical total sous la base de la couche de fondation GNT est de 18.44×10^{-6} m pour la chaussée non renforcée, mais en renforçant la même chaussée par une géogrille ,ça a diminué à 16.20×10^{-6} m. ce déplacement continu a diminuer pour la chausse renforcée mais en diminuant les épaisseurs de la couche de GNT a 24 cm et la couche de GB a 15cm pour avoir une valeur de 17.14×10^{-6} m, et augmente légèrement à 18.38×10^{-6} m lorsqu'on a diminué la couche de roulement à 6cm.

- En ce qui concerne la contrainte principale, ces valeurs ont continué à diminuer de -30.07KN/m^2 pour la chaussée non renforcée, à 28.72 KN/m^2 pour la chaussée renforcée avec les épaisseurs réduites des trois couches.

Conclusion

L'interprétation des résultats de l'analyse numérique obtenus par le code Plaxis a permis d'observer le comportement d'un corps de chaussée renforcée par des géorgilles biaxiales type 1100. A cet effet, on peut conclure :

- L'efficacité du renforcement est directement liée à la distance verticale entre les nappes ; les geogrilles travaillent mieux quand la distance entre les nappes de renforcement est minimale ;
- Le renforcement de la chaussée par geogrilles a diminué la déformation maximale de cette dernière, puisque les déformations ont été réparties sur le long de la couche granulaire GNT. On peut dire que les contraintes appliquées sur la chaussée ont été réparties sur la longueur des geogrilles, puisque ces derniers sont des éléments élancés à module de rigidité élevé ;
- Le déplacement vertical de la chaussée reste toujours admissible pour les différents cas de chaussées renforcées étudiées.

CONCLUSION GENERALE

Dans le but d'augmenter la portance d'une chaussée souple, on a procède à son renforcement par géosynthétique ; il s'agit de l'application d'une géogrille biaxiale.

Ceci avait conduit à une légère réduction de l'épaisseur de la fondation granulaire, ce qui est considérée comme un gain économique, notamment à moyen et à long terme.

Cette étude a montré que ces renforcements diminuent considérablement les déflexions des chaussées, phénomènes qui se répercutent positivement sur la durée de vie de la chaussée.

Le sol support est stabilisé par le renforcement de la couche granulaire, donc la chaussée devient protégée des différentes dégradations. Cette protection se traduit par :

- Une durée de vie plus longue de la chaussée (retard de l'apparition de fissure),
- Des réductions des épaisseurs de la chaussée renforcée d'où la diminution des quantités de matériaux nobles à mettre en œuvre,
- La réduction des durées de réalisation,
- Le gain en énergie de fabrication de l'enrobé bitumineux.

Vu l'originalité et l'ampleur du thème abordé dans ce mémoire l'étude peut être étendue dans le futur à ce qui suit:

- Il serait intéressant de refaire le même travail en utilisant des codes de calculs plus adaptes aux corps de chaussées qui utilisent la méthode des éléments finis;

- Réalisation d'un modèle expérimental pour la validation des résultats présentés dans cette étude ;

- Etude paramétrique visant à déterminer l'influence des différents paramètres sur le comportement de la chaussée renforcée, comme:

- la variabilité des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux du corps de chaussée,
- La rigidité des nappes de renforcement,
- l'utilisation d'autres types de géogrilles, spécialement dans le domaine routier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Tensar® Note Technique TTN: BR96 AVRIL 1996 Lignes directrices pour le renforcement de la fondation granulaire d'une chaussée souple à l'aide des géogrilles tensar Marque déposée ©1997, The Tensar Corporation Impression révisée: mai 1997.

[2] webster,S.L.(1992),Geogrid Reinforced Base Coursefor Flexible Pavementsfor Light Aircraft:Test
Section,Construction,LaboratoryTests,andDesignCriteria,GeotechnicalLaboratory,
DepartmentoftheArmy,WaterwaysExperimentStation,CorpsofEngineers,Report.

[3] Guido, V.A., Chang, D.K., and Sweeny, M.A., 1986.Comparison of geogridand geotextile reinforced slabs."Canadian Geotechnical Journal", Vol.20.

[4] Catalogue fiches téchnique de dimenssionement des chaussées neuvs Facsicule 1 (organisme natuinal de contrôle téchnique des travaux publics –cttp).

[5] Cataloguedes structures types des chaussées neuvs SETRA-LCPC 1998.

[6]Guide technique (1994) : Conception et dimensionnement des structures dechaussées, LCPC-SETRA

[7] Brink gereve R.B.J. et Vermeer P.A. « PLAXIS version 8, scientific manual » DELFT University of Technology and PLAXIS BV, Pays-Bas, 2003.

[8] NORME NF P 94 - 117-1 : Mesure du Module Sous Chargement Statique à la Plaque éditée et diffusée parl´association française denormalisation (afnor), toureurope 9 2049 parisla.

[9] G.JEUFFROY, R.SAUTEREY - CourdesRoutesAssisesdesChaussées, 1985.

[10] ASTM D4439-99. Terminology for Geotextiles. Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.09, ASTM, Philadelphia.

[11] Ingold, T.S. and Thomson, J. C. (1990), 'A design approach for preformed erosion controlsystems', in *Proceedings of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranesand Related Products*, The Hague, The Netherlands, 1990, A. A. Balkema, Rotterdam, pp.
375–380.

[12] Jewell, R., Milligan, G., Sarsby, R. W. and DuBois, D. (1984), 'Interaction between soil and geogrids', in *Proceedings of the SERC Symposium on Polymer Grid Reinforcement*, Thomas Telford, London, pp. 18–30.

[13] Mémoire De Fin D'étude AutoRoute Est-Ouest Radiale Oued Ouchaieh-Baraki, réalisé par Mr SEKHRI FARES, promotion 63, 2002-2003

[14] Présentation AFITEX Algérie, les geosynthetiques fonctions et domaines d'application, par **Messaoud ZERMANI & Said TABTI, medea le 05 mai 2010.**
Document pdf, Les geosynthetiques, generalites, renforcement de sol, solution geotextile, Eng. Edwin Zengerink, Albert Koffler.

[15] Notions générales sur les GÉOTEXTILES en géotechnique routière, note d'information technique, Février 1983, Réimpression Juin 1993, France.

[16] Présentation de 6D Solution, Cidex, Grilles en fibre de verre : Meilleure résistance a la fatigue des Structures en enrobe, 09 mars 2009.

[17] Pdf, Lignes **Directrices Pour Le Renforcement De La Fondation Granulaire D'une Chaussée Souple A L'aide Des Géogrilles Tensar, The Tensar CorporationImpression révisée: mai 1997.**

[18] Introduction et sommaire portant sur une nouvelle **méthode de conception pour chaussées non revêtues renforcées par une géogrille Tensar, Élaborée par Dr J. P. Giroud et Dr Jie Han,** Préparé par Steve Valero et Andy Anderson, décembre 2001.

[19]Séminaire sur ledimensionnement des chaussées selon la méthode rationnelle française Hammamet – Tunisie mardi 27 avril au jeudi 29 avril 2010 ,
Organisation : ISET de SFAX (***Mme Kaouther MACHTA***) Intervenants : ***Jean Maurice BALAY*** directeur de recherche ***Yves BROSSEAUD***directeur de rechercheLCPC
Nantes – Division SMIT.

ANNEXEA.1. TableauclasseA :Sols Fins

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm > 35%	A Sols fins	**VBS ≤ 2,5** (*) ou $I_p \leq 12$	**A_1** Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	IPI (*) ≤ 3 ou $w_n \geq 1,25\ w_{OPN}$	A_1 th
				3 < IPI (*) ≤ 8 ou $1,10 \leq w_n < 1,25\ w_{OPN}$	A_1 h
				8 < IPI ≤ 25 ou $0,9\ w_{OPN} \leq w_n < 1,1\ w_{OPN}$	A_1 m
				$0,7\ w_{OPN} \leq w_n < 0,9\ w_{OPN}$	A_1 s
				$w_n < 0,7\ w_{OPN}$	A_1 ts
		$12 < I_p \leq 25$ (*) ou $2,5 < VBS \leq 6$	**A_2** Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes...	IPI (*) ≤ 2 ou I_c (*) ≤ 0,9 ou $w_n \geq 1,3\ w_{OPN}$	A_2 th
				2 < IPI (*) ≤ 5 ou $0,9 \leq I_c$ (*) < 1,05 ou $1,1\ w_{OPN} \leq w_n < 1,3\ w_{OPN}$	A_2 h
				5 < IPI ≤ 15 ou $1,05 < I_c \leq 1,2$ ou $0,9\ w_{OPN} \leq w_n < 1,1\ w_{OPN}$	A_2 m
				$1,2 < I_c \leq 1,4$ ou $0,7\ w_{OPN} \leq w_n < 0,9\ w_{OPN}$	A_2 s
				$I_c > 1,3$ ou $w_n < 0,7\ w_{OPN}$	A_2 ts
		$25 < I_p \leq 40$ (*) ou $6 < VBS \leq 8$	**A_3** Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...	IPI (*) ≤ 1 ou I_c (*) ≤ 0,8 ou $w_n \geq 1,4\ w_{OPN}$	A_3 th
				1 < IPI (*) ≤ 3 ou $0,8 \leq I_c$ (*) < 1 ou $1,2\ w_{OPN} \leq w_n < 1,4\ w_{OPN}$	A_3 h
				3 < IPI ≤ 10 ou $1 < I_c \leq 1,15$ ou $0,9\ w_{OPN} \leq w_n < 1,2\ w_{OPN}$	A_3 m
				$1,15 < I_c \leq 1,3$ ou $0,7\ w_{OPN} \leq w_n < 0,9\ w_{OPN}$	A_3 s
				$I_c > 1,3$ ou $w_n < 0,7\ w_{OPN}$	A_3 ts
		$I_p > 40$ (*) ou VBS > 8	**A_4** Argiles et argiles marneuses, très plastiques...	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique	A_4 th
					A_4 h
					A_4 m
					A_4 s

ANNEXEA. 2. TableauclasseB:Sols Sableux OuGraveleux AvecFines

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS →

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B_1 Sables silteux...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		FS ≤ 60 FS > 60	B_{11} B_{12}
		tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% VBS > 0,2	B_2 Sables argileux (peu argileux)...	IPI (*) ≤ 4 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_2 th	FS ≤ 60 FS > 60	B_{21} th B_{22} th
				4 < IPI (*) ≤ 8 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_2 h	FS ≤ 60 FS > 60	B_{21} h B_{22} h
				$0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_2 m	FS ≤ 60 FS > 60	B_{21} m B_{22} m
				$0{,}5\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_2 s	FS ≤ 60 FS > 60	B_{21} s B_{22} s
				$w_n < 0{,}5\ w_{OPN}$	B_2 ts	FS ≤ 60 FS > 60	B_{21} ts B_{22} ts
		tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B_3 Graves silteuses...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B_{31} B_{32}

ANNEXEA. 2. TableauclasseB(suite):Sols Sableux OuGraveleux AvecFines

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS →

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS > 0,2	B_4 Graves argileuses (peu argileuses)...	IPI (*) ≤ 7 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} th
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} th
				7 < IPI (*) ≤ 15 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} h
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} h
				$0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_4 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} m
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} m
				$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_4 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} s
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} s
				$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_4 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} ts
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} ts
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% **VBS < 1,5** (*) ou $I_p \leq 12$	B_5 Sables et graves très silteux...	IPI (*) ≤ 5 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} th
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} th
				5 < IPI (*) ≤ 12 ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} h
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} h
				12 < IPI (*) ≤ 30 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_5 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} m
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} m
				$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_5 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} s
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} s
				$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_5 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} ts
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} ts
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% **VBS > 1,5** (*) ou $I_p > 12$	B_6 Sables et graves argileux à très argileux	IPI (*) ≤ 4 ou $w_n \geq 1{,}3\ w_{OPN}$ ou $I_c \leq 0{,}8$	B_6 th		
				4 < IPI (*) ≤ 10 ou 0,8 < Ic ≤ 1 ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}3\ w_{OPN}$	B_6 h		
				10 < IPI ≤ 25 ou 1 < Ic ≤ 1,2 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n$ (*) $< 1{,}1\ w_{OPN}$	B_6 m		
				$0{,}7\ w_{OPN} \leq w_n$ (*) $< 0{,}9\ w_{OPN}$ ou $1{,}2 < I_c \leq 1{,}3$	B_6 s		
				w_n (*) $< 0{,}7\ w_{OPN}$ ou $I_c > 1{,}3$	B_6 ts		

ANNEXEA. 3. TableauclasseC :Sols ComportantDes Fines EtDes Gros

<table>
<tr><th colspan="4">Classement selon la nature</th><th rowspan="2">Classement selon l'état hydrique et le comportement</th></tr>
<tr><th>Paramètres de nature
Premier niveau de classification</th><th>Classe</th><th>Paramètres de nature
Deuxième niveau de classification</th><th>Sous classe fonction de la nature</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Dmax > 50 mm
et tamisat à 80 µm > 12%
ou
si le tamisat à 80 µm ≤ 12% la VBS est > 0,1</td><td rowspan="4">C
Sols comportant des fines et des gros éléments</td><td>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm > 60 à 80% et matériaux roulés.
La fraction 0/50 est un sol de classe A</td><td>C_1A_i
Argiles à silex, éboulis, moraines, alluvions grossières...</td><td rowspan="4">Le sous-classement, en fonction de l'état hydrique et du comportement des sols de cette classe, s'établit en considérant celui de leur fraction 0/50 mm qui peut être un sol de la classe A ou de la classe B
* <u>1er exemple</u> : un sol désigné C_1A_2h est un sol qui est :
o soit entièrement roulé,
o soit entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction 0/50
représente plus de 60 à 80% de la totalité du matériau.
Dans les deux cas, sa fraction 0/50 mm appartient à la classe A_2 avec un état hydrique h.
* <u>2ème exemple</u> : un sol désigné $C_1B_{42}m$ est un sol qui est :
o entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction 0/50 mm représente moins de 60 à 80% de la totalité du matériau.
La fraction 0/50 mm est un sol de la classe B_{42} se trouvant dans un état hydrique m.
Les différents sous-classes composant la classe C sont :
<table><tr><td>C_1A_1 C_1A_3
C_1A_2 C_1A_4</td><td>C_2A_1 C_2A_3
C_2A_2 C_2A_4</td><td>Etat th, h, m, s ou ts</td></tr><tr><td>C_1B_{11} C_1B_{31}
C_1B_{12} C_1B_{32}</td><td>C_2B_{11} C_2B_{31}
C_2B_{12} C_2B_{32}</td><td>Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique</td></tr><tr><td>C_1B_{21} C_1B_{51}
C_1B_{22} C_1B_{52}
C_1B_{41} C_1B_5
C_1B_{42}</td><td>C_2B_{21} C_2B_{51}
C_2B_{22} C_2B_{52}
C_2B_{41} C_2B_5
C_2B_{42}</td><td>Etat th, h, m, s ou ts</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm > 60 à 80% et matériaux roulés.
La fraction 0/50 est un sol de classe B</td><td>C_1B_i
Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...</td></tr>
<tr><td>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%.
La fraction 0/50 est un sol de classe A</td><td>C_2A_i
Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...</td></tr>
<tr><td>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%.
La fraction 0/50 est un sol de classe B</td><td>C_2B_i
Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...</td></tr>
</table>

ANNEXEA.4. TableauclasseD :Sols Insensibles A L'eau

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS →

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Valeurs seuils retenues		Sous classe
VBS ≤ 0,1 et tamisat à 80 µm ≤ 12%	D Sols insensibles à l'eau	Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm > 70%	D_1 Sables alluvionnaires propres, sables de dune...	Matériaux insensibles à l'eau; mais leur emploi en couche de forme nécessite la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès - LA - et/ou Micro Deval en présence d'eau - MDE -) ou Friabilité des sables (FS).	FS ≤ 60	D_{11}
					FS > 60	D_{12}
		Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm ≤ 70%	D_2 Graves alluvionnaires propres, sables...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D_{21}
					LA > 45 et MDE > 45	D_{22}
		Dmax > 50 mm	D_3 Graves alluvionnaires grossières propres, dépôts glaciaires,...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D_{31}
					LA > 45 et MDE > 45	D_{32}

ANNEXEA.5. TableauclasseR : Matériaux Rocheux (Evolutifs EtNon

Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique et le comportement		
Nature pétrographique de la roche			Paramètres et Valeurs seuils retenus	Sous classe	
Roches Sédimentaires	Roches Carbonatées	R_1 Craie	$\rho d > 1,7$	craie dense	R_{11}
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $w_n \geq 27$	craie de densité moyenne	$R_{12}h$
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $22 \leq w_n < 27$		$R_{12}m$
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $18 \leq w_n < 22$		$R_{12}s$
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $w_n < 18$		$R_{12}ts$
			$\rho d \leq 1,5$ et $w_n \geq 31$	craie peu dense	$R_{13}th$
			$\rho d \leq 1,5$ et $26 \leq w_n < 31$		$R_{13}h$
			$\rho d \leq 1,5$ et $21 \leq w_n < 26$		$R_{13}m$
			$\rho d \leq 1,5$ et $16 \leq w_n < 21$		$R_{13}s$
			$\rho d \leq 1,5$ et $w_n < 16$		$R_{13}ts$
		R_2 Calcaires rocheux divers Ex : - calcaires grossiers - travertins - tufs et encroûtements, etc...	MDE < 45	calcaire dur	R_{21}
			MDE > 45 et $\rho d > 1,8$	calcaire de densité moyenne	R_{22}
			$\rho d \leq 1,8$	calcaire fragmentable	R_{23}

ANNEXEA.5. TableauclasseR(suite):Materiaux Rocheux (Evolutifs EtNon Evolutifs)

Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique et le comportement		
Nature pétrographique de la roche			Paramètres et Valeurs seuils retenus	Sous classe	
Roches Sédimentaires	Roches Argileuses	R_3 Marnes Schistes sédimentaires Argilites Pelites ...	FR ≤ 7 et DG > 20	Roche argileuse : peu fragmentable, très dégradable	R_{31}
			FR ≤ 7 et 5 < DG ≤ 20	Roche argileuse : peu fragmentable ou moyennement dégradable	R_{32}
			FR ≤ 7 et DG ≤ 5	Roche argileuse : peu fragmentable, peu dégradable	R_{33}
			FR > 7 et ($w_n \geq 1{,}3\ w_{OPN}$ ou $IPI^{(*)} < 2$)	Roche argileuse fragmentable	$R_{34}th$
			FR > 7 et ($1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}3\ w_{OPN}$ ou $2 \leq IPI^{(*)} < 5$)		$R_{34}h$
			FR > 7 et $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}1\ w_{OPN}$		$R_{34}m$
			FR > 7 et $0{,}7\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$		$R_{34}s$
			FR > 7 et $w_n < 0{,}7\ w_{OPN}$		$R_{34}ts$
	Roches Siliceuses	R_4 Grès Poudingues Brèches ...	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches siliceuses dures	R_{41}
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches siliceuses de dureté moyenne	R_{42}
			FR > 7	Roches siliceuses fragmentables	R_{43}
	Roches Salines	R_5 Gypse Sel gemme Anhydrite ...	teneur en sel soluble (≤ 5 à 10 % dans le cas du sel gemme** ; ≤ 30 à 50 % dans le cas du gypse**)	Roches salines peu solubles	R_{51}
			teneur en sel soluble (> 5 à 10 % dans le cas du sel gemme** ; > 30 à 50 % dans le cas du gypse**)	Roches salines très solubles	R_{52}

** *suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande*

ANNEXEA.5. TableauclasseR (suite): Matériaux Rocheux (EvolutifsEtNon Evolutifs)

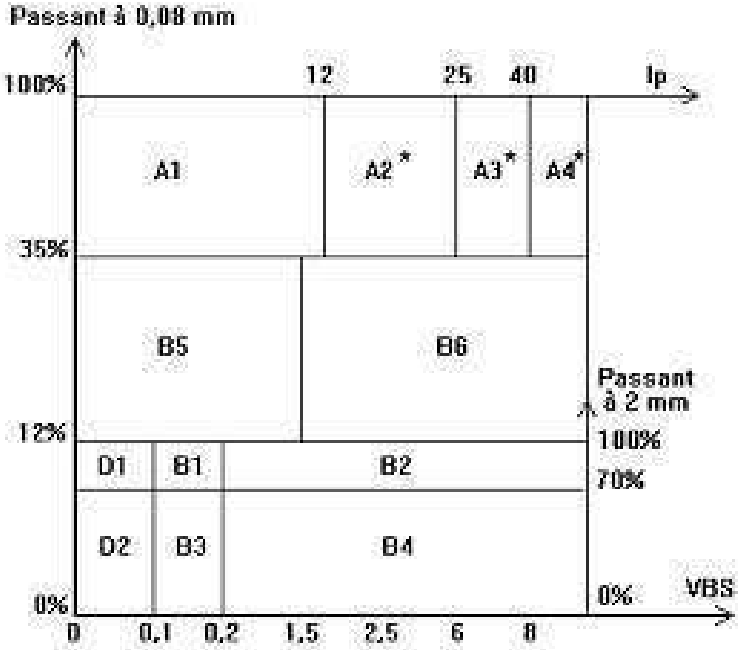
Classement selon la nature		Classement selon le comportement		
Nature pétrographique de la roche		Paramètres et Valeurs seuils retenus	Sous classe	
Roches Magmatiques et Métamorphiques	R_6 Granite, basalte, trachyte, andésite,... Gneiss schistes métamorphiques, schistes ardoisiers,...	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches magmatiques et métamorphiques dures	R_{61}
		LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne	R_{62}
		FR > 7	Roches magmatiques et métamorphiques fragmentables ou altérées	R_{63}

ANNEXEA.6. TableauclasseF :Sols Organiques, Sous Produits Industriels

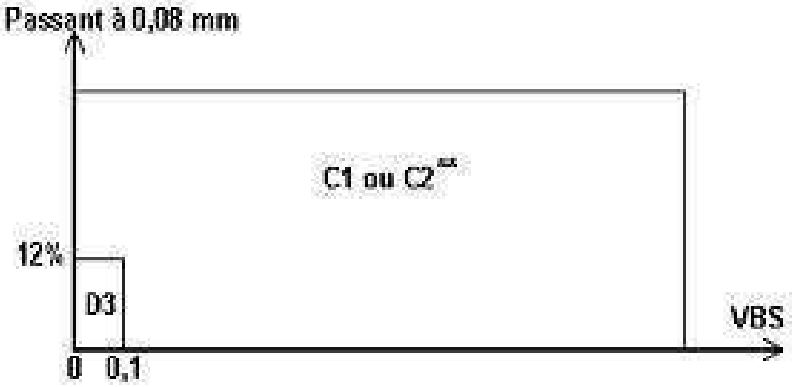
Famille de Matériaux (sous-classe)	Paramètres considérés comme significatifs vis-à-vis du réemploi
F_1 Matériaux naturels renfermant des matières organiques. Ex : terres végétales, humus forestier, vases, tourbes,...	Teneur en matières organiques, puis, examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B ou C.
F_2 Cendres volantes silico-alumineuses de centrales thermiques	Rapport entre leur teneur en eau naturelle et leur teneur en eau optimum Proctor normal.
F_3 Schistes houillers	Taux de combustion, puis, pour les "non" ou insuffisamment brûlés, examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A. B ou C.
F_4 Schistes des mines de potasse	Teneur en NaCl, puis, pour ceux à faible teneur, examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B ou C.
F_5 Phosphogypse	Mode d'obtention comportant ou non une neutralisation à la chaux, puis examen de la granulométrie et de la teneur en eau.
F_6 Mâchefers d'incinération des ordures ménagères	Taux d'imbrûlés et d'éléments solubles, qualité du déferraillage, du criblage et de l'homogénéisation, durée du stockage, présence ou non de cendres volantes de combustion.
F_7 Matériaux de démolition	Qualité du déferraillage et de l'homogénéisation, présence d'éléments indésirables (plâtres, bois...), granulométrie.
F_8 Laitiers des hauts-fourneaux	Caractéristiques d'identification (granulométrie, propreté).
F_9 Autres sous-produits industriels	Paramètres à définir à l'appui d'une étude spécifique.

ANNEXEA.7. TableauclasseD : TableauSynoptiqueDe ClassificationDes MatériauxSelonLeur Nature

SOLS
Dmax < 50 mm



SOLS
Dmax > 50 mm



MATERIAUX ROCHEUX	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R1
			Calcaires	R2
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R3
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R4
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R5
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites..., gneiss..., schistes métamorphiques et ardoisiers...		R6
MATERIAUX PARTICULIERS	Sols organiques, sous-produits industriels			F

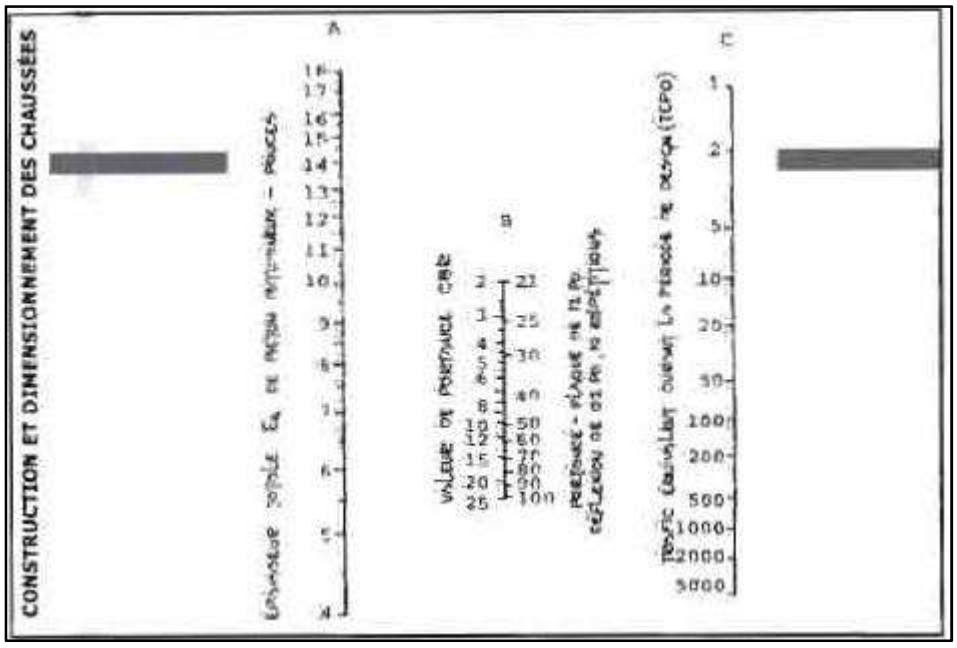
* Matériaux pour lesquels la mesure de l'I_p est à retenir comme base de classement. Pour les autres matériaux on utilisera la VBS.

** C1 : matériaux roulés et matériaux anguleux peu charpentés (0/50 > 60 à 80 %)

C2 : matériaux anguleux très charpentés (0/50 ≤ 60 à 80 %)

ANNEXEA.8 Fig :épaisseur minimum requise.

Méthodede « ASPHALTINSTITUTE **»**



ANNEXEA.9 .fiche téchnique Géogrilles bx1100

distribué par/ distributed by:

SOLMAX Texel

(418)658-0200 / 1-800-463-0088
www.sol-tex.qc.ca

Tensar International Corporation
5883 Glenridge Drive, Suite 200
Atlanta, Georgia 30328-5363
Phone: 800-TENSAR-1
www.tensar-international.com

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1100

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

Product Type: Integrally Formed Biaxial Geogrid
Polymer: Polypropylene
Load Transfer Mechanism: Positive Mechanical Interlock
Primary Applications: Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

Product Properties

Index Properties	Units	MD Values[1]	XMD Values[1]
• Aperture Dimensions[2]	mm (in)	25 (1.0)	33 (1.3)
• Minimum Rib Thickness[2]	mm (in)	0.76 (0.03)	0.76 (0.03)
• Tensile Strength @ 2% Strain[3]	kN/m (lb/ft)	4.1 (280)	6.6 (450)
• Tensile Strength @ 5% Strain[3]	kN/m (lb/ft)	8.5 (580)	13.4 (920)
• Ultimate Tensile Strength[3]	kN/m (lb/ft)	12.4 (850)	19.0 (1,300)
Structural Integrity			
• Junction Efficiency[4]	%	93	
• Flexural Stiffness[1]	mg-cm	250,000	
• Aperture Stability[5]	m-N/deg	0.32	
Durability			
• Resistance to Installation Damage[7]	%SC / %SW / %GP	95 / 93 / 90	
• Resistance to Long Term Degradation[8]	%	100	
• Resistance to UV Degradation[9]	%	100	

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length. A typical truckload quantity is 185 to 250 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759-02. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637-01 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-05 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-01, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818-06 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637-01.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355-05.

Tensar International Corporation warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall conform to the specification stated herein. Any other warranty, including merchantability and fitness for a particular purpose, are hereby excluded. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer.

This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to June 1, 2007