

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Géotechnique

Présenté par : DJENNAH RADIA

**Thème : Géosynthétiques pour la construction de routes et
chaussées « Amélioration de la couche de forme »**

Sous la direction de : Pr. NOUAOURIA MOHAMED SALAH

Juin 2016

Remerciement

A la fin de ce travail, je ne manque d'adresser mes sincères remerciements à tous les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

*J'ai l'honneur d'avoir comme encadreur monsieur **Nouaouria Mohamed**, qui n'a pas hésité à me faire confiance, sa patience, sa compréhension, et son suivi continu au cours de la réalisation de ce travail.*

Je tiens également le remercier pour ses conseils et son soutien

Je remercie vivement l'ensemble des personnels du département de génie civil.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous.

Dédicace

Je dédie ce travail à mon père et de ma mère. Je le dédie également à ma belle mère, mes frères et sœurs, mes filles Afnen et Alaa, et mon grand fils Mouadh et mon petit Iyed. Une dédicace particulière est réservée pour ceux et celles qui m'ont encouragé à reprendre mes études, qui sont, mon époux Adel, mes beaux frères et belles sœurs.

Résumé

L'utilisation des Géosynthétiques est devenue très répandue dans le domaine de Génie civil (terrassment, constructions routière, ferroviaire et aéroportuaire, murs de soutènement et talus très abruptes). Ces matériaux de renforcement offrent des solutions économiques et orientées vers l'avenir. La pénurie générale de terrains constructibles et les consignes de protection de l'environnement, entraînent des mesures de construction sur des terrains difficiles. Le matériau composite (sol-géotextile ou sol-géogrid) améliore la résistance au chargement et réduit le volume de l'emprise de l'ouvrage (route).

Le présent travail de recherche s'intéresse à la simulation numérique de l'amélioration de la portance de la couche de forme renforcée par géogrid reposant sur un sol de faible portance. Les simulations numériques par le code de calcul Plaxis, ont pour objet d'analyser le processus d'amélioration de la portance du sol support afin de réduire l'épaisseur des couches du corps de la chaussée.

Mots clés : Simulations numériques, chaussée, renforcement, géogrid, Couche de forme.

Abstract

The use of the Geosynthetics has become very widespread in the Civil Engineering field (earthworks, construction of roads, railways, airports, retaining walls and very abrupt slopes). These reinforcement materials offer economic and oriented solutions toward the future. The general shortage of constructible grounds and the instructions of environmental protection, involve measurements of construction on difficult grounds. The composite material (soil-geotextile, soil-geogrids) improves the resistance to the loading and reduces the volume of earthworks (roads).

This research work deals with the numerical simulation of improving the bearing capacity of the subgrade reinforced by geogrids of soil resting of capacity.

Numerical simulations by the Plaxis code are undertaken to analyze the process bearing capacity improvement of soil to reduce the thickness of the thickness of the pavement layers.

Key words: Numerical simulations, roadway, reinforcement, geogrids, form layer.

ملخص

ان استخدام المواد المركبة الترابية (géotextile) للدعم و (géogrille) أصبح أكثر انتشارا وملاءمة لمنشآت الهندسة المدنية (التركيم ، الطرقات ، السكك الحديدية ، أرضية المطارات ، جدر الاسنادات و الميول شديدة الانحدار) . مواد التدعيم هذه توفر حلولا اقتصادية و موجهة نحو المستقبل. النقص العام للاراضى الصالحة للبناء و تعليمات حماية البيئة يستلزم التدابير الإنشائية في مناطق وعرة . المادة المركبة (أرضية – جيوتكستيل أو جيوفري) يحسن من مقاومة الحمولة و يقلل من حجم المنشأة (طريق)

في هذه المذكرة ندرس النمذجة الرقمية للتحسن الحاصل في قوة تحمل أرضية الطريق المدعمة بالشبكيات الترابية و المنشأة على أرضية ذات قوة تحمل ضعيفة. الهدف من النمذجة الرقمية بواسطة برنامج PLAXIS هو تحليل الزيادة في قوة تحمل قاعدة الطريق بهدف إنقاص سمك الطبقات في جدع الطريق.

الكلمات المفتاحية : النمذجة طريق تدعيم، شبكة ترابية، أرضية طريق.

Introduction Générale

Les géosynthétiques sont des produits plans fabriqués à partir de polymères synthétiques tels que le polypropylène, le polyester, le polyéthylène, le PVC, etc. Ces matériaux sont fortement résistants à la dégradation biologique et chimique, mais ne supportent pas les rayons ultraviolets contre lesquels ils sont protégés par le sol d'enrobage. Les polymères synthétiques sont employés depuis plus de 35 ans avec le sol, la roche, ou autre matériau lié à la géotechnique (géo), ou ce qui explique l'appellation géosynthétiques qui signifie application du synthétique dans la géotechnique, en tant qu'un élément d'un projet ou d'un système de Génie Civil. Comme pour l'acier avec le béton, le synthétique est un produit qui travaille principalement en traction et son incorporation dans le sol devient utile si ce dernier est soumis à des déformations de traction et des cisaillements.

Les géosynthétiques sont définis par six fonctions principales, rappelées par Holtz (2001) [1]. Les filtres de géotextile sont employés dans les drainages (barrages, fossés, sous couche drainante d'une chaussée. Les géotextiles séparateurs empêchant les sols fins du sol de fondation d'être pompés dans la base noble. Les géogrilles et les géotextiles de renforcement permettent de construire des remblais sur sols mous, d'accroître la stabilité des pentes, de réduire les poussées des terres derrière les murs de soutènement. Les géomembranes sont employées en tant que barrières aux liquides et aux gaz dans les zones d'enfouissement. Holtz (2001) [1] a rapporté aussi qu'en 1970, il y avait seulement cinq ou six types de géosynthétiques disponibles, alors qu'aujourd'hui il en existe plus de 600.

Il est clair que les géosynthétiques ont révolutionné beaucoup l'aspect de notre pratique et dans plusieurs applications, ils ont entièrement remplacé le matériau de construction traditionnel. Dans beaucoup de cas, l'utilisation d'un géosynthétique permet l'augmentation de manière significative du facteur de sécurité, l'amélioration de la performance, et la réduction des coûts en comparaison avec une conception conventionnelle et une construction alternative.

Une application spécifique des géosynthétiques et qui concerne le sujet de ce mémoire est le renforcement des chaussées par géosynthétiques pour améliorer la portance des chaussées reposant sur un sol support de faible portance. Mais, par corps de chaussée, on entend dans ce mémoire, une chaussée non revêtue qui accepte des ornières assez profondes. Les chaussées revêtues d'enrobés bitumineux ne sont pas traitées ici.

Dans les routes non revêtues renforcées, le géosynthétique est placé directement sur le sol support ensuite la couche d'assise est mise en place et compactée. Ces routes non revêtues ont généralement les usages suivants : les pistes d'accès et de service des chantiers, les pistes

forestières, les pistes agricoles, les pistes de service longeant les canalisations de gaz et pétrole, les couches de forme, etc.

Il est généralement admis dans ce type d'application que le renforcement devient de plus en plus efficace quand les déformations sont larges. Ce qui signifie que cette technique particulière est mieux adaptée à la construction de routes pour lesquelles un orniéage large de surface est acceptable.

Notre problème peut être posé comme la détermination du comportement pression-déplacement d'une chaussée composée d'un bicouche constitué d'une couche d'assise en grave sélectionnée reposant sur un sol de faible résistance avec ou sans renforcement en géogrille interposée entre le sol et la couche d'assise. La chaussée est chargée par une roue de poids statique égal à 65 kN (correspondant à un demi-essieu de 130 kN). L'étude s'intéressera aussi aux déformations et contraintes dans le sol ainsi qu'à la force de tension dans la géogrille. Il est bien entendu que l'étude numérique que nous menons ici ou toute étude d'éléments finis ou analytiques d'autres auteurs sont établies sur l'hypothèse d'une application d'une charge unique alors que ce qui fait travailler la chaussée c'est plutôt une charge cyclique répétée. Mais il s'avère, suite à des études, d'après Fannin (1986) [2], Milligan et al. (1986) et (1989) [3], que les mécanismes de rupture relatifs aux deux types de chargement, étaient identiques. Ce qui met en évidence l'utilité et la complémentarité des deux types d'essais, numériques et expérimentaux et, soutient donc, l'argument courant en matière de conception des chaussées de lier les deux types de chargement. On peut donc partir d'une analyse quasi-statique puis tenir compte du trafic à travers des relations empiriques.

Le présent mémoire est scindé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter les principaux éléments qui composent une chaussée, les notions essentielles relatives aux différents types de chaussées ainsi que les différents types de dimensionnement.

Le second chapitre est consacré pour présenter les divers types de géosynthétiques (géotextiles, géogrilles, géocomposites, géomembranes, etc.) et les fonctions principales des géosynthétiques avec leurs domaines d'application.

L'utilisation des géosynthétiques dans les chaussées routières et les mécanismes mis en place ont été présentés dans le troisième chapitre.

Le quatrième chapitre a été dédié à la modélisation numérique du comportement de la couche de forme renforcée ou non par une géogrille, avec l'utilisation du PLAXIS comme outil de calcul numérique, ce chapitre est achevé une discussion des résultats obtenus.

Enfin, ce mémoire de Master est coiffé par une conclusion générale et des références bibliographiques sur notre thème de recherche.

Liste des figures

Chapitre 1 Conception et généralités sur les chaussées routières

Figure 1.1 Différentes couches de chaussée

Figure 1.2 Composantes d'une chaussée souple

Figure 1.3 Schématisations du fonctionnement des chaussées souples

Figure 1.4 Différentes causes d'orniérage des chaussées souples

Figure 1.5 Chaussées bitumineuses épaisses

Figure 1.6 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

Figure 1.7 Schématisation du fonctionnement des chaussées semi-rigides.

Figure 08 Différentes types d'une chaussée rigide

Figure 1.9 Chaussées à structures mixte

Figure 1.10 Chaussées à structures inverse

Figure 1.11 Chaussées à structures composite

Figure 1.12 influence du collage sur le diagramme des contraintes (a) interface non collée (b) interface collée.

Figure 1.13 Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante

Chapitre 2 Notions sur les matériaux géosynthétique

Figure 2.1 Géocellules

Figure 2.2.A Structure géocomposite

Figure 2.2.B Géomembranes

Figure 2.3 Géotextile non tissé

Figure 2.4 Géotextile tissé

Figure 2.5 Géotextile tricoté

Figure 2.6 Pose des géogrille de séparation.

Figure 2.7 Pose de géotextiles de renforcement.

Figure 2.8 Utilisation dans la protection

Figure 2.9 Utilisation contre l'érosion.

Figure 2.10 Utilisation pour filtration

Figure 2.11 Utilisation pour drainage.

Figure 2.12 Utilisation pour Étanchéité

Figure 2.13 Géogrille uniaxiale.

Figure 2.14 Géogrille biaxiale.

Figure 2.15 Imbrication des grains dans une géogrille

Chapitre 3 : Utilisation des geosynthétiques dans les chaussées routières

Figure 3.1 Déformations de la chaussée

Figure 3.2 Distribution des contraintes dans une chaussée souple

Figure 3.3 Effet de l'amplitude d'un chargement au niveau de la couche de sol

Figure 3.4 Confinement latéral

Figure 3.5 Modification surface de rupture augmentation de la capacité portante

Figure 3.6 Membrane tendue

Figure 3.7 Comportement mécanique du géotextile

Figure 3.8 géotextile déformé

Figure 3.9 verrouillage mécanique des agrégats

Figure 3.10 chaussée non renforcée et chaussée renforcée par géogrille

Chapitre 4 modélisations de la couche de forme renforcée ou non renforcée

Liste des tableaux

Chapitre 1 Conception et généralités sur les chaussées routières

Tab. 1.1 Types de structure de chaussée selon LCPC

Chapitre 2 Notions sur les matériaux géosynthétique

Chapitre 3 : Utilisation des geosynthétiques dans les chaussées routières

Tab. 3.1 Position du géosynthétique de renforcement au sein de la chaussée

Chapitre 4 modélisations de la couche de forme renforcée ou non renforcée

Tab. 4.1 Propriétés des matériaux

1.1 Introduction

On appelle chaussée toute surface spécialement aménagée, sur le sol ou sur un ouvrage, pour le stationnement ou la circulation des véhicules. C'est une structure composite réalisée par empilement de couches de matériaux.

Les routes et autoroutes sont, généralement, classifiées dans deux catégories permanente et provisoire, selon leur durée de vie, applications du trafic ou performance désirée.

Les routes permanentes incluent les réseaux revêtus et non revêtus qui demeurent habituellement en service de 10 ans ou plus. Elles peuvent être soumises à plus d'un million d'applications de charges pendant leurs vies de réalisation. Ailleurs, les routes provisoires sont, dans la plupart des cas, non revêtues. Elles ne demeurent en service, seulement, que des courtes périodes (couramment moins de 1 an), et ne sont habituellement soumises à moins de 10.000 application de charges pendant leurs durée de vie. Les routes provisoires incluent des détours, des voies de transport et d'accès, des plates-formes de construction, et des tables de fonctionnement stabilisées exigées pour la construction des routes permanentes, aussi bien que des remblais au-dessus des fondations molles

1.2 Constitution de structures des chaussées

Une chaussée routière se présente comme une structure composite réalisée par empilements successifs de couches de matériaux granulaire, le tout reposant sur un sol support.

La structure d'une chaussée non revêtue est constituée généralement de deux groupes de couches, et dans le cas d'une chaussée revêtue les deux groupes précédents sont surmontés par la couche de surface superposée de bas vers le haut :

- ✓ la plate-forme support et la couche d'assise.

1.2.1 Plate-forme support de chaussée

La plate-forme support de chaussée est la couche dont la surface est étendue sous la chaussée et les accotements. Elle sert, comme son nom l'indique, de support de chaussée.

La plate-forme(PF) doit répondre aux objectifs suivant :

- ✓ Garantir une portance à court terme, nécessaire à l'obtention de la qualité de compactage ou de densification des matériaux du corps de chaussée, mais également à long terme.
- ✓ Permettre la traficabilité nécessaire aux engins de chantier.
- ✓ Assure la protection de la partie supérieure des terrassements contre les intempéries lors du chantier de construction de la chaussée.

- ✓ Assure la protection du sol naturel contre le gel lors d'hiver rigoureux.

La plate-forme support de chaussée est généralement constituée de bas en haut par :

a- Partie Supérieure des terrassements(PST) : Représentée par les sols en place (déblai) ou les matériaux rapportés (remblai). Elle a une épaisseur d'environ 1,00 m. la surface de la PST, est appelée l'arase terrassement(AR)

b-Couche de forme : Couche de matériaux destinés à homogénéiser et à améliorer la portance de la couche support. C'est une couche de transition entre l'arase et la chaussée, elle est d'environ 15 à 45cm.

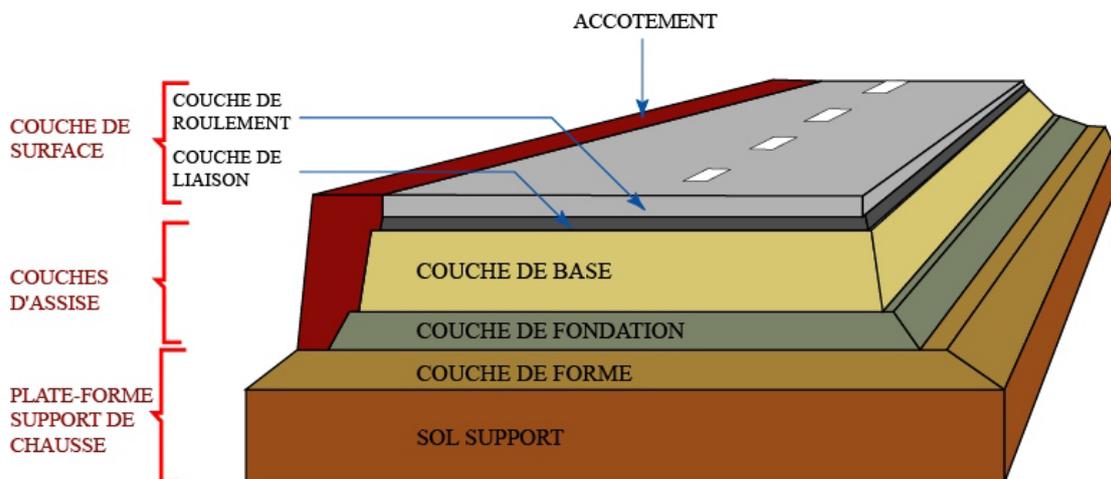


Figure 1.1 Différentes couches de chaussée

1.2.2 Couche d'assise : l'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches, couche de fondation surmontée de la couche de base. Elles apportent à la structure de chaussée l'essentiel de sa rigidité.

a- Couche de fondation : Elle est composée de gravier concassé 0/40 d'une épaisseur de 20 cm. Elle répartit les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations.

b- Couche de base (G.B) : Elle est formée de gravier 0/25 et bitume. Elle est d'une épaisseur de 20 cm. Cette couche supporte exactement l'action des véhicules à l'intérieur de laquelle les pressions élevées s'atténuent avant d'être transmises à la couche de fondation.

1.2.3 Couche de surface : La couche de surface a globalement une structure bicouche :

a- Couche de roulement : Qui subit directement les actions agressives dues au trafic et au climat, assure la fonction d'étanchéité des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau

et des sels de déverglaçage (fusion du verglas), et à travers ses caractéristiques de surface, elle garantit la sécurité et le confort des usagers.

b- Couche de liaison : Assure l'adhérence entre la couche de roulement et la couche de base

1.3 Différents types de structure de chaussée :

Tableau 1.1 Types de structure de chaussée selon LCPC

Structures types	Nature des couches			Commentaires
	Surface	Base	Fondation	
Souples	Bitumineuse	Graves Non Traitées (GNT)		Epaisseur totale de la structure comprise entre 300 et 600 mm
Bitumineuses épaisses	Matériaux bitumineux			Epaisseur des couches d'assise comprise entre 150 et 400 mm
Semi-rigides	Bitumineuse	MTLH		Epaisseur des couches d'assise comprise entre 200 et 500 mm
Rigides	Béton de ciment (150 à 400 mm d'épaisseur)		Soit en MTLH Soit en GNT Soit bitumineuse	Couche de forme en MTLH Dispositions particulières (dalle goujonnées ou non, béton armé continu, etc.) afin d'assurer une continuité mécanique au franchissement d'une fissure due au retrait du béton
Mixtes	Matériaux bitumineux		MTLH	Rapport de 0,5 entre l'épaisseur de matériaux bitumineux et celle de la structure de chaussée
Inverses	Bitumineuse	GNT	MTLH	Epaisseur de la GRH (environ 120 mm)
Composite	Béton bitumineux	Béton armé	Graves	Epaisseur de GB de 5 à 10cm

	très mince (BBTM) Enduit superficiel (ES)	continu (BAC)	bitumineux (GB)	
--	---	------------------	--------------------	--

1.4 Mode de fonctionnement et dégradation des chaussées d'après (LCPC ,1994)

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue les structures suivantes :

1.4.1 Chaussées souples

Les chaussées souples sont les plus utilisées dans le monde. Le corps d'une chaussée souple se compose de trois types de couches, du haut vers le bas (figure 4):

- ✓ la couche de surface
- ✓ la couche d'assise
- ✓ la couche de plate-forme support

Il s'agit d'une mixtion de granulats grossiers ou fins (pierre concassée, gravier et sable) et de bitume obtenu à partir d'asphalte ou de pétrole, ou de goudron compressé et convenablement souple pour absorber le choc des roues et l'intensité du trafic.

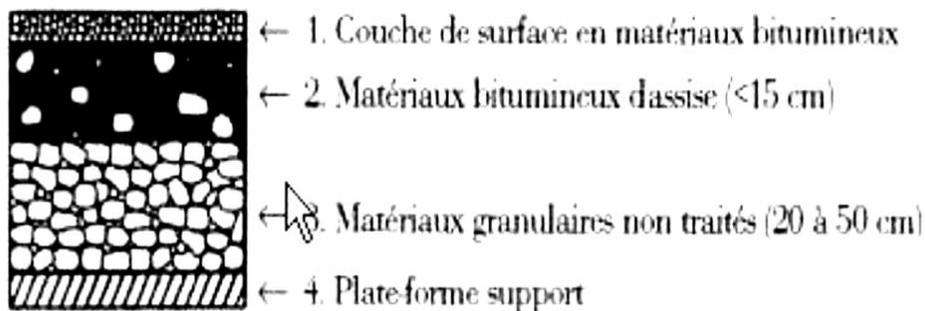


Figure 1.2 Composantes d'une chaussée souple

Sous la charge du trafic, chaque couche composant cette chaussée transmet sur la couche suivante une charge uniformément répartie

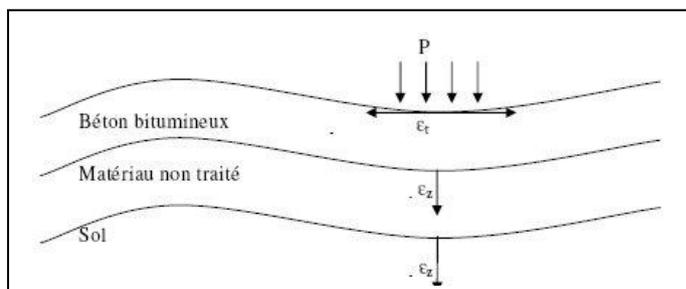


Figure 1.3 Schématisations du fonctionnement des chaussées souples

Les couches de cette structure sont disposées par ordre croissant de rigidité, du sol vers la surface de la chaussée. Les ordres de grandeur des modules sont de 50 MP environ pour le sol et de 5000 MP environ pour l'enrobé.

Compte tenu de la faible épaisseur de la couverture bitumineuse des chaussées souples, les sollicitations dues au trafic se répercutent sur le support avec une faible dispersion horizontale ; donc les contraintes verticales sont élevées et engendrent par leur répétition de déformations permanentes. Sous ces sollicitations ainsi que sous les conditions d'environnement (les conditions hydropiques) les chaussées souples constituées de matériaux non traités (assise en grave non traitée et le sol support de chaussée) se dégradent en donnant deux modes de dégradation ; l'orniérage à grand rayon, dû à l'accumulation des déformations permanentes et la fissuration par fatigue de la couverture bitumineuse provoquée par les efforts répétés de traction-flexion

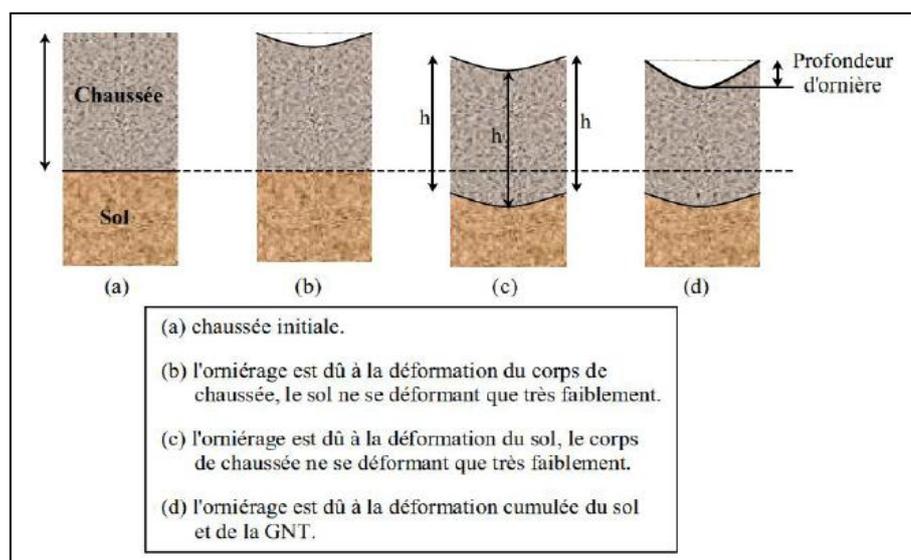


Figure 1.4 Différentes causes d'orniérage des chaussées souples

Selon des essais réalisés par Larsen [4] et Theyse [5] ont montré que la participation de la couche GNT à l'orniérage est très importante et peut atteindre les 50 %

(cas (b) et (d)). La sensibilité de ce type de structure aux variations de la teneur en eau est due à la perte de rigidité dans les matériaux non liés.

1.4.2 Chaussées bitumineuses épaisses

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse chapeauté un corps de chaussée d'épaisseur comprise entre 15 et 40cm (Composé d'une couche de base et une couche de fondation) en grave traitées aux liants hydrocarbonés ou hydrauliques. Vu la différence d'épaisseur de la couche d'assise entre la chaussée simple et la chaussée épaisse, leur fonctionnement se différent.



Chaussées bitumineuses épaisses:

1. Couche de surface de matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d'assise (de 15 à 40 cm)
3. Plate-forme support

Figure 1.5 Chaussées bitumineuses épaisses

La transmission et l'atténuation des charges du trafic transmises aux sols sont atteints grâce à la rigidité et la résistance en traction. Le collage des couches a une grande importance pour ce type de chaussée car il permet les allongements maximaux à la base des couches les plus profondes ; par contre, lorsqu'elles sont décollées, chaque couche se trouve sollicitée en traction qui conduit à la ruine précoce de la structure.

1.4.3 Chaussées semi-rigides(ou à assise aux liants hydrauliques)

Assise traitée aux liants hydrauliques de 20 à 50 cm avec couche de surface en matériaux hydrocarbonés d'épaisseur 6 à 14 cm.



1. Couche de surface de matériaux bitumineux (6 à 14 cm)
2. Matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 50 cm)
3. Plate-forme support

Figure 1.6 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

Ces chaussées sont qualifiées de semi-rigide. La grande rigidité des couches d'assises traitée limite les contraintes transmises aux couches de chaussée. Elles sont par

contre soumises à des contraintes de traction-flexion déterminantes pour leur dimensionnement.

L'interface couche de surface couche de base est aussi une zone sensible car elle est souvent soumise à de fortes contraintes normales et de cisaillement horizontales et les centimètres supérieurs de l'assise traitée souvent de faible résistance ces assises sont sujettes à des retraites (phénomène thermique et de prise de béton). Le retrait bien qu'empêché par le frottement de la couche d'assise sur son support, provoque des fissures transversales qui remontent au travers de la couche de roulement.

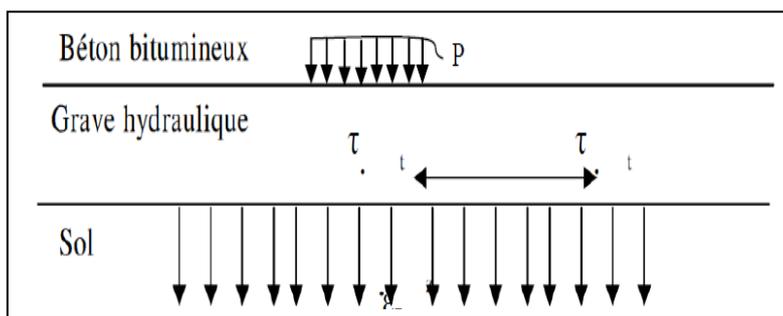
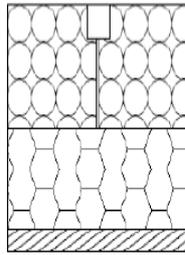


Figure 1.7 Schématisation du fonctionnement des chaussées semi-rigides.

1.4.4 Chaussées rigides (ou en béton de ciment)

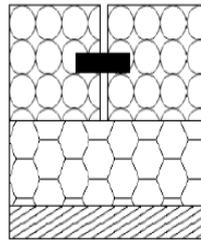
Sont constituées d'une couche de béton de 15 à 40 cm recouverte d'une couche mince en enrobés bitumineux. La couche de béton peut surmonter :

- ✓ Une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton de ciment.
- ✓ Une couche drainante en matériaux non traités.
- ✓ Une couche bitumineuse qui repose sur une couche de forme.
- ✓ La couche de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (béton armé continu) ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints.



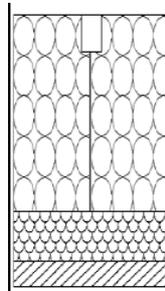
Dalles non goudonnées avec fondation:

1. Béton de ciment (20 à 28 cm)
2. Béton maigre (12 à 18 cm) ou matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 20 cm)
3. Plate-forme support



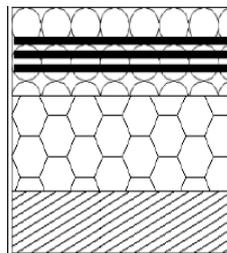
Dalles goudonnées avec fondation:

1. Béton de ciment (17 à 23 cm)
2. Béton maigre (14 à 22 cm)
3. Plate-forme support



Dalles sans fondation:

1. Béton de ciment (28 à 39 cm)
2. Couche drainante (matériaux granulaires ou géotextiles)
3. Plate-forme support



Béton armé continu (1):

1. Béton de ciment (18 à 24 cm)
2. Béton maigre (12 à 14 cm)
3. Plate-forme support

Figure 08 Différents types d'une chaussée rigide

Au regard du module d'élasticité élevé du béton armé, les sollicitations déterminantes sont celles de traction par flexion dans la dalles. La mise en œuvre du béton de ciment sur une longueur importante provoque l'apparition des fissures transversales suite au phénomène de retrait empêché. Pour tenir compte de ce phénomène, les dernières types de cette structure introduisent les notions de goudon ou de béton armé continu afin d'assurer une continuité mécanique au franchissement de la fissure.

1.4.5 Chaussées à structures mixte

Comporte une couche de surface et une couche de base en matériaux bitumineux (10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). De plus, le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de la chaussée est de 0,5.

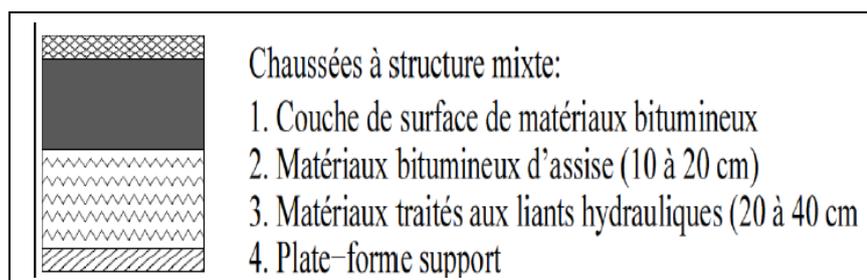


Figure 1.9 Chaussées à structures mixte

La couche de matériau traité aux liants hydrauliques arrangée en fondation, diffuse et affaiblit, du fait de sa raideur élevée, les efforts transmis au sol support.

Elle constitue un support de faible déformabilité pour les couches supérieures de matériaux bitumineux. La faiblesse de ces structures tient dans la sensibilité des interfaces aux dilatations différentielles, les couches peuvent alors se décoller et les couches supérieures supporter des contraintes qui produisent leur destruction.

1.4.6 Chaussées à structures inverse

En les comparant aux structures mixtes, les chaussées inverses comportent une couche supplémentaire de matériaux granulaires non traités d'environ 12 cm.

Cette couche introduite entre la couche bitumineuse de 15 cm d'épaisseur et la couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques.

L'épaisseur totale de la structure est comprise entre 60 et 80 cm.

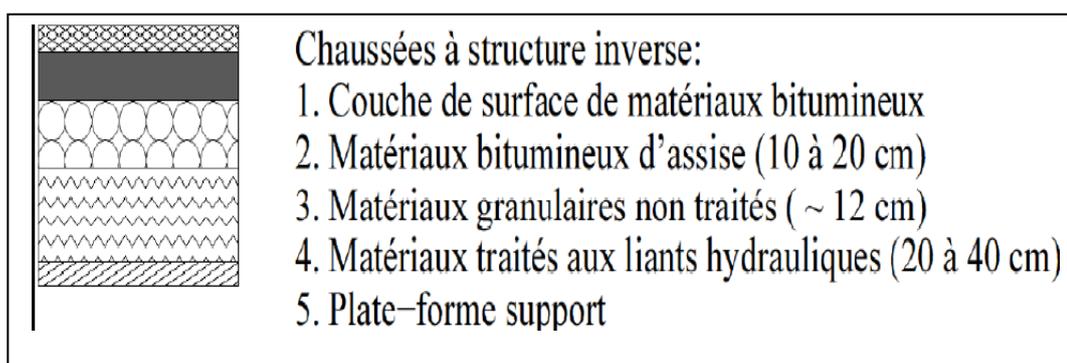


Figure 1.10 Chaussées à structures inverse

La couche intermédiaire en matériaux grave non traité GNT renforce également l'effet retardateur vis-à-vis de la remontée des fissures de la fondation et assure un drainage indispensable.

Leur dégradation est probablement analogique avec la structure mixte, et en cas d'infiltrations d'eau, il y a le risque d'orniérage de la GNT.

1.4.7 Chaussées à structures composite

C'est une structure qui a été l'objet d'une étude technico-économique au début des années 1990. Cette étude a pour but d'assembler la qualité de durabilité des bétons de ciment avec les qualités souplesse et capacité d'adaptation des matériaux bitumineux. Deux nouvelles structures ont été développées :

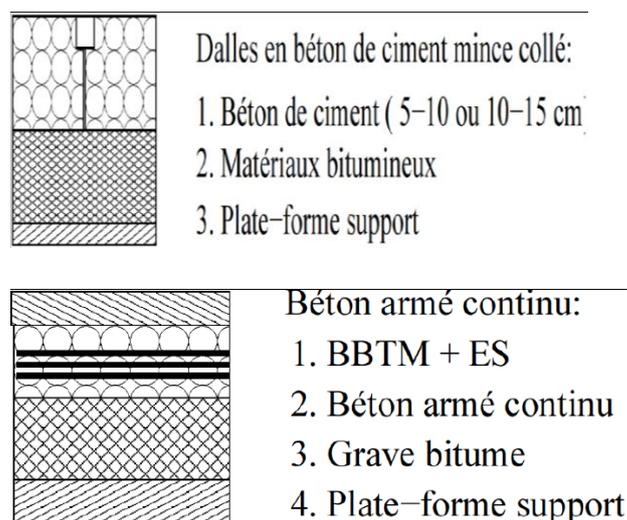


Figure 1.11 Chaussées à structures composite

- Béton de ciment mince collé (BCMC)

Est une technique d'entretien superficiel des structures bitumineuses dégradées, apparue aux États-Unis. Elle consiste d'abord à raboter et à nettoyer la structure dégradée, puis étaler une couche de béton de ciment non armé (épaisseur 5 à 10 cm). L'intérêt de cette technique réside dans l'adhérence de la couche de béton à la structure en matériaux bitumineux.

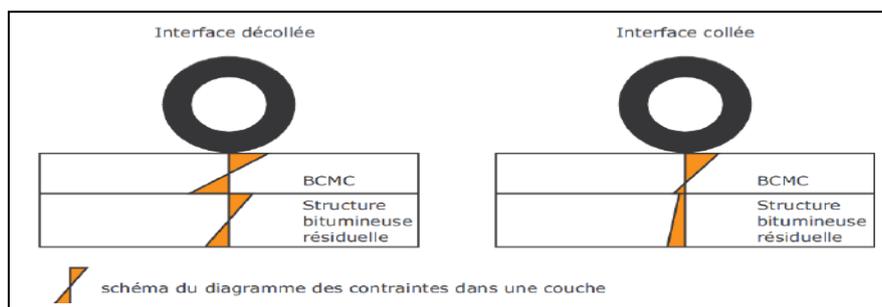


Figure 1.12 influence du collage sur le diagramme des contraintes (a) interface non collée (b) interface collée.

Sous l'influence du changement du trafic, la structure composite présente grâce à l'interface collée une réduction des contraintes de traction à la base de la couche de béton et garantit à la couche mince une résistance à la fatigue.

- Béton armé continu sur grave bitume (BAC/GB)

Elle est composée d'une couche de fondation en grave bitume d'épaisseur 9 cm qui surplombe la plateforme support de chaussées. La GB est grenailé avant la mise en œuvre de la couche de béton armé continu (BAC) dont l'épaisseur varie en fonction du trafic. Le rôle des armatures dans le BAC est principalement d'examiner la fissuration transversale sans collaborer (participer) à la résistance aux sollicitations du trafic. A son tour la couche BAC, est grenailée avant la surmonter par une couche d'enduit superficiel qui assure l'adhérence entre le BAC et la couche de roulement en béton bitumineux très mince (BBTM) (2.5cm d'épaisseur). Cette adhérence présente l'intérêt de cette technique.

1.5 Dimensionnement d'une structure de chaussée routière

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobés.

Il existe différentes méthodes pour bien appréhender cette déformation. Elles donnent lieu ensuite à différents modèles de dimensionnement.

Les facteurs principaux à prendre en considération dans le dimensionnement de la chaussée sont les suivants :

- ✓ Portance du sol : naturelle ou plate forme.
- ✓ Climat et environnement : influence de la température et de l'eau sur vieillissement du bitume.
- ✓ Caractéristiques des matériaux de chaussée.
- ✓ Trafic : son influence se traduit par l'usure, le fluage ou rupture par fatigue.

Le trafic pris en compte est celui du poids lourd, c'est-à-dire des véhicules dont le poids total est supérieur à 3,5 tonnes.

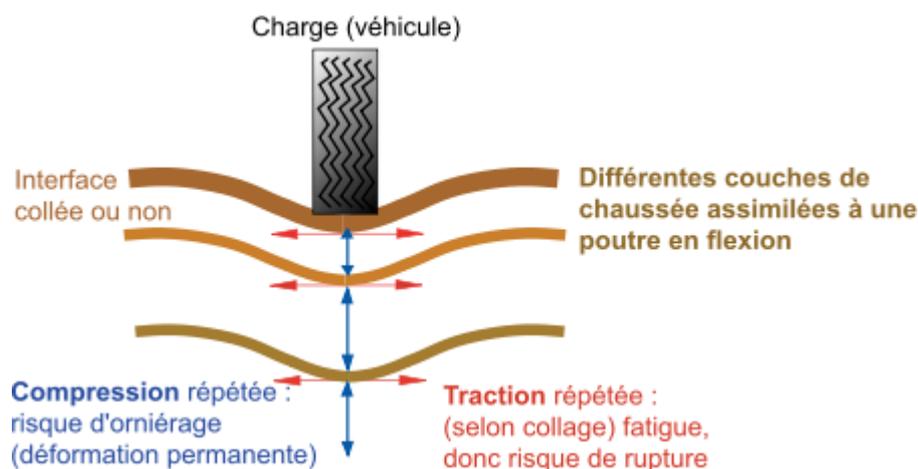


Figure 1.13 Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante

1.5.1 Principe de dimensionnement de la structure de chaussée [6]

Toute méthode devra s'appuyer d'abord sur une appréciation de la force portante du sol, soit par le moyen d'un essai mécanique (poinçonnement, plaque, triaxial, etc.), soit par le truchement des caractéristiques géotechniques (limites d'atterberg, granulométrie). Cette force portante devra être appréciée dans les conditions existant après exécution de la chaussée et, si des essais mécaniques sur échantillons ou sur le sol en place sont prévus, ils devront être effectués autant que possible dans des conditions de teneur en eau et de compacité voisine des conditions ultérieures prévisibles.

Ensuite ces méthodes comporteront évidemment des abaques, ou tableaux, fixant les épaisseurs en fonction de la charge maximum prévue et de la pression de gonflage des pneumatiques.

Enfin l'importance du trafic pendant la vie de l'ouvrage, c'est-à-dire la répétition des charges, devra intervenir, de même que la rigidité des couches de chaussée qui permettra de soulager les couches inférieures. On distingue arbitrairement trois groupes de méthode de calcul.

1.5.1.1 Méthodes empiriques: Il existe toute une gamme de méthodes empiriques, s'étendant entre le cas extrême où le dimensionnement repose uniquement sur l'expérience du technicien, au cas plus élaboré s'appuyant sur les résultats d'essais systématiques pour diverses structures de chaussée. Dans ce second cas, les paramètres de dimensionnement sont corrélés de manière statistique aux informations ainsi collectées. Le champ d'application de ces méthodes est restreint, car elles ne peuvent être utilisées que pour une structure de chaussée donnée et dans des conditions d'utilisations précises.

C'est le cas de la méthode AASHTO (American Association of State Highway and Transportation and Officials). Le dimensionnement s'effectue pour un certain nombre d'essieux standard équivalents de 80KN. Le degré d'incertitude d'atteindre la durée de vie supposée, l'erreur sur la prédiction du trafic et du comportement de la structure, les effets du gel, le gonflement du sol support et le drainage de la chaussée sont pris en compte par la méthode.

Le nombre structurel de la chaussée, qui dépend de la capacité de la chaussée à écouler le trafic de dimensionnement) est calculé, ainsi que l'épaisseur des couches structurelles. Ce choix d'épaisseur de chaussée se fait via des abaques et des formules produites à partir d'analyses statistiques et de régressions linéaires sur des résultats d'essais.

1.5.1.2 Méthodes théoriques [7]

Assimilent la chaussée à un édifice justiciable des procédés de l'élasticité. Ces méthodes qui sont peu utilisées en pratique, servent de base aux travaux de recherche entrepris dans ce domaine. Elles peuvent se borner à l'étude élastique des systèmes multicouches soumis à des charges statiques (Boussinesque en 1885, Burmister en 1943, Hogg en 1938, Westergaad en 1926, Jeuffroy en 1955...etc.); Elles peuvent faire intervenir les propriétés visco-élastiques de certaine couche de chaussées et des charges variables (étude entreprise par le Laboratoire Central des Pont et Chaussées).

Modèle de Boussinesq (1885): Créé et utilisé initialement en mécanique des sols, ce modèle s'appuie sur un massif élastique semi-infini soumis à l'action d'une charge statique ponctuelle.

Modèle bicouche de Westergaard (1926)

Harald Westergaard était un danois, professeur à l'Université de l'Illinois. Il crée le premier vrai modèle dédié aux chaussées. La simplicité du modèle retenu (modèle bi-couche en termes d'aujourd'hui) associée au génie mathématique de Westergaard lui permirent d'exprimer les contraintes sous forme d'équations explicites simples et à la portée de tous.

Ce modèle donne les contraintes et déformations d'un système constitué d'une plaque reposant sur un sol assimilé à un ensemble de ressorts verticaux sans connexions horizontales communément appelé fondation de Winkler, dont le déplacement vertical en un point est proportionnel à la pression verticale en ce point. Cela implique que le sol réagit de manière élastique et uniquement dans le sens vertical. Or, le sol ne se comporte pas comme un massif élastique : il accuse des déformations permanentes. La réaction du sol n'est donc pas strictement verticale : les contraintes se dispersent en profondeur et des contraintes de cisaillements ne sont pas à exclure.

Tous les spécialistes reconnaissent aujourd'hui que le modèle de Westergaard surestime les contraintes.

Modèle bicouche de Hogg (1938)

Il donne les contraintes et déformations d'une plaque reposant sur un massif élastique semi-indéfini de type Boussinesq .

Modèle de Burmister (1943)

Il fallut attendre près de 20 ans avant de disposer d'un modèle pour les chaussées souples. C'est en 1943 que Burmister, professeur à l'Université de New-York, publia sa solution du multi-couche élastique. Celui-ci connut un succès foudroyant : déjà à cette époque les chaussées et les aérodromes étaient constitués de plus de deux couches. Le développement rapide de l'informatique lui procura en outre les outils nécessaires à son exploitation.

Il aborde et traite le problème général d'une structure à n couches reposant sur un massif élastique semi-indéfini. Les principales particularités du modèle sont les suivantes : Les couches sont traitées comme des structures élastiques (et non comme des plaques),

- ✓ les interfaces entre couches peuvent être collées ou décollées,
- ✓ le cas de charges complexes (jumelages, essieux tandem ou tridem etc.) peut être traité en additionnant les effets des charges élémentaires,
- ✓ sa principale limitation réside dans le fait que, comme dans le modèle de Hogg, les couches sont infinies en plan,
- ✓ dans le cas des dalles en béton, il est notamment nécessaire de le compléter par un modèle aux éléments finis pour évaluer les conséquences des charges en bord ou en angle de dalle.

Modèle de Jeuffroy (1955)

Ce modèle assimile la chaussée à un tricouche (plaque mince sur un modèle de Burmister), a permis pour la première fois d'établir un système très complet d'abaques. Il a constitué pour les ingénieurs français une étape fondamentale vers plus de rationalité dans le dimensionnement des chaussées.

1.5.1.3 Méthodes semi empiriques [8] Qui combinent les résultats de certaines études théoriques et des essais et constatations faites sur les routes et pistes en service. Ces méthodes sont les plus répondues et les plus rationnelles. C'est le cas de La méthode française de dimensionnement (SETRA LCPC)

Méthode française de dimensionnement (SETRA LCPC)

Les fondements de la méthode française de dimensionnement des chaussées ont été dégagés dès le début des années 1970. Dans la démarche adoptée, la détermination des épaisseurs des différentes couches de chaussée ainsi que leurs caractéristiques mécaniques des matériaux relève, soit d'une approche expérimentale empirique, soit de calculs de vérification (méthode rationnelle).

Par opposition aux modèles empiriques, ces méthodes rationnelles font appel à l'utilisation combinée de modèles mécaniques et de données expérimentales d'un point de vue mécanique, la démarche de la méthode française de dimensionnement peut être scindée en deux étapes. Dans une première étape, il convient de calculer, sous l'effet de l'essieu standard de référence de 130 KN, la réponse d'une structure de chaussée choisie à priori (type de structure, matériaux et épaisseurs des couches constitutives). Ce calcul repose sur l'évaluation, sous l'effet d'une charge circulaire appliquée à la surface d'un massif multicouche, les champs de contraintes maximales dans les couches de matériaux et de sol. Dans ce calcul, la charge appliquée symbolise l'action de l'essieu de référence, et le modèle semi analytique de Burmister, est utilisé pour obtenir la réponse mécanique.

Dans ce modèle, l'interface entre deux couches de matériaux peut être modélisée comme parfaitement collée, ou glissante. Dans une seconde étape, il s'agit de calculer les valeurs de sollicitations admissibles des matériaux de la structure, en fonction de leur localisation dans la structure, de leurs modes de dégradation, et de trafic cumulé devant circuler sur la chaussée pendant sa durée de vie sur une plate-forme donnée.

La structure convient si les sollicitations induites par le passage de l'essieu de référence restent inférieure aux sollicitations admissibles pour chaque couche. Le choix de la structure finale se fait par calculs itératifs. Le calcul des valeurs admissibles s'appuie sur le comportement en fatigue des matériaux liés, traduisant la rupture d'une éprouvette en laboratoire pour l'application d'un grand nombre de sollicitations, et sur le caractère plastique des matériaux non liés, expliquant l'apparition de déformation permanente.

On notera que le même procédé établi en ce qui concerne la méthode Algérienne.

1.5.2 Méthode algérienne de dimensionnement

1.5.2.1 Détermination du type de réseau

Les études initiées par les services du Ministère des Travaux Publics ont abouti en 1996 à la décomposition du réseau routier national de l'Algérie comme suit:

- ✓ Réseau principal noté RP
- ✓ Réseau secondaire noté RS

Mais seul le réseau principal RP est pris en considération dans le catalogue Algérien

Ce réseau principal se décompose en deux niveaux:

- ✓ réseau principal de niveau 1 (RP1);
- ✓ réseau principal de niveau 2 (RP2).

Réseau principal 1 (RP1):

Il comporte des:

- ✓ liaisons supportant un trafic supérieur à 1500 véhicules/jour
- ✓ liaisons reliant deux chefs lieu de Wilaya
- ✓ liaisons présentant un intérêt économique et ou stratégique

Il s'agit essentiellement d'un réseau composé de routes nationales (RN).

Réseau principal 2 (RP2):

Il est constitué de liaisons supportant un trafic inférieur à 1500 véhicules /jours

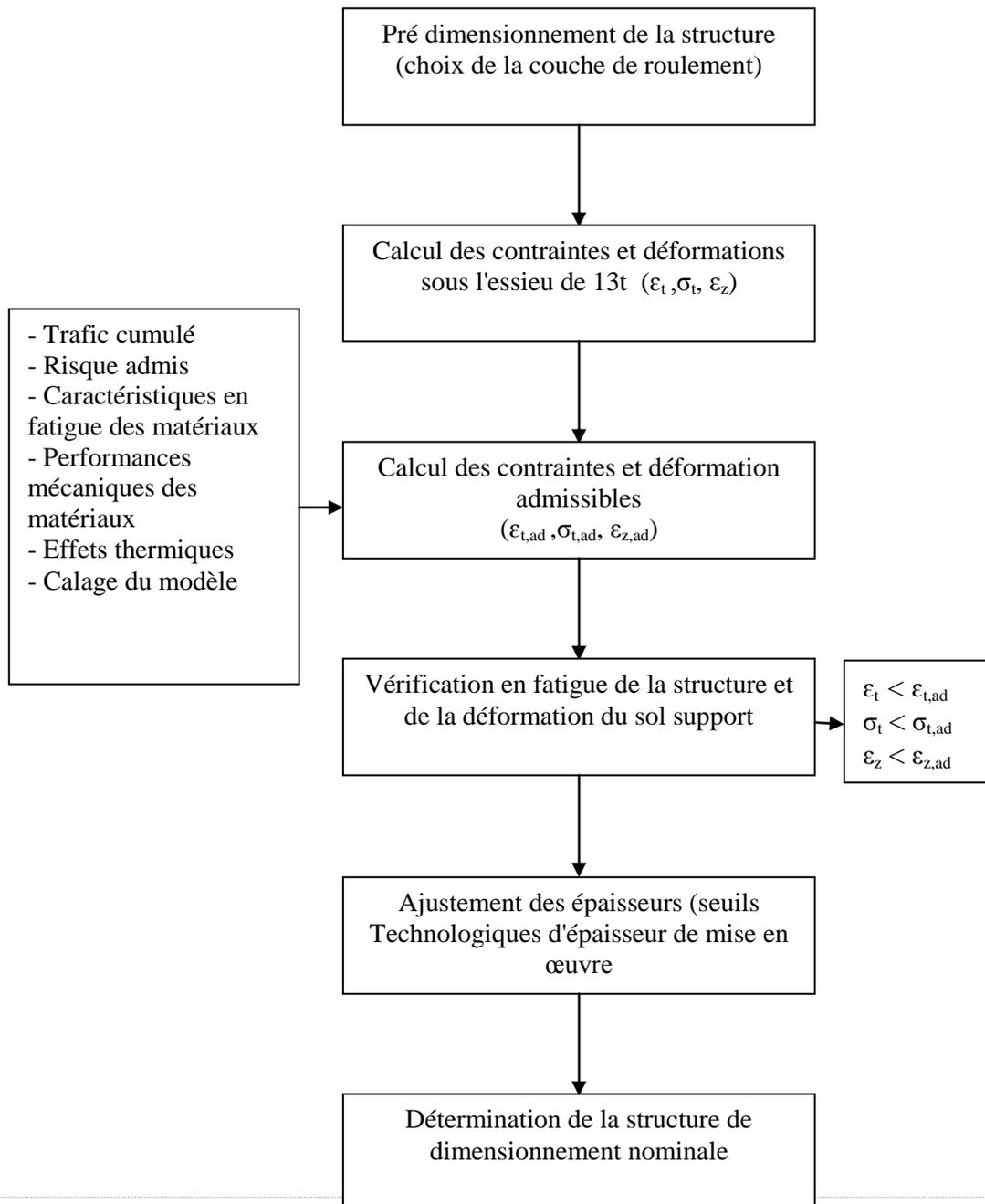
Ce réseau est composé de routes nationales (RN), de Chemins de Wilaya (CW) et de liaisons reliant L'Algérie aux pays riverains.

1.5.2.2 Données d'entrées du dimensionnement

Les données de base pour dimensionnement des structures de chaussées sont:

- ✓ **Durée de vie:** est en étroite relation avec la stratégie d'investissement retenue par le maître de l'ouvrage. Elles correspondent à un investissement initial moyen à élever et des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction du niveau de réseau principal considéré.
- ✓ **Risque de calcul:** La probabilité d'apparition de dégradation avant une période donnée de x années soit inférieure à une valeur fixée.
- ✓ **Données climatiques**
- ✓ **Trafic :** Le poids lourds des véhicules est transmis à la chaussée sous forme de pression Classe de trafic
- ✓ **Sol support**
- ✓ **Les caractéristiques des matériaux**

1.5.2.3 Démarche de calcul du dimensionnement des structures de chaussée Algériennes selon le catalogue de (2001)



2.1 Introduction

En Génie Civil, les polymères font partie des matériaux qui sont utilisés dans les différents ouvrages géotechniques de soutènement, de protection de bassins d'étanchéité sous les chaussées, dans les tunnels...etc. Leur emploi nécessite la maîtrise de leur comportement à long terme (la durée de vie exigée) et qui est généralement de l'ordre de 100 ans)

2.2 Que sont les géosynthétiques ? [9]

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

Les polymères synthétiques sont employés depuis plus de 40 ans avec le sol, la roche ou autre matériau lié à la géotechnique, ou ce qui explique l'appellation géosynthétique qui signifie application du synthétique dans la géotechnique.

Les géosynthétiques peuvent être produits à partir de différents polymères, polyester (PET) polyvinyle alcool (PVA), polypropylène (PP). Ces matériaux sont fortement résistants à la dégradation biologique et chimique, mais ne supportent pas les rayons ultraviolets contre lesquels ils sont protégés par le sol d'enrobage.

Les produits se distinguent par leurs propriétés géométriques en:

- ✓ Bandelettes, filaments
- ✓ Produits plans, avec des dimensions typiques de l'ordre de 3-5m de largeur et d'environ 50-300m de long, tandis que l'épaisseur de l'ordre de quelques millimètres;
- ✓ Produits volumétriques, dans ce groupe, nous pouvons inclure principalement :

Les géocellules, 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 qui sont localement connectées et une fois étirées les cellules 3D sont créées, par exemple, sous la forme de nid d'abeilles.



Figure 2.1 Géocellules

De la classification ci-dessus les plus souvent utilisés sont les produits plans et parmi eux, il est possible de distinguer: les géotextiles, 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 plus d'un géosynthétique).



Figure 2.2.A Structure géocomposite

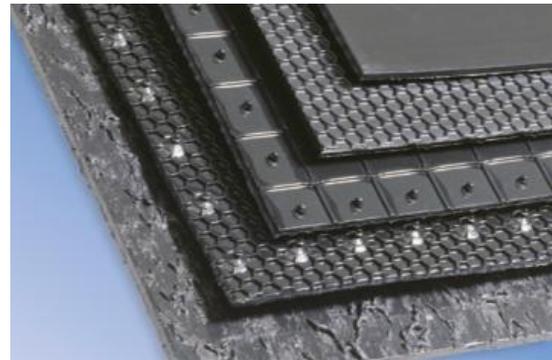


Figure 2.2.B Géomembranes

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. Pour des sols graveleux et non cohésifs (par exemple sables et graviers), les géogrilles conviennent mieux, tandis que les géotextiles tissés et les géocomposites sont plus adaptés aux sols fins et homogènes (argiles,...).

2.3 Types des Géosynthétique

2.3.1 Géotextiles

Les géotextiles sont des produits tissés, non tissés, ou tricotés, perméables, fabriqués à base de polymères et utilisés dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

2.3.1.1 Géotextile non tissé

Ce sont des nappes constituées de filaments continus (ou de fibres coupées) disposés de façon aléatoire et liée par différents procédés mécanique, thermique ou chimique.

L'aiguilletage est un procédé de liaison purement mécanique dans lequel un grand nombre d'aiguilles hérissées d'ergots traversent le filament ou de fibres dans un mouvement alternatif rapide. Les aiguilles enchevêtrent les fibres qu'elles rencontrent, ce qui donne à la nappe une cohésion importante.

Le thermo-sondage consiste à comprimer à chaud la nappe de fibres en la faisant passer entre deux rouleaux, il en résulte une soudure superficielle des fibres entre elles. La liaison chimique qui consiste à imprégner la nappe de fibre d'un liant est actuellement peu utilisée en raison de son coût.

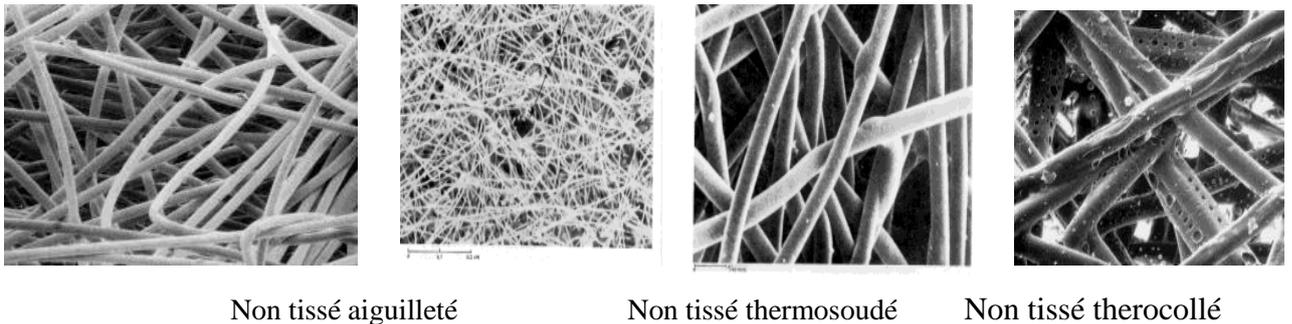


Figure 2.3 Géotextile non tissé

2.3.1.2 Géotextiles tissés

Ce sont des produits par entrelacement, habituellement à angle droit, de deux ou plusieurs faisceaux de fils, de filaments, de bandelettes ou d'autres éléments.

Les géotextiles tissés sont largement utilisés avec une grande variété de sols, cohérents et non cohérents, pour contribuer à la formation d'un filtre naturel. Cela permet la diffusion des surpressions interstitielles, de plus, grâce à ses caractéristiques de résistance et à un allongement contrôlé, ils facilitent les constructions utilisant des sols.

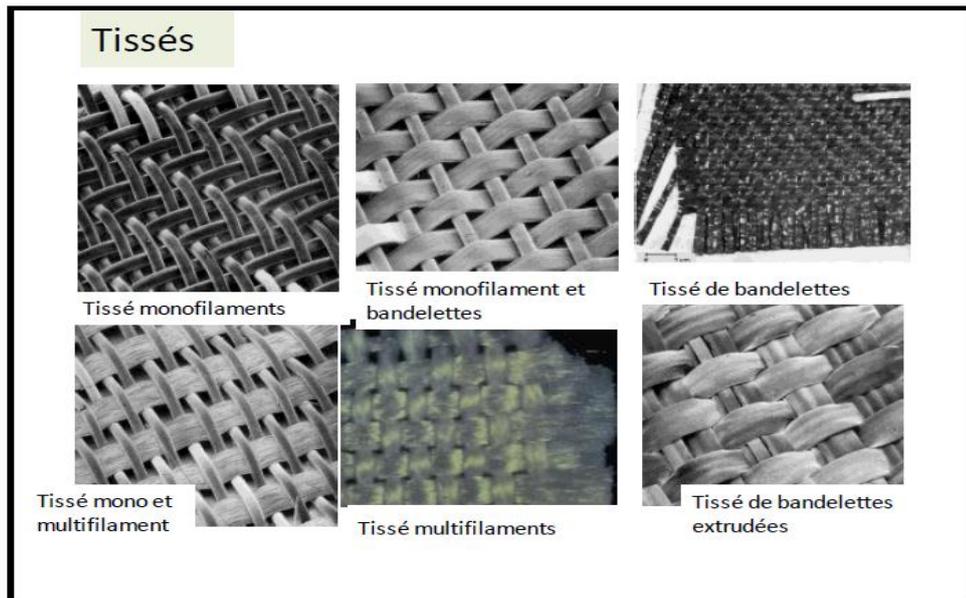


Figure 2.4 Géotextile tissé

2.3.1.3 Géotextile tricoté

Ils sont constitués de mailles successives disposées en colonnes et en rangées. Ils sont très déformables. Ces produits sont très peu utilisés en génie civil.

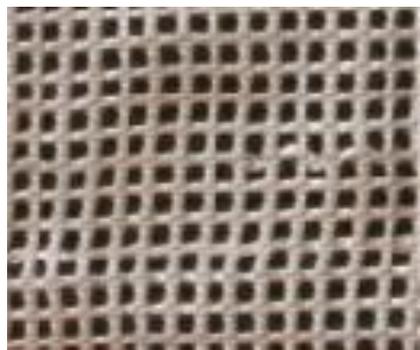


Figure 2.5 Géotextile tricoté

2.3.2 Géocomposite

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

2.3.3 Les géogrilles

Les géogrilles sont classées parmi les produits géosynthétiques et dont la fonction est le renforcement des sols. Ils sont le plus souvent utilisés pour le renforcement des sols incohérents et des corps du sol à gros grains. Les Géogrilles ont une haute rigidité et force plus que les autres géotextiles.

2.4 Rôles et les fonctions des géosynthétiques [10]

2.4.1 Rôles mécaniques

2.4.1.1 Séparation

Ils sont insérés entre deux matériaux de nature différente, les empêchant de se mélanger. C'est la prévention contre le mélange de deux sols ou matériaux de remplissage adjacents de nature différente par l'emploi d'un géotextile ou d'un produit apparenté.

Exemple: pose d'un géotextile de séparation entre l'arase terrassement, de mauvaise qualité, et le remblai routier en matériau noble

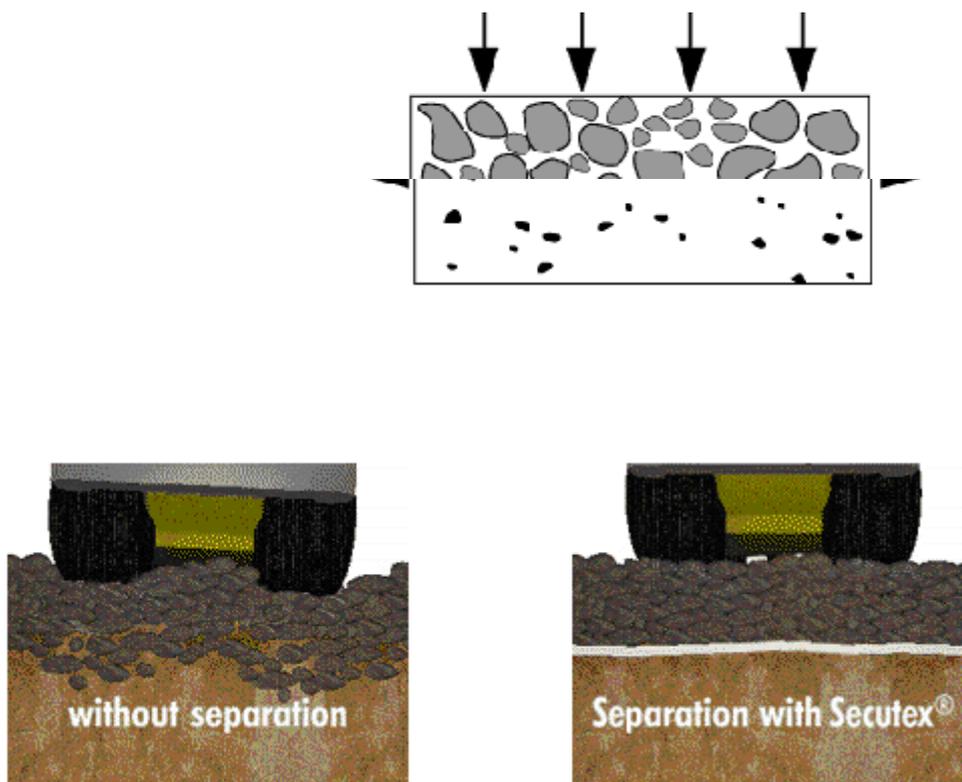


Figure 2.6 Pose des géogrille de séparation.

2.4.1.2 Renforcement

Dans l'application de renforcement la plus commune, les géosynthétiques particulièrement les géotextiles tissés et géogrilles sont placées au dessous ou entre des couches de sol, le géosynthétique agit l'un sur l'autre avec le sol par les forces d'adhérence.

L'élément de renforcement doit absorber les forces de tension ou de cisaillements produits exogènes aux déformations acceptables dans le long terme pour empêcher le mouvement excessif de la structure renforcée, de ce fait jouer le rôle d'armature dans un massif de sol.

L'insertion de géotextile de renforcement ou de géogrille s'avère donc, selon le cas, une solution idéale pour accroître la capacité portante des matériaux naturels en place.

L'utilisation des structures de solo renforcées par géosynthétique a été maintenant avec succès pratiquée pour plus de 30 ans.

L'introduction d'un géosynthétique au module d'élasticité élevé permet par exemple de renforcer un sol faible en tension mais fort en compression, en répartissant les charges sur une plus grande surface, les produits géosynthétiques augmentent la résistance au cisaillement des sol adjacents, ainsi que la stabilité des couches de roulement de charge dans la route et construction ferroviaires, aussi bien que pour les systèmes couvrants sur les sols très pauvres, réduisent la formation d'ornièrre, employé pour construire les pentes stables a des angles beaucoup plus raides que soyez autrement possible.

Dans certains cas particuliers, l'utilisation de ces produits permet même de réduire l'épaisseur des couches granulaires.

Exemple: renforcement utilisé en nappe horizontale pour la construction d'un massif de remblai renforcé ou renforcement horizontal sur un sol insuffisamment portant.

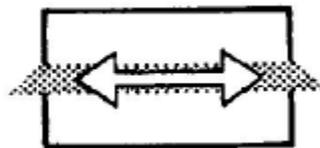


Figure 2.7 Pose de géotextiles de renforcement.

2.4.1.3 Protection

On peut en particulier citer la protection par la géomembranes lors de la conception de bassins de rétention (collecte des ruissellements routiers). Dans de tels ouvrages, les géotextiles, placés entre le sol et la géomembrane, protègent celle-ci de la perforation. On

retrouve également ce type de dispositif dans les tunnels, où les géomembranes isolent la paroi en béton des infiltrations.



Figure 2.8 Utilisation dans la protection

2.4.1.4 Anti-érosion :

Utilisation d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles, afin d'éviter ou de limiter les mouvements du sol ou d'autres particules à la surface, par exemple, d'une pente



Figure 2.9 Utilisation contre l'érosion.

-Les fonctions hydrauliques considérées sont les suivantes :

2.4.2 Rôles hydrauliques

2.4.2.1 Filtration

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



Figure 2.10 Utilisation pour filtration

2.4.2.2 Drainage

Collecte et transport des eaux, souterraines et/ou d'autres fluides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles



Figure 2.11 Utilisation pour drainage.

2.4.2.3 Barrière : Étanchéité

Utilisation d'un géosynthétique afin de prévenir ou de limiter la migration de fluides



Figure 2.12 Utilisation pour Étanchéité

2.5 Géogrilles

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

On peut distinguer :

Les géogrilles uniaxiaux ayant une résistance à la traction plus élevée dans une direction que dans la direction perpendiculaire et dont la maille est allongée.

Les géogrilles biaxiaux ayant la même résistance dans les deux directions du maillage qui, dans ce cas, est carré.

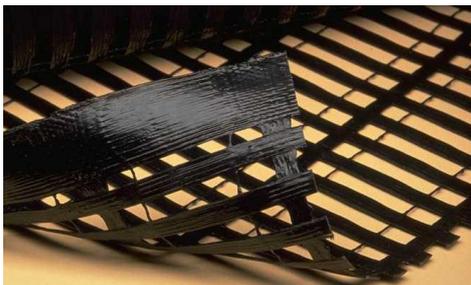


Figure 2.13 Géogrille uniaxiale.



Figure 2.14 Géogrille biaxiale.

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.

2.5.1 Mode d'action

Le mode d'action des géogrilles n'est pas le même pour les géotextiles classique. En effet, les éléments du sol s'introduisent dans la structure ouverte des géogrilles ce qui permet d'obtenir une transmission de contraintes non seulement par frottement sol-géogrille mais aussi par autoblocage entre la grille et le remblai comme le montre le schéma se dessous pour une géogrille biaxiale rigide et une géogrille biaxiale souple.

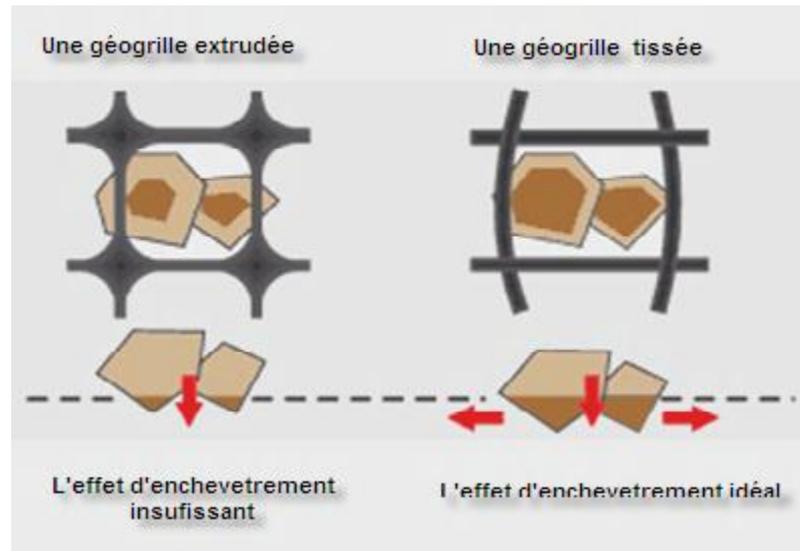


Figure 2.15 Imbrication des grains dans une géogrille

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 géogrilles se fait essentiellement par le blocage d'éléments à l'intérieur des mailles. Ceci a pour effet d'augmenter la cohésion entre les grains.

D'une manière générale les géogrilles présentent les caractéristiques suivantes :

2.5.2 Avantages

- ✓ Bonne résistance à l'endommagement.
- ✓ Excellente perméabilité (colmatage impossible).

2.5.3 Inconvénients

- ✓ Peu de souplesse en flexion.
- ✓ Recouvrement important conseillé.

3.1 Introduction

Après plusieurs années d'expérience sur chantier les produits géosynthétiques ont prouvé présenter de nombreux avantages :

- ✓ Construire même dans des conditions peu favorable : sols supports faibles, conditions de chargement élevées, couches de granulaire épaisses et coûteuses, sols supports contaminés, conduites peu profondes, etc.
- ✓ Réduction des coûts de construction (car moins de matériaux à utiliser pour le renforcement des couches)
- ✓ Amélioration de la durée de service de la route.

A partir des recherches qui ont été réalisées ces dernières années dans le domaine des géosynthétiques, et dans le dimensionnement du renforcement des chaussées à l'aide des matériaux géosynthétiques : géogrilles et géotextiles.

Ces systèmes de renforcement sont utilisables dans les couches granulaires non liés et aussi dans le revêtement bitumineux.

Les méthodes de renforcements à l'aide de géosynthétiques ont beaucoup concerné le renforcement de la couche de sol support afin de procurer une fondation stable pour la construction d'une surface de roulement permanente ou temporaire lorsque le sol support n'offre pas la portance voulue.

3.2 Pathologie des chaussées [11]

Les deux types de ruine pour une chaussée peuvent être fonctionnels ou structurels. La ruine structurelle conduit à l'effondrement de la chaussée, la rendant ainsi incapable de soutenir les charges de surface. La ruine fonctionnelle, elle, rend la chaussée incapable de remplir sa fonction prévue, provoquant un inconfort pour les passagers.

Un problème de structure nécessite un renouvellement complet de la chaussée tandis qu'une défaillance fonctionnelle peut être réparée et suivie par la maintenance de l'ouvrage.

La ruine d'une chaussée peut être amenée soit du fait du trafic et des chargements répétés ou bien du fait de conditions climatiques (moisissures, gradient de température, etc..).

Les cycles de gel et dégel notamment peuvent conduire à des fissures. Un mauvais entretien de la chaussée et une mauvaise application lors des travaux peuvent également être à l'origine de problèmes.

Ces signes précurseurs à la ruine constituent les pathologies des chaussées et sont :

- ✓ Les fissures longitudinales et transversales.
- ✓ L'orniérage

- ✓ Le gonflement et soulèvement dû au cycle gel/dégel

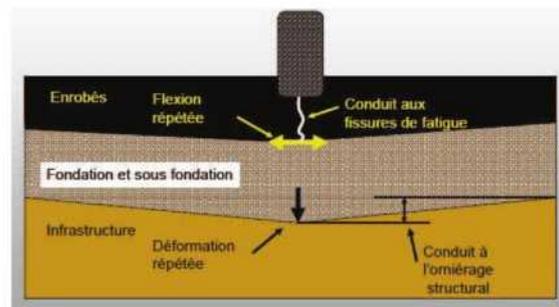


Figure 3.1 Déformations de la chaussée

3.2.1 Orniérage est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement de celle-ci qui se crée sous le passage répété des roues.

3.2.2 Gel / dégel

3.2.2.1 Actions du gel : Le front de gel atteint les couches de la chaussée du haut vers le bas. En fonction de la durée de gel, de l'humidité ambiante et du type de fondations, des feuillets de glace se forment et peuvent provoquer un léger gonflement du sol.

Si une chaussée est en mauvaise état, le gonflement (et apparition des pressions différentielles dans les interstices du sol) peut provoquer des fissures sur la couche supérieure.

3.2.2.2 Actions du dégel : Le réchauffement s'effectue de haut en bas. Les feuillets de glace situés dans les différentes couches de matériaux constituant les fondations de la chaussée réduisent fortement l'homogénéité du support qui n'assure plus son rôle de maintien de la chaussée et de répartition des charges. Une forte humidité, voire de la pluie, renforce ce phénomène en ajoutant une couche d'eau entre les couches supérieures et les couches encore gelées.

La chaussée fragilisée ne supporte plus de fortes contraintes comme le passage de véhicules à fort tonnage. Leur passage provoquerait des dégradations allant jusqu'à la destruction totale de la chaussée.

Les géosynthétiques peuvent être utilisés pour limiter la propagation des fissures en scellant la couche d'asphalte lorsqu'il est utilisé dans le revêtement de la chaussée.

Le renforcement d'une chaussée se traduit par l'introduction d'un géosynthétique dans l'une des couches de la chaussée.

3.3 Fonctions des géosynthétiques

On s'intéressera ici à l'action de renforcement des géosynthétiques dans les chaussées souples. En effet, les bénéfices dus à l'utilisation des géosynthétiques sont moins marqués dans le cas d'une chaussée rigide. Une chaussée souple plus susceptible de se déformer permettra d'observer plus nettement la capacité de renforcement d'une géogrille ou d'un géotextile.

Également, le renforcement de sols mous est efficace pour de grandes déformations, il permet donc de faciliter la construction sur sol mou, il sera donc plus efficace pour des chaussées sans revêtements (plus apte à se déformer).

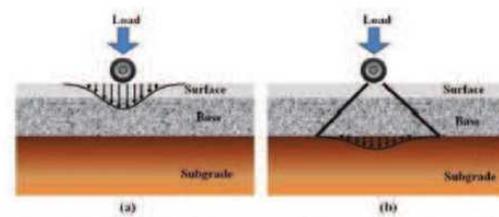
L'effet du renforcement est imperceptible pour des sols raides.

Les chaussées souples permettent une transmission des efforts de chargements de la couche de surface jusqu'aux couches inférieures.

Deux points sont essentiels lors de la conception de la chaussée :

- ✓ Les efforts de traction horizontaux sous la couche d'asphalte (à réduire afin d'éviter les risques de fissuration du fait de la fatigue)
- ✓ La pression verticale au dessus de la couche de forme qui doit être réduite pour minimiser les déformations permanentes.

Cette pression est liée à la résistance au cisaillement de la couche de forme.



Distribution des contraintes dans une chaussée souple

Zornberg, J.G. ; Gupta, R. , *Geosynthetics in pavements: North American contributions*

Figure 3.2 Distribution des contraintes dans une chaussée souple

Les géosynthétiques peuvent être utilisés pour limiter la propagation des fissures en scellant la couche d'asphalte lorsqu'il est utilisé dans le revêtement de la chaussée.

Le renforcement d'une chaussée se traduit par l'introduction d'un géosynthétique dans l'une des couches de la chaussée.

- Dans les couches granulaires non liées, le renforcement à l'aide de géosynthétiques a pour but de :

- ✓ Augmenter la résistance aux déformations élastiques en augmentant les efforts horizontaux dans la structure
- ✓ Augmenter la capacité portante de la chaussée en redistribuant le chargement sur une plus grande section du sol sous jacent
- ✓ Réduire par ailleurs la sollicitation du sol sous jacent en réduisant les contraintes de cisaillement transmises au terrain naturel.
- ✓ Accroître la résistance à la déformation permanente du matériau en limitant les mouvements horizontaux des particules granulaires.
- Tandis que (comme dit précédemment) l'utilisation de géosynthétiques dans la couche de roulement permet une :
 - ✓ Réduction des efforts de traction dans l'asphalte par la sollicitation de contrainte de traction dans les armatures.
 - ✓ Relaxation des contraintes entre les couches pour éviter le transfert des efforts de traction aux couches sous jacentes.

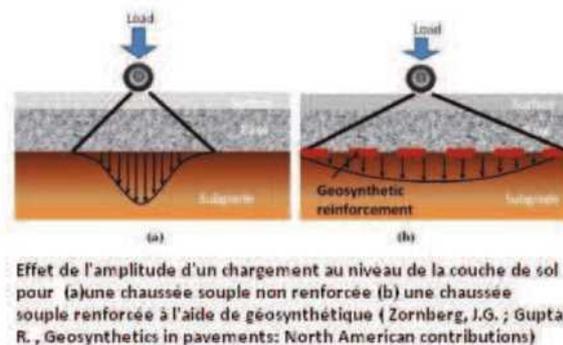


Figure 3.3 Effet de l'amplitude d'un chargement au niveau de la couche de sol

3.4 Mécanismes de renforcement [12]

Trois mécanismes rentrent en compte dans le renforcement via les géosynthétiques :

- ✓ La contrainte latérale
- ✓ L'augmentation de la capacité portante
- ✓ L'effet de la membrane sous tension

3.4.1 Mécanisme de confinement latéral de la couche de base : s'explique par le fait que le matériau de l'agrégat de la couche de base interagit avec la géogrille principalement en s'imbriquant dans les ouvertures de la géogrille. Les nervures de la géogrille confinent l'agrégat et résistent au mouvement latéral de l'agrégat quand la couche de base est

chargée en surface. En retenant latéralement le sol, quatre mécanismes de renforcement sont potentiellement réalisés, comme représentés sur la **figure 3.4**. Ces mécanismes incluent :

- ✓ Empêchement de l'étalement latéral de l'agrégat de la couche de base ;
- ✓ Confinement croissant et ainsi résistance croissante de la base à proximité du renforcement.
- ✓ Amélioration de la distribution verticale des contraintes sur le sol de fondation.
- ✓ Réduction de la contrainte de cisaillement dans le sol de fondation.

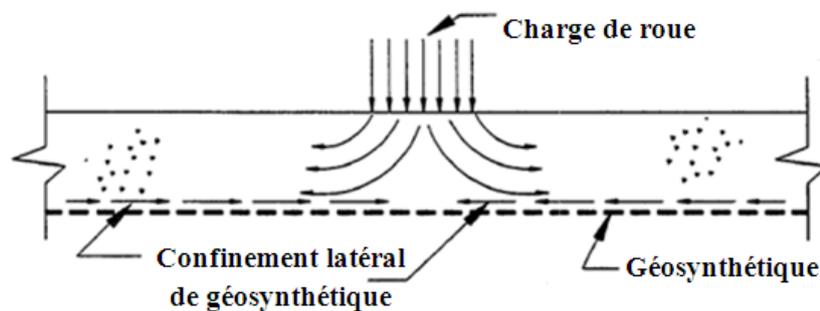


Figure 3.4 Confinement latéral

3.4.2 Mécanisme de surface de rupture modifiée et augmentation de la capacité portante : se traduit par le fait que le géosynthétique force la surface de rupture potentielle à se développer selon une surface alternative qui a une plus grande résistance totale (**figure 3.5**).

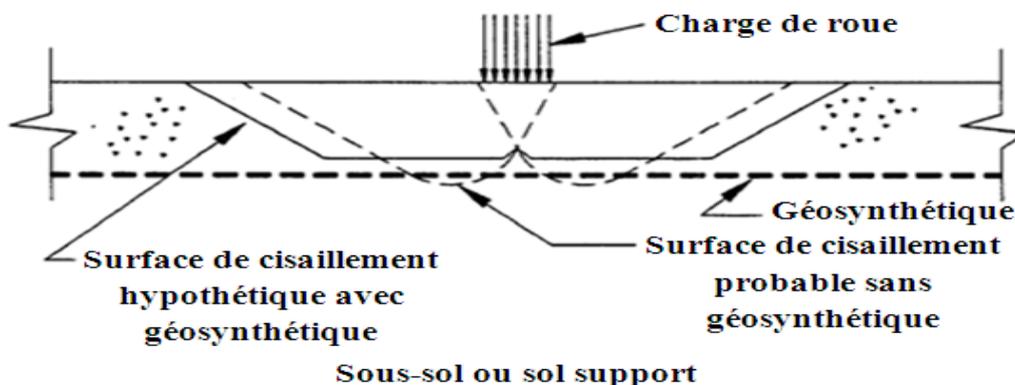


Figure 3.5 Modification surface de rupture augmentation de la capacité portante

3.4.3 Mécanisme de membrane tendue

Comme décrit d'abord par Giroud et Noiray, est plus approprié quand une ornière ou une large déformation verticale (plus grande que 25 mm) est permise. Ainsi ce mécanisme est approprié aux routes non revêtues. Des forces de tension sont installées dans le renforcement par les contraintes de cisaillement agissant à l'interface avec le sol. Pendant le chargement lourd ou répété, la couche d'agrégat déforme sensiblement, créant les ornières de surface qui forcent le géotextile à déformer **figure 3.6**. Si les forces de tension coïncident avec une courbure appréciable du renforcement, alors les contraintes normales dans le sol agissant de part et d'autre du renforcement sont inégales. Ce phénomène est connu sous le nom de l'effet de membrane tendue.

Sous la roue, dans le creux de l'onde, la membrane tendue porte une partie de la charge de la roue et réduit la contrainte normale sur le sol de fondation. En dehors de la surface chargée, au-dessus des crêtes adjacentes de l'onde, la membrane tendue s'appuie sur le sol de fondation et augmente la contrainte normale (pression de confinement) où elle sert à résister à la rupture par cisaillement. Une membrane tendue de ce fait permet de diminuer les contraintes appliquées et d'augmenter la capacité portante. L'effet de membrane tendue est significatif seulement si les charges de la circulation sont canalisées et les profondeurs d'ornière sont relativement grandes.

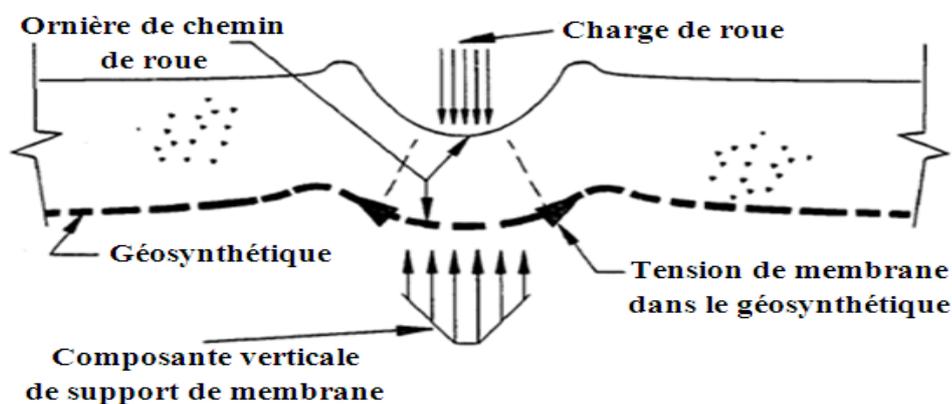


Figure 3.6 Membrane tendue

Le géosynthétique de renforcement (géogrille ou géotextile) est généralement placé entre la couche de base et la couche de fondation, entre la couche de fondation et la couche de forme ou encore dans la couche de base elle-même.

3.5 Renforcement des chaussées à l'aide des géosynthétiques [13]

Pour savoir quel type de renforcement utilisé il faut connaître le mécanisme de rupture prédominant, les variations de température, les propriétés de la chaussée et des matériaux granulaires, l'état de la chaussée existante s'il y a, les propriétés du géosynthétique, l'interaction entre le géosynthétique et la couche de roulement, les équipements et procédures mis en œuvre lors de la construction, etc...

3.5.1 Renforcement des chaussées à l'aide géotextile

Les géotextiles présentent l'avantage de pouvoir jouer aussi bien le rôle de renforcement que de séparateur au sein de la chaussée ce qui constitue un atout important.

Grâce à son rôle séparateur il permet d'empêcher la migration des fines des couches granulaires (vers la couche de sol) ce qui aurait pour effet de fragiliser la couche granulaire et donc l'assise de la chaussée.

Le géotextile utilisé en renforcement améliore la résistance mécanique d'un massif de sol dans lequel il est inclus. Il améliore à la fois la résistance à la traction du massif et sa capacité à se déformer avant la rupture.

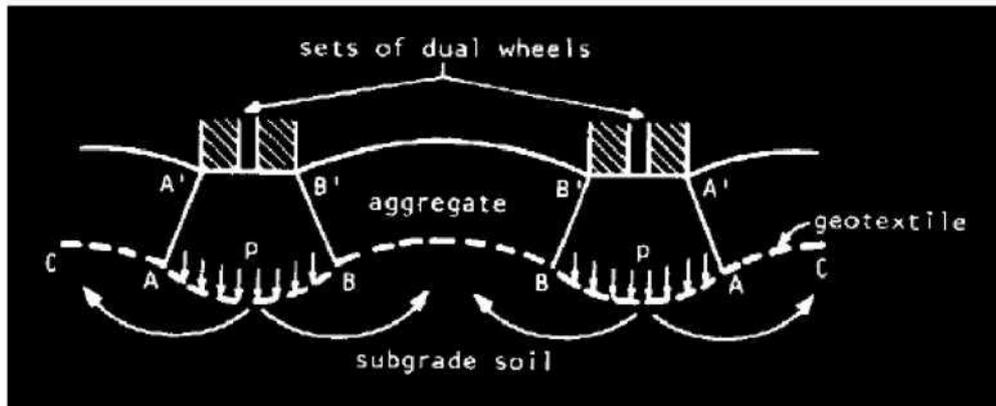
Dans son guide sur les systèmes de renforcement des chaussées, le constructeur Tensar nous explique également que l'emploi de géotextile peut permettre de construire un radier sur sol mou. En effet, la réalisation d'un radier en sol renforcé par des nappes de géotextiles et destiné à supporter un remblai sur sol compressible permet d'éviter les cisaillements dans le remblai et de maîtriser son poinçonnement dans le sol compressible.

Dans le cas de corps de chaussée construit sur des terrains susceptibles de comporter des karsts ou autres cavités souterraines non repérées, la réalisation d'un radier renforcé par des nappes de géotextiles permet de diminuer le risque de rupture brutale, voire de maintenir le niveau de service de la chaussée en cas d'apparition de fontis.

➤ Comportement mécanique :

Lors du passage de roues, il y a comme un « gonflement » du sol autour des roues, or avec la mise en place du géotextile, ce dernier qui a été étiré lors de son installation dans la chaussée se déforme également. Avec la contrainte exercée par les roues, le géotextile prend une forme arrondi et sa face concave reprend plus d'effort. Le fait que le géotextile reprenne plus d'effort à la verticale du passage des roues a pour conséquence que la

couche d'agrégats reprend moins d'effort.



Giroud, J.P., Noiray, L. (1981)

Figure 3.7 Comportement mécanique du géotextile

Il y a deux effets bénéfiques lors de la mise en place du géotextile :

- ✓ Le confinement de la couche de sol entre et en dessous l'axe des roues.
- ✓ La diminution de la pression exercée par les roues sur le sol.

La pression exercée entraîne une déformation de la forme du géotextile dont Giroud (1981) évalue la flèche :

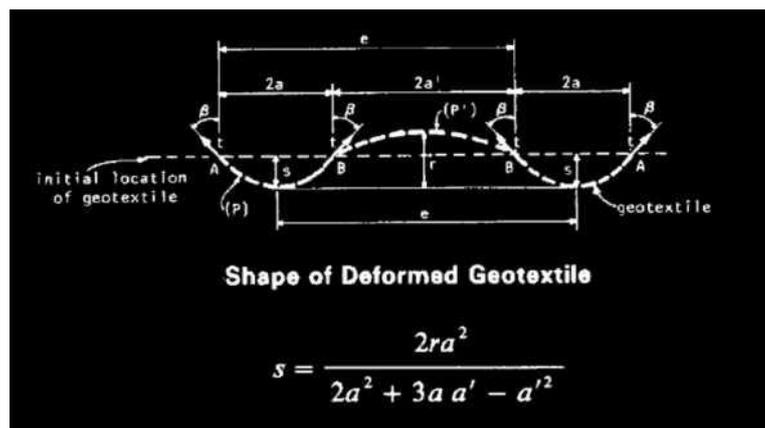


Figure 3.8 géotextile déformé

Dans la même étude il est observé que l'élongation que subit le géotextile est :

$$\varepsilon = [(b+b'/a+a')-1] \quad (3.1)$$

Où a et a' est la moitié de corde formé par P et P' respectivement, et b b' moitié de la longueur de P et P' respectivement.

Cependant, pour que le géotextile soit efficace il faut qu'il soit prétendu ou bien qu'il présente un fort coefficient de raideur. En effet, la réponse mécanique du matériau géotextile est meilleure lorsque celui travaille déjà en traction.

D'après Hufenusa, R. et al, la résistance à la traction du géosynthétique (aussi bien géotextile que géogrille) à 2% tant dans le sens longitudinal que transversal, devrait être de:

$$T_{2\%} > 8 \text{ kN/m.} \quad (3.2)$$

3.5.2 Renforcement des chaussées à l'aide Géogrille

La majorité des ouvrages positionnent la géogrille comme le système de renforcement le plus efficace (quand on parle de renforcement pur et non de combinaison des fonctions de renforcement et séparation).

Dans les applications de renforcement du sol, la résistance et la rigidité d'un matériau géosynthétique n'ont d'importance que si elles peuvent être transférées efficacement au sol environnant.

Parmi les désavantages des géotextiles dans le renforcement des routes, on peut mentionner : Leur extrême flexibilité qui peut causer des « tortillements » même après l'installation. Par conséquent, les avantages liés à « l'effet de membrane » ne sont obtenus qu'après une déformation importante de la route pour mettre en tension le géotextile. Cela peut entraîner l'affaiblissement de la chaussée et nécessiter des travaux d'entretien précoces.

Il faut prévoir des bandes plus longues de géotextile pour permettre leur ancrage à l'extérieur de la zone routière soumise à la charge.

L'emplacement du passage des roues doit être fixe pour assurer le rendement à long terme des routes renforcées par géotextiles. Compte tenu que les géotextiles ne sont généralement pas prétendus, il faut que des ornières se forment dans le sol support avant que le trafic lourd ne puisse circuler. Il est essentiel que ces ornières soient maintenues et que d'autres ornières ne se forment pas dans les zones adjacentes le long de l'interface entre le sol support et la fondation.

La formation d'ornières dans le sol support entraîne l'accumulation d'eau. Il en

résulte une détérioration accélérée de la route. En raison de tous les désavantages énumérés ci-dessus, l'utilisation efficace des géotextiles dans le renforcement routier est généralement limitée aux routes de pénétration étroites et non pavées.

➤ **Interaction avec l'agrégat**

Pour que le renforcement granulaire soit efficace, il faut transférer les charges s'appliquant sur les agrégats vers la géogrille tendue. Avec les géogrilles biaxiales, 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. Ce procédé est aussi appelé « confinement mécanique ».

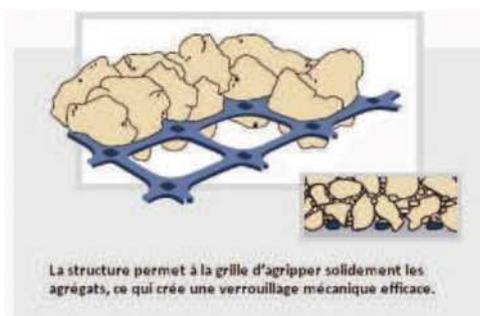


Figure 3.9 verrouillage mécanique des agrégats

Le confinement efficace des agrégats produit une « zone améliorée » qui s'étend 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. La force et la résistance des géogrilles biaxiales lorsque 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.

Les géogrilles permettent d'utiliser une couche plus mince d'agrégats, tout en offrant la même capacité et fonctionnalité qu'une couche non renforcée plus épaisse. En général, la réduction de la quantité d'agrégats est de l'ordre de 40 % à 60 %.

La méthode de Giroud et Han permet de calculer l'épaisseur de la couche d'agrégat quand on utilise un renforcement.

Cette méthode donne la formule suivante :

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{15} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^3}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left(\sqrt{\frac{P}{13.7 N_c \left(\frac{s}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left(\frac{r}{h}\right)^{15}\right)\right] CBR_{sg}} - r} \right) \quad (3.3)$$

J (mn/°): module de stabilité des ouvertures

s (mm): profondeur d'ornièrre admissible.

P (KN): poids de la roue exprimé ; égal à la moitié du poids de l'essieu.

h (m): qui est la profondeur nécessaire pour répartir la charge sur la roue à une pression équivalente à la capacité portante du sol support, $q = mc_u N_c$

r (m): rayon de la surface de contact de pneu équivalente

CBR_{bc} et CBR_{sg} = correspondent respectivement aux indices CBR de la fondation granulaire et du sol support.

N : nombre de passages d'essieux

N_c : facteur de la capacité portante

$N_c = 3,3$, $J = 0$ dans le cas d'une fondation non renforcée.

$N_c = 5,14$, $J = 0$ dans le cas d'une fondation renforcée par géotextile.

$N_c = 5,71$, $J = 0.32$ m-N/deg dans le cas d'une fondation renforcée avec une géogrille Tensar BX1100.

$N_c = 5,71$, $J = 0,65$ m-N/deg dans le cas d'une fondation renforcée avec une géogrille Tensar BX1200.

➤ Avantages

On distingue deux zones d'application pour les géogrilles :

- ✓ Le renforcement de la couche de sol
- ✓ Le renforcement des couches granulaires (couche de forme, de fondation et de base)

Renforcement de la couche de sol

Les couches de sols mous (support de la chaussée) 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.

C'est pourquoi le confinement des agrégats dans les ouvertures d'une géogridde 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 géogriddes biaxiales permet une réduction de la contrainte appliquée sur sol.

Les géogriddes peuvent ainsi résoudre des problèmes d'accès sur site, sur les chantiers notamment où les camions exercent de fortes pressions durant la construction. Comme il a été dit précédemment, l'usage d'une géogridde permet de réduire l'utilisation de matériaux de remblais et ainsi limiter les opérations de sur excavation dans des sols parfois de mauvaise qualité.

Également les fournisseurs de géosynthétiques comme les géogriddes continuent de promouvoir ce produit et ses qualités :

- ✓ Des procédures de conception simples
- ✓ Une installation facile (pas de main d'oeuvre spécialisée requise)
- ✓ Un meilleur drainage
- ✓ Des résultats immédiats (aucune période de cure)

Les géogriddes biaxiales répartissent les charges de façon plus uniforme, augmentent la capacité portante du sol support, réduisent la formation d'ornières et procurent une solution de rechange aux méthodes de stabilisation conventionnelles plus coûteuses sur le long terme.

Renforcement des couches granulaires

Les systèmes de chaussée souple se détériorent souvent de façon prématurée 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.

L'emploi des géogriddes et du principe de confinement mécanique permet de conserver l'intégrité structurelle de la chaussée en maintenant les granulats dans la couche de fondation.

Si le sol support est mou on peut utiliser une couche additionnelle d'agrégats et une géogridde biaxiale afin 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.

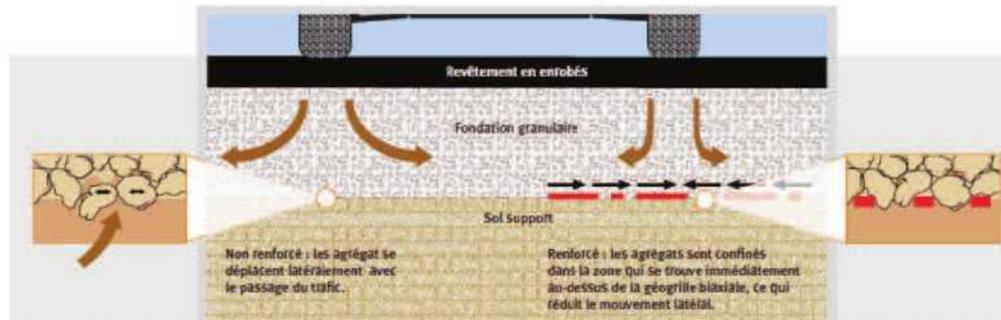


Figure 3.10 chaussée non renforcée et chaussée renforcée par géogrille

On pourra noter que l'association de la fonction « confinement mécanique » d'une géogrille et la fonction de séparation d'un géotextile permet de résoudre le problème de migration des matériaux granulaires lors du passage des roues.

L'inclusion de géogrilles biaxiales permet un confinement latéral de la fondation, ce qui améliore le rendement de la chaussée, que ce soit par l'augmentation de la durée de vie de la chaussée, la diminution de l'épaisseur de chaussée requise ou une combinaison des deux.

Enfin, la performance de la géogrille étant bonne pour des sols dit mou, son emploi permet d'obtenir la résistance maximale de la structure routière avant même la dépose de la couche de surface. Aussi lors du chantier l'emploi de géogrille permet d'éviter une déformation précoce de la chaussée du fait des contraintes exercées par les engins de chantier.

3.6 Caractéristiques géométriques et renforcement

Les géogrilles uniaxiales sont usuellement employées dans des applications où la direction des contraintes maximales est connue, comme les murs de soutènement et les talus armés. Les géogrilles bidirectionnelles sont quant à elles employées dans des applications où l'orientation des contraintes est essentiellement aléatoire.

Quels géosynthétiques utiliser ?

Le choix du géosynthétique se fait en fonction de différents critères qui sont :

- ✓ Propriétés mécaniques minimales requises.

- ✓ Type de chaussée (chaussée non revêtue ou flexible).
- ✓ Résistance du sol support.
- ✓ Position du renforcement au sein de la chaussée.
- ✓ Compatibilité en filtration entre le sol support et la fondation de la chaussée.
- ✓ Expériences antérieures avec les renforcements géosynthétiques.

3.7 Classement par propriétés des géosynthétiques

D'un point de vue mécanique il convient également de considérer quatre critères lors de la sélection d'un géosynthétique : la résistance à la flexion, à la traction, à l'arrachement et au glissement.

3.7.1 Résistance à la flexion. La rigidité en flexion des géosynthétiques est un paramètre utile pour évaluer leur aptitude à supporter les ouvriers durant l'installation du matériau (effet raquette). Une rigidité à la flexion élevée est recommandée lorsque le sol support est de faible portance. Les géogrilles sont qualifiées de flexibles ou rigides suivant que leur rigidité à la flexion est inférieure ou supérieure à 100 N.m.

3.7.2 Résistance à la traction : Il s'agit d'un critère important car la mesure de la résistance à la traction permet d'obtenir les courbes contraintes-déformations du matériau. A partir de ce critère on pourra savoir quelle contrainte le matériau pourra reprendre afin déformation plastique ou bien rupture.

3.7.3 Résistance à l'arrachement : Cette propriété peut être définie comme la force requise pour extraire un géosynthétique enfoui dans un massif de sol et sera utile pour évaluer les longueurs d'ancrage requise des renforcements qui seront soumis à de forts orniérages. La résistance à l'arrachement dépend de plusieurs paramètres dont la nature du sol et du renforcement et l'état de contrainte dans le plan du géosynthétique.

3.7.4 Résistance au glissement. La résistance au glissement peut être définie comme la force requise pour faire glisser un massif de sol sur l'élément de renforcement. Cette propriété est également utile pour évaluer les longueurs d'ancrage des renforcements dans un contexte où ce dernier agit pour le confinement latéral.

3.8 Positionnement [14]

La position du géosynthétique de renforcement au sein de la chaussée exerce une influence notable sur le comportement mécanique de cette dernière.

À titre d'exemple, pour les chaussées non revêtues construites sur des sols peu portants, le renforcement est usuellement mis en place directement sur le sol support. Cependant, au-delà d'une certaine épaisseur de la couche de fondation, l'influence du

renforcement sur les performances de la chaussée devient négligeable.

Aussi suivant la position du renforcement au sein de la chaussée, un géosynthétique n'aura pas la même efficacité.

Dans le cas des chaussées souples, il existe différents placements du géosynthétiques dans la chaussée :

- ✓ renforcement sur le sol support
- ✓ renforcement au sein de la fondation
- ✓ renforcements sur le sol support et dans la fondation
- ✓ renforcement dans la couche d'asphalte pour les chaussées revêtues

L'emplacement optimal du renforcement dépend de nombreux facteurs dont l'épaisseur finale de la couche de fondation de la chaussée renforcée, la charge de la circulation et la résistance du sol support.

Pour les sols supports peu portants ($CBR < 3$), il est usuellement suggéré que le renforcement soit disposé sous la fondation, quitte à ce qu'il soit couplé à un autre renforcement disposé au sein de la fondation.

Pour des sols supports plus résistants, le renforcement au sein de la fondation est généralement plus efficace.

Pour la configuration du géosynthétique dans la couche de surface Lugmayr et al ont montré que les routes faites en bitume ont une durée de vie qui dépend de la capacité portante de la chaussée existante, des propriétés mécaniques des couches ainsi que leur mise en place, de l'épaisseur et la qualité de la couche de revêtement et enfin des liaisons entre les couches. Aussi, les tests montrent que la partie faible d'une chaussée est la liaison entre les couches. La liaison entre la couche d'asphalte et la couche d'assise est primordiale afin d'éviter la propagation de fissures d'où l'emploi d'un renforcement. Cette couche doit avoir une raideur effective la plus haute possible.

Tableau 3.1 Position du géosynthétique de renforcement au sein de la chaussée

Auteurs	Recommandations	Remarques
Haas&al (1988)	<ul style="list-style-type: none"> • à la ligne d'infrastructure, si l'épaisseur de la fondation est inférieure à 250mm • à la mi-épaisseur de la fondation si son épaisseur excède 250mm • double renforcement pour des soles peu portantes CBR=1 	<ul style="list-style-type: none"> • Essais de laboratoire (plaque) • CBR. du sol support 1 à 8 • Epaisseur de revêtement 50 mm • renforcement géogrille obtenue par perforation-étirement.
chan&al (1989)	<ul style="list-style-type: none"> • effet négligeable du renforcement sol support si la fondation à plus de 200mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Essais de laboratoire (plaque) • CBR. du sol support 2.6 • Epaisseur de revêtement 32 à 38 mm • renforcement géogrille et géotextile rigide.
kinney&al (1998a)	<ul style="list-style-type: none"> • sur la ligne d'infrastructure, si l'épaisseur de la fondation est inférieure à 350mm • à la mi-épaisseur de la fondation si son épaisseur excède 350mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Essais de laboratoire (roue) • CBR. du sol support 1 • Epaisseur de revêtement 60 mm • renforcement géogrille obtenue par perforation-étirement.

3.9 Outils de calculs actuels

En Amérique du nord la méthode de conception la plus utilisée est celle de l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). La méthode considère la chaussée comme un système élastique multicouche avec un nombre global de structure (SN) qui reflète l'épaisseur de la chaussée au total et sa résilience vis-à-vis des chargements de trafic répétés. Le SN requis pour un projet est sélectionné de telle sorte que la chaussée puisse supporter des charges de trafic prédit ainsi que la décroissance de l'entretien que prévoit.

Le renforcement d'une chaussée se mesure à l'aide de deux outils : le TBR (Traffic Benefit Ratio) et le BCR (Base Course Réduction).

Le TBR est défini comme le rapport entre le nombre de cycles de charge sur une section renforcée (N_R) pour atteindre un état de ruine défini (une profondeur d'orniérage donnée) et le nombre de cycles de charge sur une section non renforcée (N_U) avec la même géométrie et les mêmes constituants matériels qui atteint le même état de ruine défini.

$TBR = N_R/N_U$ pour la plupart des géotextiles le TBR se situe entre 1.5 et 10 tandis qu'il se situe entre 1.5 et 70 pour des géogrilles.

La BCR est définie comme le pourcentage de réduction dans l'épaisseur de la couche de base due au renforcement apporté via les géosynthétiques (T_R) par rapport à

l'épaisseur de la chaussée souple avec les mêmes matériaux, mais sans renforcement (T_U), pour atteindre un état de ruine défini.

$$\text{BCR} = T_R/T_U \quad (3.4)$$

Lors de la détermination du BCR, l'étude a montré qu'une couche de base renforcée de 350 mm d'épaisseur correspondait à une couche non renforcée de 450 mm d'épaisseur. Dans la littérature un BCR peut aller jusqu'à 40% dans certains cas.

Cependant la méthode AASHTO reste empirique et les études menées jusqu'à présent restent du cas par cas, c'est pourquoi il reste difficile avec cette méthode de comparer les renforcements entre eux et d'inclure le TBR et le BCR dans la conception de projet car ces ratios sont rattachés à des cas précis et non généraux.

La méthode mécanique-empirique semble proposer une étude plus fiable quant au comportement du géosynthétique une fois opérationnel. Beaucoup de données sont ajoutées dans le modèle puis le résultat de sortie est comparé aux hypothèses de départ. Pour chaque couche de sol la méthode prend en compte le coefficient de Poisson et le module de résilience

$$M_R = \sigma_d / \epsilon_R \quad (3.4)$$

Cette méthode inclut davantage les propriétés locales du matériau et présente ainsi l'avantage par rapport à la méthode AASHTO de prévoir le comportement du géosynthétique de façon plus globale. Cependant les caractéristiques du géosynthétique dépendent de nombreux facteurs : l'ampleur du chargement, la capacité portante du sol de fondation, l'épaisseur des couches, les liaisons entre couches, la dégradation du matériau, la fissuration et l'orniérage, et les fluctuations saisonnières et climatiques. C'est pourquoi cette méthode sera difficile à réaliser sur terrain car le nombre d'entrées est très important en plus des propriétés intrinsèques au géosynthétique en lui-même.

De plus, un autre outil de calcul afin de connaître la capacité portante d'un sol et le CBR. Il s'agit du rapport de la force par unité de surface, nécessaire pour pénétrer une masse de sol avec piston circulaire normalisé à raison de 1,25 mm / min par rapport à celle nécessaire pour la même pénétration d'un matériau de référence.

Le California Bearing Ratio test est un test de pénétration développé par la California State Highway Department (États-Unis) pour évaluer la capacité portante du sol de fondation pour la conception des chaussées souples.

Des tests sont effectués sur des sols naturels ou compactés dans des conditions saturées en eau ou non-saturées et les résultats ainsi obtenus sont comparés avec les courbes d'essai standard pour avoir une idée de la résistance du sol de la terre du sol de fondation.

4.1 Introduction

Le but de notre travail est la détermination du comportement d'une chaussée composée d'une couche d'assise en grave sélectionnée reposant sur un sol de faible résistance avec ou sans renforcement en géogridle interposée entre le sol et la couche d'assise. La chaussée est chargée par une roue de poids statique égal à 65 KN (correspondant à un demi-essieu de 130 KN). L'étude s'intéressera aussi à la détermination des déformations et contraintes dans le sol ainsi que la force de tension dans la géogridle. Il est bien entendu que l'étude numérique que nous menons ici ou toute étude d'éléments finis ou analytiques d'autres auteurs sont établis sur l'hypothèse d'une application d'une charge statique alors que ce qui fait travailler la chaussée c'est plutôt une charge cyclique répétée. Mais il s'avère, suite à des études que les mécanismes de rupture relatifs aux deux types de chargement, étaient identiques. Ce qui met en évidence l'utilité et la complémentarité des deux types d'essais, numériques et expérimentaux et, soutient donc, l'argument courant en matière de conception des chaussées de lier les deux types de chargement. On peut donc partir d'une analyse quasi-statique puis tenir compte du trafic à travers des relations empiriques.

4.2 Etude du cas

4.2.1 Présentation du cas étudié

Le cas étudié consiste à analyser le comportement d'une chaussée sous l'effet d'une charge unique statique. La chaussée considérée ici est une chaussée non revêtue qui peut accepter des déformations sous forme d'ornières qui peuvent atteindre 100 mm et plus. L'étude du comportement d'une chaussée qui peut être renforcée ou non par géogridles, se présente comme étant un problème, de déformation plane, de détermination de la capacité portante d'une fondation superficielle continue reposant sur une bicouche. Le problème sera formulé en grande déformation pour représenter les grandes profondeurs d'ornière qui peuvent se développer, et sont admissibles, sur les routes non revêtues. Dans notre présent cas la chaussée est constitué de :

- ✓ Une couche d'assise composée de deux sous couches de base et de fondation en grave propre ayant un comportement élastique parfaitement plastique de Mohr Coulomb.

- ✓ Un sol de fondation ayant un comportement élastique parfaitement plastique de Mohr coulomb sans frottement ;
- ✓ Une géogridde de renforcement interposée entre la couche de forme et la couche de fondation. La géogridde est modélisée comme une structure élastique.

Le contact pneu-chaussée est supposé parfaitement rugueux. Le contact sol-géogridde et fondation géogridde est régi par une interface ayant un comportement élastique parfaitement plastique de Mohr Coulomb.

Etant donné la symétrie par rapport à l'axe vertical y , et en considérant une demi-largeur de fondation, $B = 1/2 * a = 0.159$ m, les conditions aux frontières peuvent être présentées comme indiqué sur la figure 4.1. Le déplacement selon x sur l'axe de symétrie et sur la frontière limite, est fixé. Le déplacement est fixé dans les deux directions x et y à la base du sol support.

Le chargement du corps de chaussée est réalisé par déplacement imposé de la charge jusqu'à atteindre un déplacement final, appelé ornière, limité dans ce travail à

$$\delta = 0.8 * B = 0.127 \text{ m.}$$

On admet qu'au-delà de cette profondeur d'ornière la chaussée devient impraticable. Par conséquent la pression de fondation requise pour atteindre ce déplacement est considérée comme la pression ultime. Les propriétés physiques et mécaniques des matériaux utilisés sont détaillées dans le tableau ci-après.

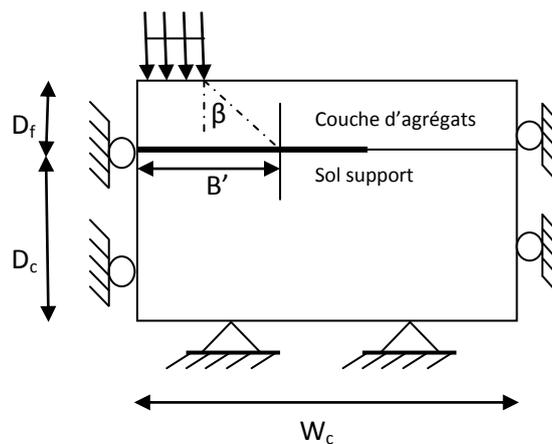


Figure 4.1 Présentation du cas étudié.

4.2.2 Impact de la roue charge de calcul

Dans une route, les charges qui sont prises en compte dans le dimensionnement sont les charges transmises par les poids lourds, car l'effet des véhicules légers est très faible (le dommage d'un seul poids lourd représente environ le dommage provoqué par un million de véhicules légers). Les charges sont transmises par les essieux. Chaque essieu est composé de part et d'autre de deux roues jumelées. Mais la distance qui sépare les deux paires de roues jumelées est assez importante (environ 2 m) ce qui rend toute interférence d'efforts très négligeable. En fait, il y a lieu d'examiner l'effet de chaque paire de roues jumelées séparément. Aussi la distance qui sépare les deux roues jumelées est assez faible, ce qui permet d'admettre qu'on peut assimiler les deux roues jumelées à une roue équivalente, déterminée par, son impact sur la chaussée et la pression de contact. Nous assimilerons plutôt l'impact de la roue à une plaque carrée de côté a . Il reste maintenant à faire un choix sur la valeur de a (a étant le côté de l'impact de la roue assimilée à un carré), à prendre en compte dans ce travail de simulation. Nous considérons pour ce faire, la charge de roue stipulée par le code de la route algérien qui est de 65 KN et la pression de contact généralement admise dans les recommandations algériennes qui est de 660 kPa, la valeur de a que nous déduisons est de 31.8 cm, ce qui correspond à une pression de contact P_c très proche des recommandations algériennes, soit :

$$P_c = \frac{p}{a^2} = \frac{65}{(0.318)^2} = 642.8 \text{ kPa} \quad (4.1)$$

En utilisant la symétrie longitudinale, on prendra en compte un demi côté

$$B = 1/2 * a = 15.9 \text{ cm.}$$

4.2.3 Dimensions du domaine de l'Etude

On accepte dans ce problème que la rupture par cisaillement se développe au niveau de la couche de forme. On admet aussi, pour construire un domaine d'étude que, la charge appliquée sur la surface est diffusée dans la chaussée sous un angle $\beta = 45^\circ$ (voir figure 4.2). Ce qui est adéquat avec les travaux de Poran (1985) [15] qui a estimé, suite à des expériences de chargement et d'études en éléments finis que, l'angle de distribution est de l'ordre de 45° . Brocklehurst (1993) [16] a trouvé grâce à un travail d'éléments finis que l'angle de distribution était de 40° .

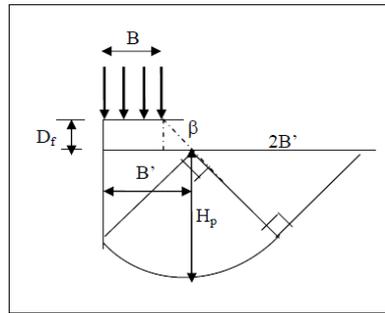


Figure 4.2 Profondeur de la zone plastique

La détermination du domaine de l'étude peut être faite comme suit : la figure 4.2 permet d'écrire:

$$B' = B + D_f * \tan \beta = B + D_f \quad (4.2)$$

D'où la profondeur plastique

$$H_p = 1.414 B' = 1.414 (B + D_f) \quad (4.3)$$

Les dimensions minimales du maillage sont donc de :

Hauteur :

$$D_f + H_p = D_f + 1.414 (B + D_f) = 1.414 B + 2.414 D_f \quad (4.4)$$

Longueur :

$$3B' = 3 (B + D_f) \quad (4.5)$$

Pour la variante centrale B,

$$D_f = 1,33B = 0.212m. \quad (4.6)$$

4.2.4 Propriétés des matériaux de l'Etude

L'étude paramétrique permet d'étudier l'influence des paramètres essentiels qui sont, l'épaisseur des couches de la chaussée, la résistance du sol support caractérisée par la cohésion non drainée C_u , la raideur et la longueur d'ancrage de la géogrille, sur les mécanismes de renforcement. Autrement dit, l'influence de la variation de ces paramètres sur la réponse force-déplacement, sur les contraintes tangentielles et normales au niveau de l'interface et sur les tensions des renforcements. Les propriétés adoptées dans cette étude sont comme suit :

Tab. 4.1 Propriétés des matériaux

Paramètres	symbole	Couche de base	Couche de fondation	Couche de forme	unité
Modèle de matériau	Modèle	Mohr-coulomb	Mohr-coulomb	Mohr-coulomb	-
Type de matériau		Non drainé	Non drainé	Non drainé	-
Poids volumique saturé	γ_{sat}	22	22	19	[Kn/m ³]
Poids volumique non saturé	γ_{unsat}	18	20	17	(KN/m ³)
perméabilité		0.5	0.5	0.001	m/jour
Module de young	E^{ref}	50	50	10	[Mpa]
Coefficient de poisson	ν	0.25	0.25	0.33	-
Module oedométrique	E_{oed}	60000	60000	14820	
Cohésion	C^{ref}	0	0	30	[kN/m ²]
Angle de frottement	ϕ	40	40	0	[°]
Angle de dilatance	ψ	20	20	0	[°]
profondeur	D	0.2	0.3	2.25	m
largeur	W	3.2	3.2	3.2	m

*** Propriétés du Renforcement géogrille**

Les propriétés de la géogrille utilisée dans cette étude est EA=390 kN/m

Tels que E = Module de Young, et A est la section de transversale.

4.2.5 Modèle géométrique

Le modèle en question est présenté dans la figure 4.3.

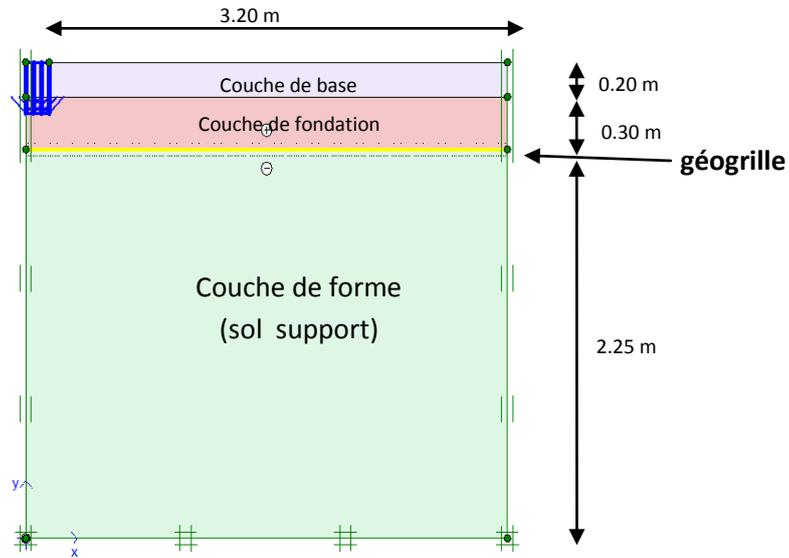
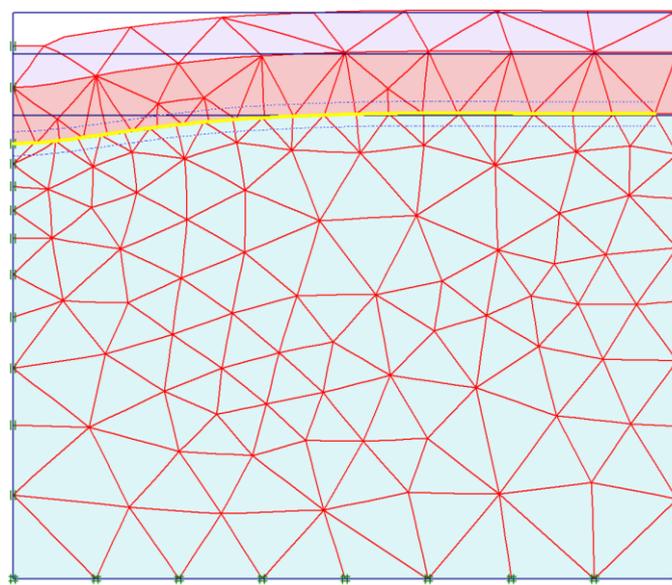


Figure 4.3 Géométrie du modèle étudié

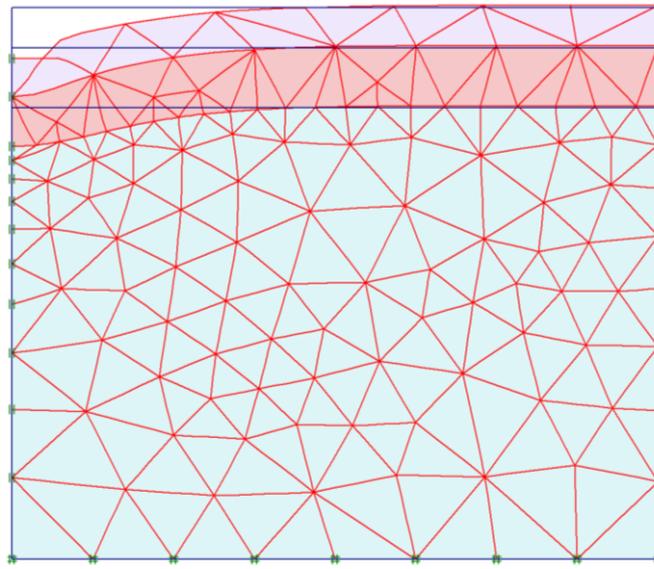
Dans ce cas, on impose un déplacement vertical d'une valeur de $-0,127\text{m}$. Il est clair que le déplacement total extrême pour le cas d'une chaussée renforcée est de $8,18 \cdot 10^{-3}\text{m}$



Déplacement extrême total= $8,18 \cdot 10^{-3}\text{m}$

Figure 4.4 Maillage déformé pour un orniérage de 0,8 B chaussée renforcée.

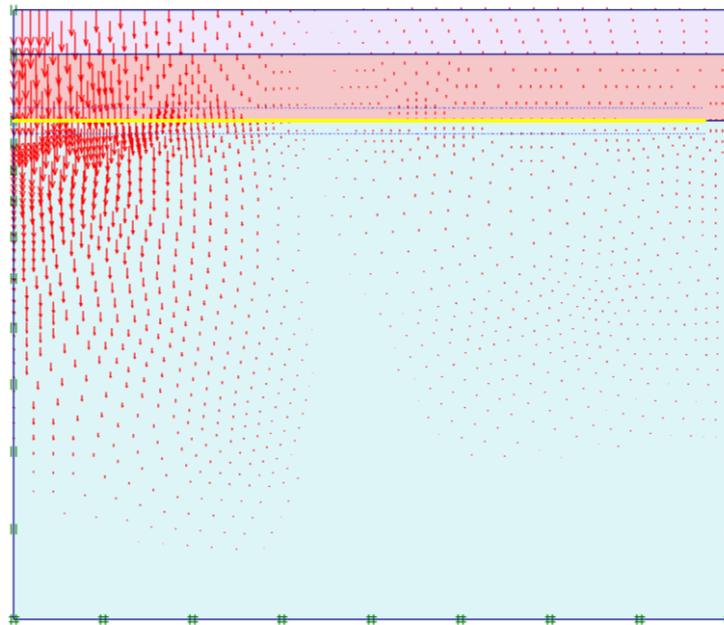
En comparant, ce résultat avec celui déduit d'une chaussée non renforcée, nous trouvons une grande différence dans les déplacements totaux, comme le montre la figure 4.5.



Extrême totale déplacement $128,16 \cdot 10^{-3} \text{m}$
(Déplacement scalde up 2.00 times)

Figure 4.5 Maillage déformé pour un orniérage de 0,8 B chaussée non renforcée.

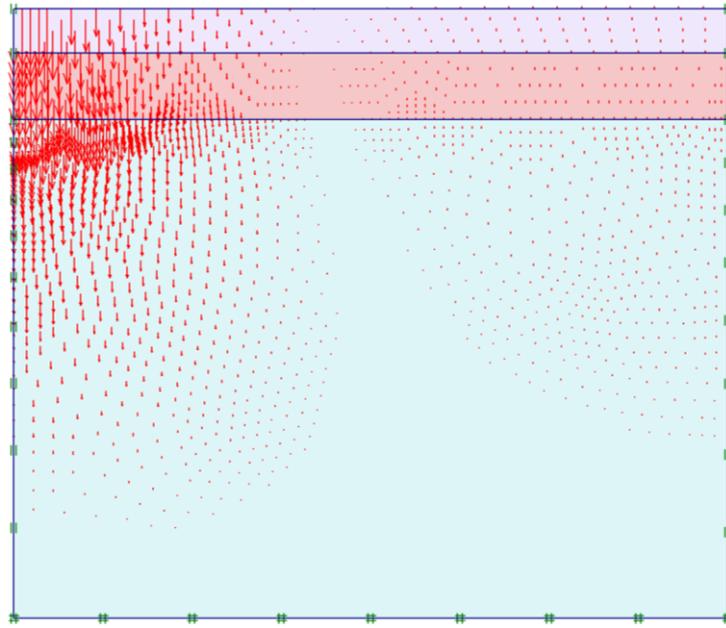
La figure 4.6 illustre clairement que le déplacement vertical maximum est au-dessous du centre de la surface chargée.



Déplacement vertical extrême, $U_y = 8,18 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Figure 4.6 Déplacements verticaux pour un orniérage de 0,8B chaussée renforcée.

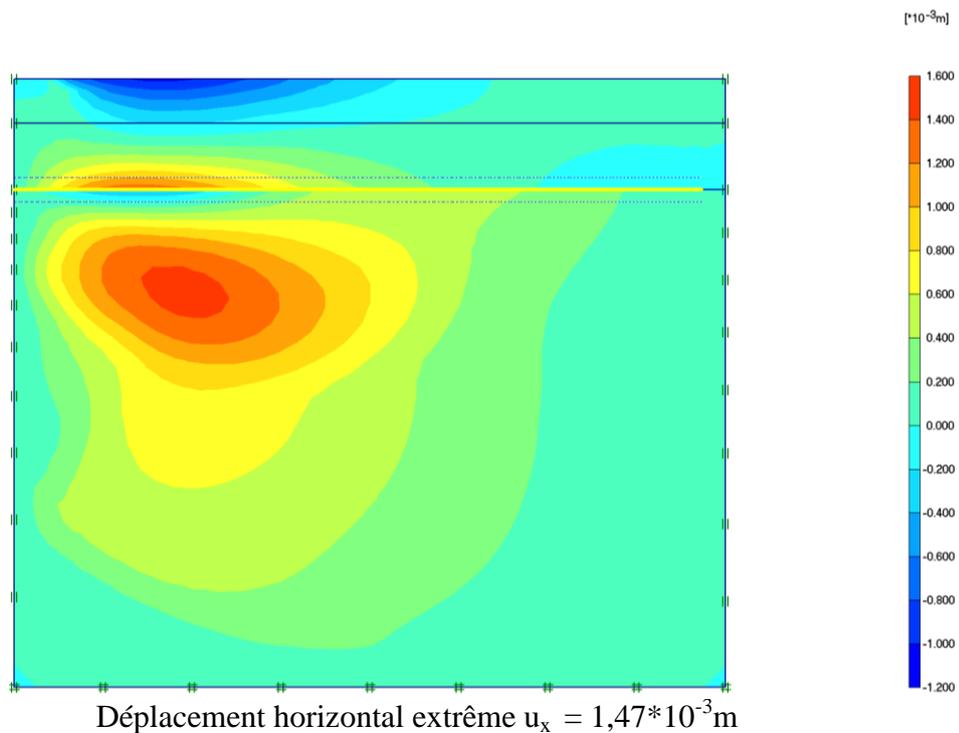
Toujours, la différence est nettement observée entre le déplacement vertical pour une chaussée renforcée et celui d'une chaussée non renforcée, comme le montre la figure 4.7.



Déplacement vertical extrême $U_y = 128,16 \cdot 10^{-3} \text{m}$

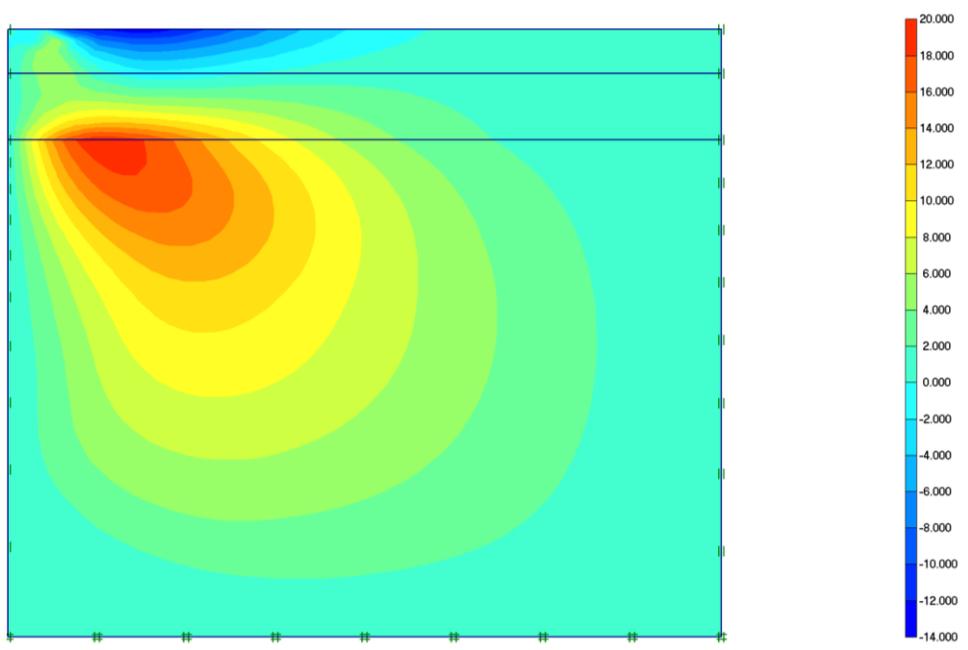
Figure 4.7 Déplacements verticaux pour un orniérage de 0,8B chaussée non renforcée

La même remarquée est notée pour les isovaleurs des déplacements horizontaux pour les deux cas de la chaussée, comme elle est bien illustrée dans les deux figures 4.8 et 4.9.



Déplacement horizontal extrême $u_x = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{m}$

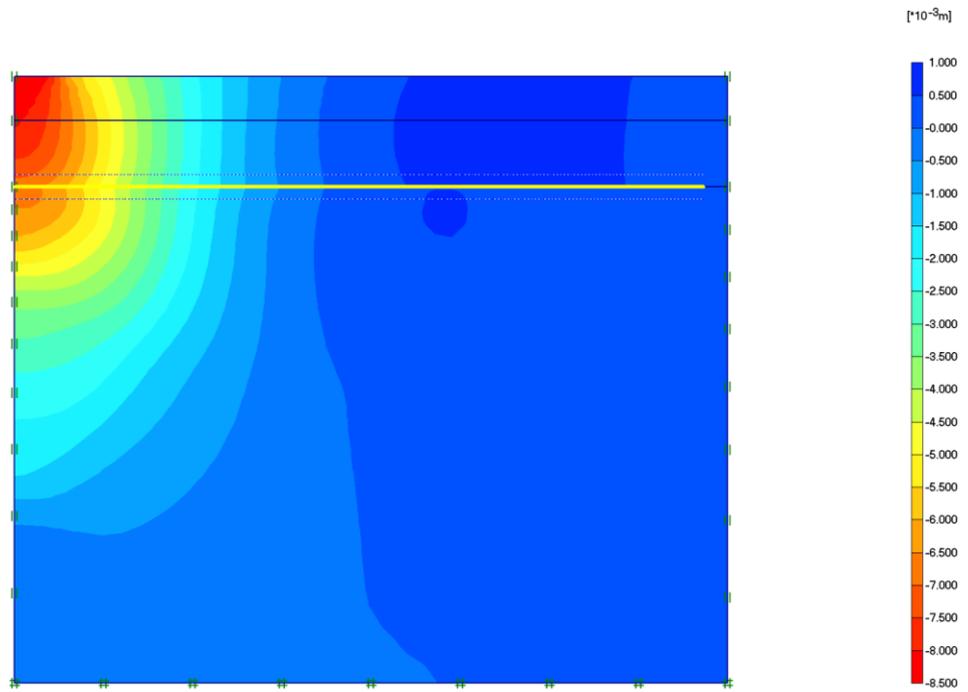
Figure 4.8 Déplacements Horizontaux pour un orniérage de 0,8B chaussée renforcée



Déplacement horizontal extrême $U_x = 19,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

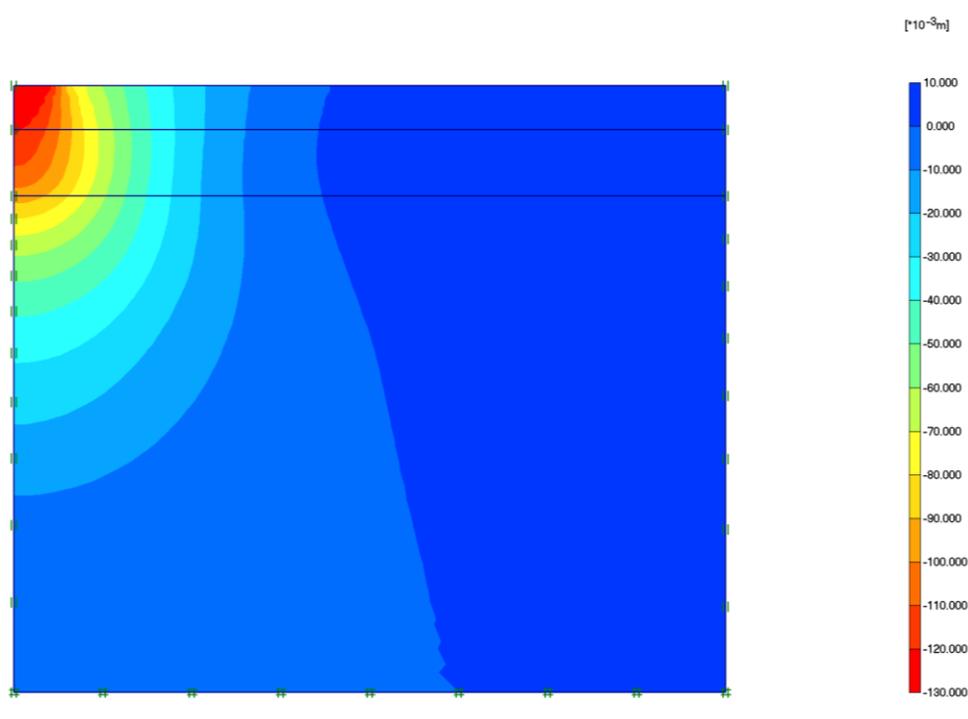
Figure 4.9 Déplacements Horizontaux pour un orniérage de 0,8B chaussée non renforcée

A titre comparatif, les deux figures 4.10 et 4.11 présente une différence entre les isovalues des déplacements verticaux dans les deux cas de la chaussée.



Déplacements vertical extrême $U_y = -8,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

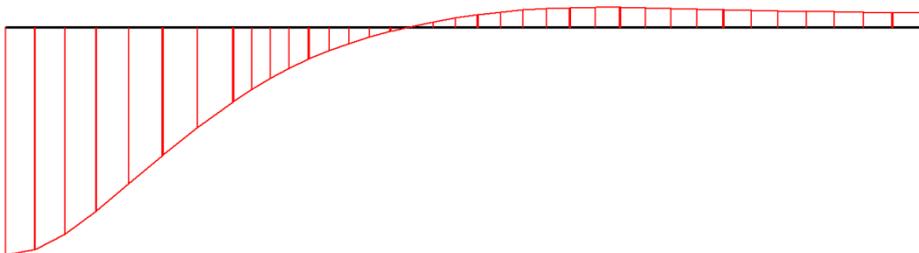
Figure 4.10 Déplacements verticaux pour un orniérage de 0,8B chaussée renforcée



Déplacement Vertical extrême $U_Y = -128,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

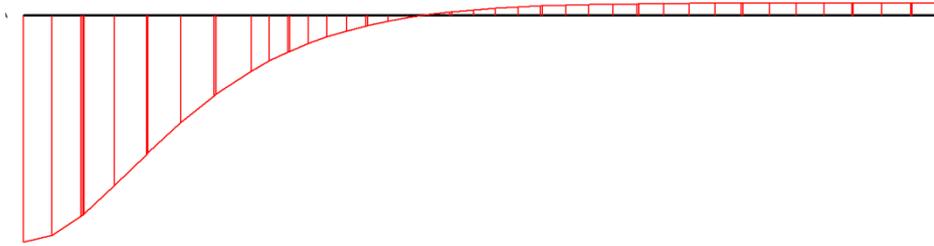
Figure 4.11 Déplacements verticaux pour un orniéage de 0,8B chaussée non renforcée

Pour bien illustrer la répartition du déplacement vertical, nous présentons une coupe à 0,5 m de profondeur. Il est clair que le déplacement maximal se trouve sous le centre de la charge et cela pour les cas de la chaussée, comme le montre les figures 4.12 et 4.13.



Déplacements Vertical extrême $U_Y = -6,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

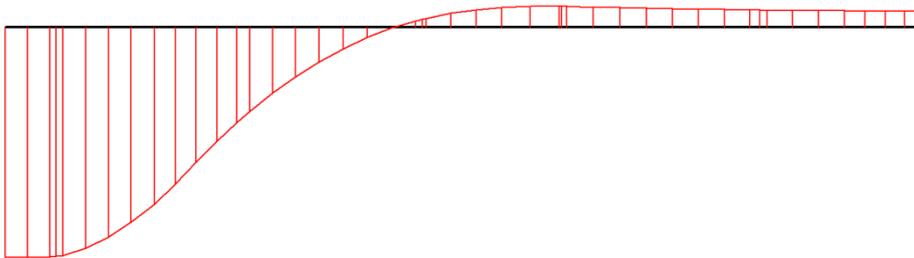
Figure 4.12 Coupe a 0,5m de profondeur chaussée renforcée



Déplacements Vertical extrême $U_Y = -94,81 \cdot 10^{-3} \text{m}$

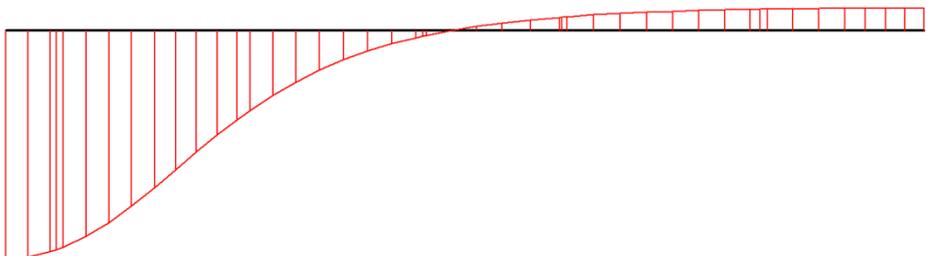
Figure 4.13 Coupe a 0,5m de profondeur chaussée non renforcée

Atitre comparatif entre le résultat d'une coupe à 0.5m, 1m et 2 m, les 06 figures 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 et 4.17 montrent clairement que le déplacement vertical diminue en fonction de la profondeur.



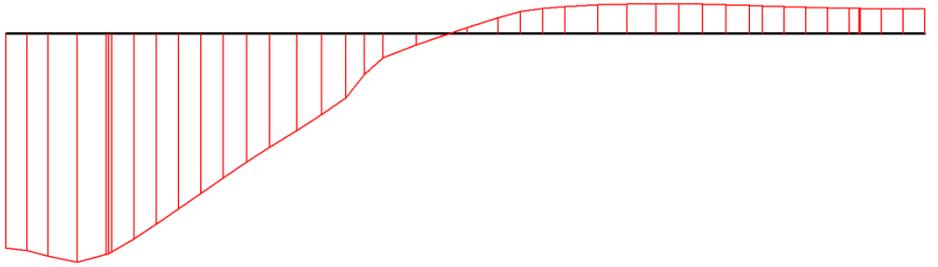
Déplacements Vertical extrême $U_Y = -3,79 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Figure 4.14 Coupe a 1 m de profondeur chaussée renforcée

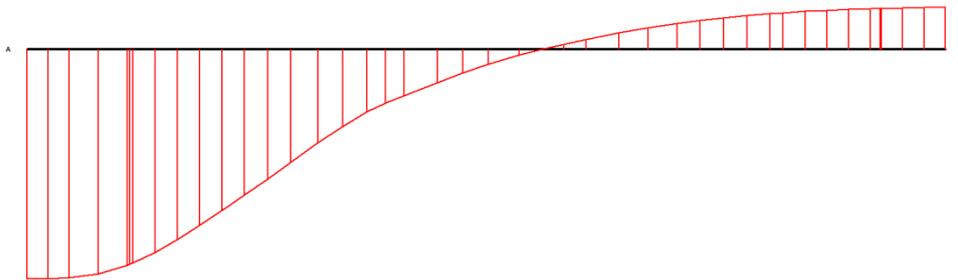


Déplacements Vertical extrême $U_Y = -42,66 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Figure 4.15 Coupe a 1 m de profondeur chaussée non renforcée



Déplacements Vertical extrême $U_Y = -677,27 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
Figure 4.16 Coupe a 2 m de profondeur chaussée renforcée



Déplacements Vertical extrême $U_Y = -6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Figure 4.17 Coupe a 2 m de profondeur chaussée non renforcée

La figure 4.18 illustre les deux courbes de déplacement vertical pour un point se trouvant sous le centre de la charge pour les deux phases de calcul: phase 1 pour la chaussée non renforcée et phase 2 pour la chaussée renforcée.

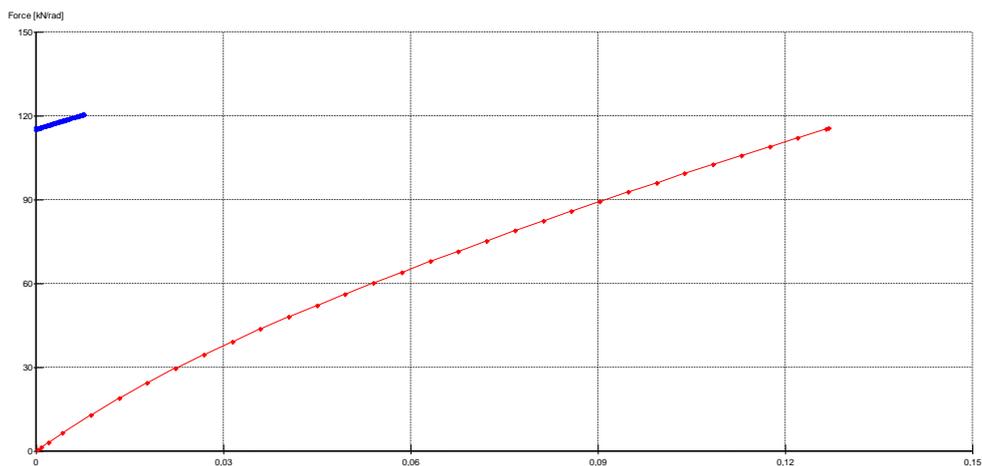
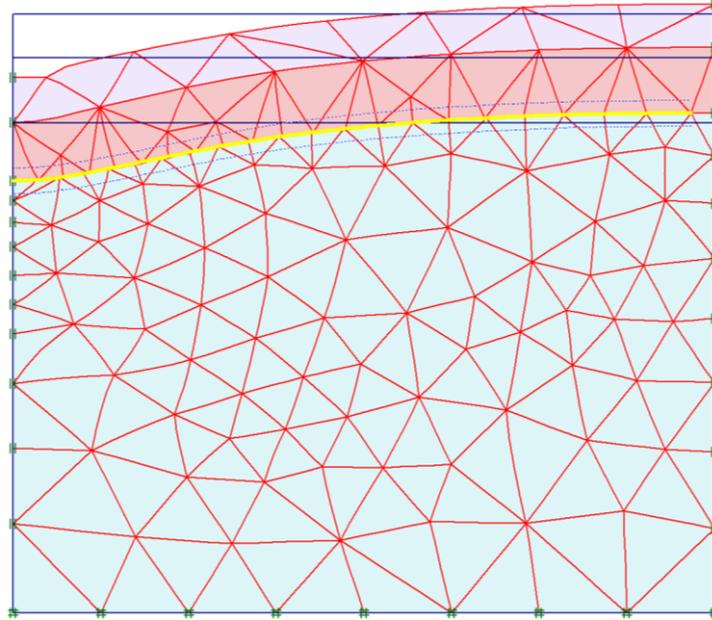


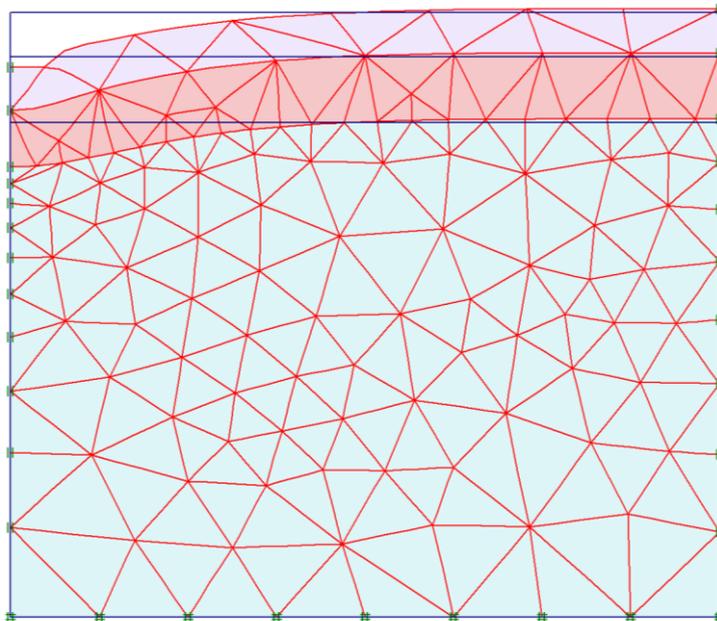
Figure 4.18 courbe de déplacement pour deux phases

Pour qu'on puisse comparer les résultats des déplacements verticaux pour les deux cas de chaussée, lorsque le déplacement imposé est nettement au déplacement limite de l'orniérage préconisé par les règlements en vigueur, un déplacement imposé proposé dans ce cas, qui est 0.250m, comme le montre les figures 4.19, 4.20 et 4.21.



Déplacement total extrême $U_t = 154,23 \cdot 10^{-3}$ m

Figure 4.19 Maillage déformé pour un orniérage de 0,8 B chaussée renforcée.



Déplacement total extrême $U_t = 252,40 \cdot 10^{-3}$ m

Figure 4.20 Maillage déformé pour un orniérage de 0,8 B chaussée non renforcée.

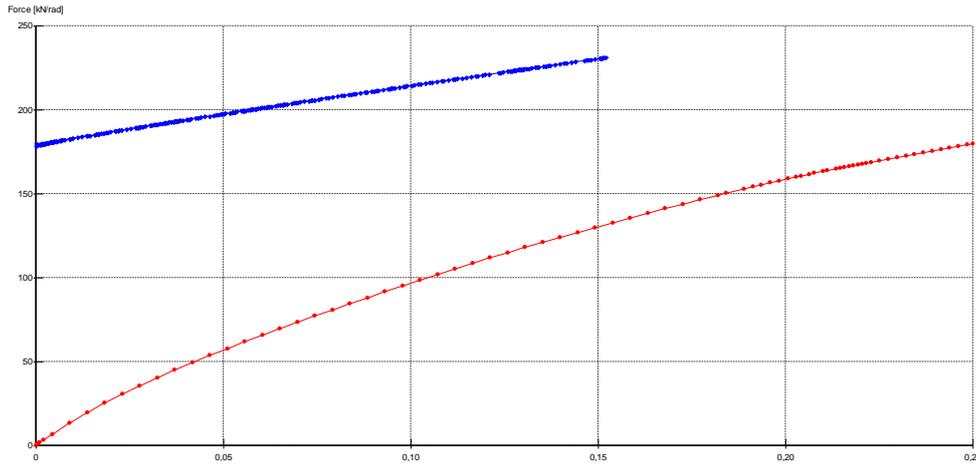


Figure 4.21 Courbe de déplacement pour deux phases

Conclusion

Les résultats obtenus montrent que les déplacements (vertical, horizontal) dans le corps de chaussée a diminué en utilisant le renforcement du type géogridle entre la couche de forme et la couche d'assise.

Cette diminution est plus significative dans le cas d'un déplacement imposé de 0,127m, une réduction du déplacement vertical de 94 % est notée entre les deux de chaussée; renforcée et non renforcée.

Dan le cas d'un déplacement vertical imposé de 0,250m une réduction, nous notons une réduction de 49 %.

En plus, le déplacement vertical diminue avec la profondeur comme la montre les coupes dans la chaussée en profondeur: 0.5m, 1m et 0.25m respectivement.

Référence bibliographique

- [1] REMADNA Mohamed Saddek MEMOIRE DE MAGISTER 2007,
MODELISATION NUMERIQUE DU RENFORCEMENT DU CORPS DE
CHAUSSEE PAR GEOGRILLE
Holtz R.D., Geosynthetics for soil reinforcement 9th Spencer J. Buchanan
Lecture, University of Washington Department of Civil & Environmental
Engineering, November 2001.

- [2] REMADNA Mohamed Saddek MEMOIRE DE MAGISTER 2007,
MODELISATION NUMERIQUE DU RENFORCEMENT DU CORPS DE
CHAUSSEE PAR GEOGRILLE
Fannin, R. J., “Geogrid reinforcement of granular layers on soft clay”
D.Phil. Thesis, University of Oxford, UK, 1986.

- [3] REMADNA Mohamed Saddek MEMOIRE DE MAGISTER 2007,
MODELISATION NUMERIQUE DU RENFORCEMENT DU CORPS DE
CHAUSSEE PAR GEOGRILLE

- [4] Salhi sadok mémoire magister 2015, ETUDE DE RENFORCEMENT PAR
Géogrilles d’une plate forme routière

- [5] Mouhoub Mohamed Fouzi, Sota Ahmed Amine, Rais Saïd Mémoire de Master
2015 recyclage du béton bitumineux, état d’art

- [6] BENSMAINE DALILA mémoire magister 2011, Le comportement élasto-
plastique des interfaces cas des chaussées Modélisation d’un essai de double
cisaillement

- [7] Dimensionnement d'une structure de chaussée routière

- [8] BENSMAINE DALILA mémoire magister 2011, Le comportement élasto-
plastique des interfaces cas des chaussées Modélisation d’un essai de double
cisaillement

- [9] Mémoire de Magister 2012 Boulfoul Khalifa, étude numérique sur l'effet de l'espacement des géogrilles sur les mécanismes de rupture des murs en sol renforcé
- [10] Lamara Samia Mémoire de Magister Etude numérique d'une fondation circulaire reposant sur un sable renforcé par géogrilles
- [11] Revue littéraire Robin Guilbaud 2011 « Utilisation des matériaux géosynthétiques dans le renforcement des chaussées »
- [12] Thèse doctorat BERRABAH Fouad 2015 « Évaluation numérique de l'effet du renforcement par nappes de géosynthétique sur la stabilité et le tassement des remblais sur sol compressible »
- [13][14] Revue littéraire Robin Guilbaud 2011 « Utilisation des matériaux géosynthétiques dans le renforcement des chaussées »
- [16] Brocklehurst,C.J. « Finite Element Studies of Reinforced and Unreinforced two layer soils systems,» These de doctora, Université d'Oxford; 1993.
- [15] Salhi sadok mémoire magister 2015, ETUDE DE RENFORCEMENT PAR Géogrilles d'une plate forme routière

Conclusion générale

Les routes et les autoroutes contribuent d'une manière considérable au développement d'un pays. Le trafic répété de véhicules lourdement chargés, les conditions climatiques et les propriétés mécaniques des matériaux employés dans ces constructions peuvent entraîner une durabilité bien moindre des chaussées routières que ce qui était attendue.

Dans ce sens, les géosynthétiques peuvent être efficacement utilisés pour :

- réduire ou éviter la remontée des fissures;
- fonctionner comme barrière pour éviter le pompage des fines du sol;
- réduire l'épaisseur du revêtement bitumineux;
- réduire l'épaisseur de la chaussée;
- augmenter la durée de vie de la chaussée.

Les matériaux et les techniques de construction utilisés dans le domaine des infrastructures routières évoluent pour pouvoir répondre aux nouvelles conditions de circulation, à la conception des chaussées, à la politique de l'entretien et aux conditions économiques. Aujourd'hui, le résultat de cette évolution est l'utilisation de deux à plusieurs matériaux qui complètent leurs qualités pour former un matériau aux performances globales améliorées appelé « matériaux composites ».

L'étude des chaussées renforcées par les matériaux géosynthétiques exige une large connaissance au domaine de la géotechnique, mécanique des sols, sciences des matériaux...etc.

Une modélisation numérique par le code Plaxis est réalisée dans ce travail afin d'évaluer la performance du comportement d'une chaussée non revêtue, renforcée par géogrilles.

Sommaire

Chapitre 1 Conception et généralités sur les chaussées routières

1.1 Introduction	01
1.2 Constitution de structures des chaussées.....	04
1.2.1 Plate-forme support de chaussée.....	04
a- Partie Supérieure des terrassements(PST)	05
b-Couche de forme	05
1.2.2 Couche d'assise	05
a- Couche de fondation	05
b- Couche de base	05
1.2.3 Couche de surface	05
a- Couche de roulement	05
b- Couche de liaison	06
1.3 Différents types de structure de chaussée	06
1.4 Mode de fonctionnement et dégradation des chaussées d'après (LCPC ,1994)...	07
1.4.1 Chaussées souples.....	07
1.4.2 Chaussées bitumineuses épaisses	09
1.4.3 Chaussées semi-rigides(ou à assise aux liants hydrauliques)	09
1.4.4 Chaussées rigides (ou en béton de ciment).....	10
1.4.5 Chaussées à structures mixte	11
1.4.6 Chaussées à structures inverse.....	12
1.4.7 Chaussées à structures composite	13
1.5 Dimensionnement d'une structure de chaussée routièrecharge roulante.....	14
1.5.1 Principe de dimensionnement de la structure de chaussée.....	15
1.5.1.1 Méthodes empiriques.....	15
1.5.1.2 Méthodes théoriques.....	16
1.5.1.3 Méthodes semi empiriques.....	17
1.5.2 Méthode algérienne de dimensionnement.....	18
1.5.2.1 Détermination du type de réseau.....	18
1.5.2.2 Données d'entrées du dimensionnement.....	19

1.5.2.3 Démarche de calcul du dimensionnement des 20	20
structures de chaussée Algériennes selon le catalogue de (2001)	
Chapitre 2 Notions sur les matériaux géosynthétique	
2.1 Introduction21	21
2.2 Que sont les géosynthétiques ?.....21	21
2.3 Types des Géosynthétique22	22
2.3.1 Géotextiles.....22	22
2.3.1.1 Géotextile non tissé.....22	22
2.3.1.2 Géotextiles tissés.....23	23
2.3.1.3 Géotextile tricoté.....24	24
2.3.2 Géocomposite.....24	24
2.3.3 Les géogrilles.....25	25
2.4 Rôles et les fonctions des géosynthétiques.....25	25
2.4.1 Rôles mécaniques.....25	25
2.4.1.1 Séparation.....25	25
2.4.1.2 Renforcement.....26	26
2.4.1.3 Protection.....26	26
2.4.1.4 Anti-érosion27	27
2.4.2 Rôles hydrauliques.....28	28
2.4.2.1 Filtration.....28	28
2.4.2.2 Drainage.....28	28
2.4.2.3 Barrière : Étanchéité.....29	29
2.5 Géogrilles.....29	29
2.5.1 Mode d'action.....30	30
2.5.2 Avantages.....30	30
2.5.3 Inconvénients.....31	31
Chapitre 3 : Utilisation des geosynthétiques dans les chaussées routières	
3.1 Introduction.....32	32
3.2 Pathologie des chaussées32	32
3.2.1 Orniérage33	33
3.2.2 Gel / dégel33	33
3.2.2.1 Actions du gel33	33
3.2.2.2 Actions du dégel33	33
3.3 Fonctions des géosynthétiques34	34

3.4 Mécanismes de renforcement.....	35
3.4.1 Mécanisme de confinement latéral de la couche de base	35
3.4.2 Mécanisme de surface de rupture modifiée et augmentation.....	36
de la capacité portante	
3.4.3 Mécanisme de membrane tendue	37
3.5 Renforcement des chaussées à l'aide des géosynthétiques.....	38
3.5.1 Renforcement des chaussées à l'aide géotextile	38
3.5.2 Renforcement des chaussées à l'aide Géogrille.....	40
3.6 Caractéristiques géométriques et renforcement.....	44
3.7 Classement par propriétés des géosynthétiques.....	45
3.7.1 Résistance à la flexion.....	45
3.7.2 Résistance à la traction	45
3.7.3 Résistance à l'arrachement.....	45
3.7.4 Résistance au glissement.....	45
3.8 Positionnement.....	45
3.9 Outils de calculs actuels.....	47
Chapitre 4 modélisation de la couche de forme renforcée ou non renforcée	
4.1 Introduction.....	48
4.2 Etude de cas.....	50
4.2.1 Présentation du cas étudié.....	50
4.2.2 Impact de la roue charge de calcul.....	52
4.2.3 Dimensions du domaine de l'Etude.....	52
4.2.4 Propriétés des matériaux de l'Etude	53
4.2.5 Modèle géométrique	55
Conclusion générale.....	64
Bibliographie	