

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

Université SAAD DAHLEB BLIDA 1

Faculté de technologie

Département de Génie Civil



MÉMOIRE DE MASTER EN GÉNIE CIVIL

Spécialité : Géotechnique

Thème :

**Optimisation de la position de la géogridde pour le
renforcement d'un corps de chaussée souple**

Analyse par ansys

Soutenu par :

DAREB Wissam

RIGHI Nadjib

Encadré par :

Dr. M. Abdessemed

Année universitaire : 2019-2020

Dédicace

Je dédie ce travail :

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout
mos respect : mon cher père*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non
à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse :
mon adorable mère*

*A mes chères sœurs IMAN, SARA, MOUNIRA et SOUMIA qui n'ont pas
cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.
Que Dieu les protège et leurs offre le bonheur.*

*A mes chères amies pour leurs aides et supports dans les moments
difficiles.*

A mon binôme RIGHI Nadjib pour son soutien moral

DAREB Wissam

Je dédie ce travail

A ma chère mère,

A mon cher père,

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A mes chères sœurs

pour leurs encouragement et soutient tout au long de mes études. Que Dieu les protège

A ma binôme,

Pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

A mes chers amis pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille

RIGHI Nadjib

Remerciements

On doit tout d'abord remercier le Bon Dieu, le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail, surtout dans ses moments difficiles (Pandémie du Covid 19).

A notre encadreur Dr Mouloud ABDESSEMED, que nous sommes très honoré de nous avoir dirigé et orienter dans notre mémoire. Nous tenons à le remercier pour sa gentillesse et son soutien moral. .

On tient à remercier les membres de notre jury pour le temps et l'intérêt qu'ils ont consacrés pour évaluer et examiner notre mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos enseignants, le personnel du département de génie civil de l'université de Blida1, ainsi que tous nos collègues étudiants qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent au Dr F .DEBICHE pour son soutien et nous présentons, ici, nos sincères condoléances à la suite du décès de son mari. Qu'il repose inchallah en paix au grand Paradis.

Nos remerciements s'adressent également à toutes autres personnes avec lesquelles, nous avons eu le plaisir de collaborer au cours de ces dernières années.

ملخص

تم استخدام تعزيزات الجيوغريل في الجزائر لسنوات في هيكل الطريق . تقدم هذه المواد التعزيزية حلول فعالة من حيث التكلفة لحماية ومتانة الرصيف لأنها تزيد من مقاومة الحمل وتقلل من حجم حق الطريق للهيكل

يركز هذا العمل على تحديد الموضع الأمثل لبقعة الجيوغريل في جسم الرصيف المرن

لهذا، بدأنا بدراسة الهياكل المختلفة لهذه الأرصفة من أجل فهم كيفية عملها، ومعرفة المواد التي تشارك في تحقيقها. ثم بدأنا الجزء التالي الذي يتم فيه سرد أنواع مختلفة من التدهور وأسبابه. وقد جعل ذلك من الممكن معرفة ما هي الوسائل اللازمة للصيانة والوقاية الممكنة

وفي النهاية، استخدمنا ANSYS 16.2 في نمذجة الهيكل المقترح للتحقق من الضغوط والتشوهات فيما يتعلق برنامج

بالأحمال التي تمارس

.الكلمات المفتاحية : شبكية ترابية، نمذجة، أرضية طريق، تدعيم

Résumé

Le renforcement par géogridle été utilisé en Algérie depuis des années dans la structure routière. Ce matériau de renforcement offre des solutions économiques pour la sauvegarde et la durabilité de chaussée car elle permet d'augmenter la résistance au chargement et réduit le volume de l'emprise de l'ouvrage.

Ce travail s'intéresse à la détermination de la position optimale de la nappe de géogridle dans un corps de chaussée souple.

Pour ce faire, nous avons commencé d'abord par l'étude des différentes structures de ces chaussées afin de comprendre leur fonctionnement, et connaître les matériaux qui interviennent dans leur réalisation. Ensuite on a entamé la partie suivante dans laquelle sont énumérés les différents types des dégradations et leurs causes. Ce qui a permis de savoir quels moyens faut-il pour l'entretien et une éventuelle prévention.

En fin on a utilisé le logiciel ANSYS 16.2 pour modéliser la structure proposée dans le but de vérifier les contraintes et les déformations vis-à-vis des charges exercées.

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

Abstract

Geogrid reinforcement has been used in Algeria for years in the road structure. This reinforcement material offers cost-effective solutions for the protection and durability of pavement as it increases load resistance and reduces the volume of the right of way of the structure.

This work focuses on determining the optimal position of the geogrid slick in a flexible pavement body.

With this intention, we initially started with the study of the various structures of these roadways in order to understand their operation, and to know the materials which intervene in their realization and dimensioning. Then the following part was started in which the various types of degradations and their causes are enumerated. What made it possible to know which means are necessary for maintenance and a possible prevention.

Finally the software ANSYS 16.2 has been used to model the structure suggested with an aim of checking the stresses and the deformations with respect to the exerted loads

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

<i>Dédicace</i>	i
<i>Remerciements</i>	iii
Résumé	iv
LISTE DES FIGURE	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiii
Liste des symboles	xiv
Introduction générale	1
1 Chapitre 1 : Notion sur les chaussées routières	3
1.1 Introduction :	3
1.2 Réseau routier algérien	3
1.3 Constitution de structures des chaussées :	4
1.3.1 Plate-forme support de chaussée	5
a. Partie Supérieure des terrassements(PST) :	5
b. Couche de forme :	5
1.3.2 Couche d'assise :	5
a. Couche de fondation :	5
b. Couche de base (G.B) :	5
1.3.3 Couche de surface :	5
a. Couche de roulement :	5
b. Couche de liaison :	6
1.4 Différents types de structure de chaussée :	6
1.5 Mode de fonctionnement et dégradation des chaussées d'après (LCPC ,1994)	7
1.5.1 Les chaussées souples :	7
1.5.2 Les chaussées bitumineuses épaisses :	8
1.5.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques « semi-rigides » :	8
1.5.4 Les chaussées en béton de ciment « Rigides » :	9
1.5.5 Chaussées à structures mixte :	10
1.5.6 Chaussées à structures inverse:	11
1.5.7 Chaussées à structures composite :	11
1.6 Dimensionnement d'une structure de chaussée routière	12
1.6.1 Principe de dimensionnement de la structure de chaussée :	13
1.6.1.1 Méthodes empiriques:	13
1.6.1.2 Méthodes théoriques [5]	14
1.6.1.3 Méthodes semi empiriques	18

1.7 Conclusion :	20
Chapitre 2:	1
Dégradations des chaussées souples	1
2 Chapitre 2 : dégradations des chaussées souples	13
2.1 Introduction :	13
2.2 Les différents types des dégradations et leurs causes :	13
2.2.1 La famille des déformations :	13
2.2.1.1 Ornière à faible rayon :	14
A. Gravité et étendue :	14
B. Les causes probables :	14
2.2.1.2 Ornière à grand rayon :	15
2.2.1.3 Affaissement :	16
2.2.1.4 Soulèvement différentiel :	17
2.2.1.5 Désordre de profil :	17
2.2.2 La famille des fissurations :	18
2.2.2.1 Fissures transversales :	18
2.2.2.2 Fissures longitudinales :	19
1. Fissures longitudinales en piste de roues	20
2.2.2.3 Fissures de gel :	22
2.2.2.4 Fissures en carrelage :	23
2.2.2.5 Fissures en rive :	24
2.2.2.6 Faïençage :	24
2.2.3 La famille des arrachements	25
2.2.3.1 Désenrobage :	25
2.2.3.2 Pelade :	26
2.2.3.3 Nid de poule :	27
2.2.3.4 Ressuage :	28
2.2.4 Dégradations en milieu urbain	29
2.2.4.1 Fissuration autour des regards et des puisards :	29
2.2.4.2 Coupe et tranchée :	30
2.2.4.3 Dénivellation des regards et des puisards :	31
2.3 Maintenances des chaussées souples :	32
2.3.1 Entretien courants :	32
2.3.1.1 Purge :	32

2.3.1.2	Bouchage de nids de poule	33
2.3.1.3	Imperméabilisation de surface	33
2.3.1.4	Scellement des fissures	33
2.3.1.5	Traitement de ressuage	34
2.3.2	Gros entretiens :	34
2.3.2.1	Reprofilage	34
2.3.2.2	fraisage- resurfaçage	34
2.3.2.3	Rechargement	35
2.3.2.4	Renforcement	35
2.4	Conclusion :	36
Chapitre 3 :		1
Notion sur les matériaux géosynthétiques		1
3	Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétiques	34
3.1	Introduction :	34
3.2	Définitions :	34
3.2.1	Les géocellules :	34
3.3	Type des géosynthétiques :	35
3.3.1	Géotextiles :	35
1.1.1.	Géotextile non tissé :	35
3.3.1.1	Géotextile tissé :	36
3.3.1.2	Géotextile tricoté :	36
3.3.2	Géocomposite :	36
3.3.3	Géomembranes :	37
3.3.4	Géogrille :	37
3.4	Les principes fonctions des géosynthétiques :	37
3.4.1	Rôle mécanique :	37
1.1.2.	La séparation :	37
3.4.1.1	Renforcement :	38
3.4.1.2	Protection	38
3.4.1.3	Anti-érosion :	39
3.4.2	Rôles hydrauliques :	39
3.4.2.1	Filtration :	39
3.4.2.2	Drainage :	39
3.4.2.3	Barrière :	40

3.5	Géogrilles	40
3.5.1	Mode d'action	41
3.5.2	Avantage :	41
3.5.3	Inconvénients	41
2.	Renforcement des chaussées par géogrille :	42
2.1.	Principe de renforcement	42
3.5.4	Mécanismes de renforcement	42
3.5.4.1	1. Mécanisme de Confinement (autoblocage) latéral de la couche de base	42
6.2.2.	Mécanisme de surface de rupture modifiée et Augmentation de la capacité portante	44
6.2.3.	Mécanisme de Membrane Tendue	44
4	Chapitre 4 : la méthode des éléments finis et la présentation de logiciel	46
4.1	Méthode des éléments finis :	46
4.1.1	Introduction :	46
4.1.2	Historique :	46
4.1.3	Définition der la méthode des éléments finis :	46
4.1.4	Principe de la méthode :	47
4.2	Présentation de l'outil de simulation :	47
4.2.1	Principaux produits Ansys :	47
	• ANSYS Structural :	47
	• ANSYS Mechanical :	47
	• ANSYS CFX et Fluent :	48
	• Gambit :	48
	• ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA :	48
	• ANSYS Electromagnetics et Ansoft :	48
	• ANSYS Multiphysics :	48
4.2.2	Environnements logiciels :	48
	• ANSYS classic :	49
	• ANSYS Workbench :	49
4.3	Logiciel ANSYS	49
4.3.1	Analyse structurelle	49
a.	Capacités avancées	49
b.	Solution d'analyse structurelle complète :	50

c.	Applications Analyse structurelle	50
d.	Analyse de Matériaux Composites par Ansys :	50
4.4	Conclusion	50
5	Chapitre 5 : analyse numérique et cas d'étude	51
5.1	Introduction :	51
5.2	Présentation du cas d'étude :	51
5.3	Caractéristique géométriques :	52
5.4	Caractéristiques géotechniques :	52
5.5	Propriétés mécaniques des matériaux :	53
5.6	Modèle géométrique :	53
6	Chapitre 6 : résultats et discussions	55
6.1	Etude des déformations de la chaussée non renforcée et renforcée :	55
6.2	Résultats des simulations et analyse :	55
6.2.1	Déformation élastique de cisaillement dans le plans (XZ)	56
6.2.2	Déformation élastique de cisaillement dans le plans (YZ)	57
6.2.3	Déformation élastique de cisaillement dan le plan (XY)	58
6.2.4	Déformation élastique normale suivant l'axe « Y »	59
6.2.5	Déplacement directionnel suivant l'axe « Y »	60
6.2.6	Déplacement total :	61
6.2.7	Contrainte	62
6.3	Synthèse et comparative des résultats :	63
6.4	Conclusion :	65
	Conclusion générale	65

LISTE DES FIGURE

Figure 1.1:1 Coupe d'une structure de chaussée revêtue et terminologie des différentes couches.....	4
Figure 1.2 Coupe d'une structure de chaussée non revêtue.....	4
Figure 1.3: Fonctionnement d'une chaussée souple	7
Figure 1.4: Chaussées bitumineuses épaisses	8
Figure 1.5: Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.	9
Figure 1.6: Différentes types d'une chaussée rigide.....	10
Figure 1.7: Chaussées à structures mixte.....	10
Figure 1.8: Chaussées à structures inverse.	11
Figure 1.9: Chaussées à structures composite	11
Figure 2.1: Ornières à petits rayons.	14
Figure 2.2: ornières à grands rayons.	15
Figure 2.3: affaissements.	16
Figure 2.4 : Soulèvement différentiel	17
Figure 2.5: Désordre du profil.	18
Figure 2.6: Fissures transversales.	19
Figure 2.7: Fissures en piste de roues.	20
Figure 2.8 Fissures longitudinales hors piste de roues.	21
Figure 2.9: Fissures de gel.	23
Figure 2.10: Fissures en carrelage.	23
Figure 2.11: Fissures en rive.....	24
Figure 2.12: Faïençage.....	25
Figure 2.13: Désenrobage.	26
Figure 2.14: Pelade.	27
Figure 2.15: Nid-de-poule.....	28
Figure 2.16: ressuage.	29
Figure 2.17: Fissuration autour des regards et des puisards.	30
Figure 2.18: Coupe et tranchée.	31
Figure 2.19: Dénivellation des regards et des puisards.	31
Figure 3.1: Géocellules.	34
Figure 3.2: Géocomposite	35
Figure 3.3: Géomembrane.	35
Figure 3.4: Géotextile non tissé.	35
Figure 3.5: Géotextile tissé.	36
Figure 3.6: Géotextile tricoté.	36
Figure 3.7: la structure d'un géocomposite.	37
Figure 3.8: Séparation des couches par un géotextile.....	38
Figure 3.9: Utilisation dans la protection.....	38
Figure 3.10: Utilisation contre l'érosion.	39

Figure 3.11: Utilisation pour filtration.....	39
Figure 3.12: Utilisation pour drainage.....	40
Figure 3.13: Utilisation pour Étanchéité.....	40
Figure 3.14: Géogridde uniaxiale	41
Figure 3.15: Géogridde biaxiale.....	41
Figure 3.16: renforcement par géotextille.....	42
Figure 3.17 Mécanisme de Confinement (autoblocage) latéral de la couche de base	42
Figure 3.18 :Surface de Rupture Modifiée et Augmentation de la capacité portante.....	44
Figure 3.19:comportement en membrane	45
Figure 5.1: Fissures transversales au niveau de la chaussée.....	51
Figure 5.2:Emplacement de la nappe géogridde	52
Figure 5.3:Géométrie du modèle étudié sans renforcement	53
Figure 5.4:Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position1)	53
Figure 5.5:Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position 2)	54
Figure 6.1:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée non renforcée	56
Figure 6.2: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position1)	56
Figure 6.3: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 2)	56
Figure 6.4:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée non renforcée	57
Figure 6.5:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 1)	57
Figure 6.6:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 2).	57
Figure 6.7:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée non renforcée	58
Figure 6.8:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 1)	58
Figure 6.9:déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 2)	58
Figure 6.10:déformation élastique normale d'une chaussée non renforcée	59
Figure 6.11:déformation élastique normale d'une chaussée renforcée (position 1).....	59
Figure 6.12:déformation élastique normale d'une chaussée renforcée (position 2).....	59
Figure 6.13 : déplacement directionnel d'une chaussée non renforcée.....	60
Figure 6.14:déplacement directionnel d'une chaussée renforcée (position 1)	60
Figure 6.15:déplacement directionnel d'une chaussée renforcée (position 2)	60
Figure 6.16:déplacement total d'une chaussée non renforcée.....	61
Figure 6.17:déplacement total d'une chaussée renforcée (position 1)	61
Figure 6.18:déplacement total d'une chaussée renforcée (position 2)	61
Figure 6.19:variation de déplacement en fonction de la position de géogridde	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:1:Types de structure de chaussée selon LCPC	6
Tableau 5:1: Caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés	53
Tableau 6:1:déformation élastique de cisaillement (XZ)	63
Tableau 6:2:déformation élastique de cisaillement (XY)	63
Tableau 6:3:déformation élastique de cisaillement(YZ)	63
Tableau 6:4:Déformation élastique normale(Y)	63
Tableau 6:5:Déplacement directionnel(Y).....	64
Tableau 6:6:Déplacement totale	64

Liste des symboles

FEA : Finite Element Analysis

E_c : Module d'élasticité

ν : Coefficient de poisson

[M] : matrices de masse de la structure

[K] : matrices de rigidité de la structure

$E(\text{kPa})$: Module d'Young

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie dispose d'un nombre très important d'infrastructure linéaire (route, autoroute, aéroport). Avec le temps ces infrastructures subissent des sollicitations sévères dues aux chargements de trafic et aux conditions climatiques engendrant des pertes de caractéristique structurelle des chaussées.

Il existe plusieurs techniques de renforcement appliquées dans les pistes. Dans certains cas l'utilisation de la technique traditionnelle qui est basée sur l'application de béton bitumineux n'est pas fiable. Alors la recherche des matériaux peut remplir cette insuffisance. Dans ce sens les géosynthétiques qui sont des produits fabriqués à partir de polymères synthétiques tels que le polyester, le polypropylène, le PVC utilisés pour stabiliser le corps de chaussée, augmenter le facteur de sécurité et réduire les coûts.

Les géosynthétiques les plus utilisés dans les chaussées routières sont les géogrilles.

En effet, dans les dernières années la position de géogrille dans le corps d'une chaussée souple pose problème.

Dans ce mémoire, nous proposons une étude bibliographique d'application des géogrilles et optimiser sa position dans le corps de chaussée souple avec une application numérique par la méthode des éléments finis avec le logiciel Ansys.

Une comparaison entre les résultats trouvés et les résultats expérimentaux sera effectuée.

Le travail est divisé en deux parties :

La première partie : réservée à la recherche bibliographique elle comporte quatre chapitres :

- **Le premier chapitre** : contient des notions sur les chaussées routières
- **Le deuxième chapitre** : c'est pour les dégradations des chaussées souples
- **Le troisième chapitre** : contient des notions sur les matériaux géosynthétiques, parmi ces matériaux les géogrilles
- **Le quatrième chapitre** : c'est la présentation de la méthode des éléments finis utilisée dans la modélisation numérique par le logiciel Ansys.

La deuxième partie : réservée à l'étude numérique et la modélisation, elle comporte un seul chapitre.

- **Le cinquième chapitre** : modélisation de la chaussée renforcée par la géogrille.
- **Le sixième chapitre** : réservée pour les résultats et discussions

Introduction générale

En fin en terminera par une conclusion générale.

Partie A :
Recherche
bibliographique

Chapitre 1 :
Notion sur les
chaussées

1 Chapitre 1 : Notion sur les chaussées routières

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.

C'est une structure multicouche mise en œuvre sur un ensemble appelé plate forme support de chaussée constituée du sol terrassé surmonté généralement d'une couche de forme.

Elle a pour objet de :

- répartir les charges mécaniques sur le sol support.
- assurer les déplacements des usagers et le transport des marchandises dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire.

1.2 Réseau routier algérien

L'Algérie a mobilisé des ressources financière considérables pour disposer d'un réseau routier viable et efficace et n'a cessé de placer l'infrastructure routière parmi les grandes priorités du pays.

Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain. Il est dense dans la frange nord du pays, assez lâche sur les hauts plateaux et se réduit dans le sud.

En 2016 sa longueur est de 133741 km qui se répartissent selon la maîtrise d'ouvrage en :

- 30.932 km de routes nationales
- 27.356km chemin de wilaya
- 70.908 km chemin communale
- Rocades et routes express : 3400km
- Ouvrage d'art : 10000 unités [1]

Le réseau routier est en plein développement grâce au programme de modernisation des transports routier et ferroviaire qui prévoit la réalisation de l'Autoroute Est-Ouest de (1216 km) l'autoroute des hauts plateaux de (1 330 km), et l'autoroute nord-sud (2200km).

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

1.3 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.

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 figures (1.1) et (1.2) ci-après présentent respectivement une coupe de chaussée revêtue du type chaussée permanente et une coupe de chaussée non revêtue du type chaussée provisoire ou piste d'accès.

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.

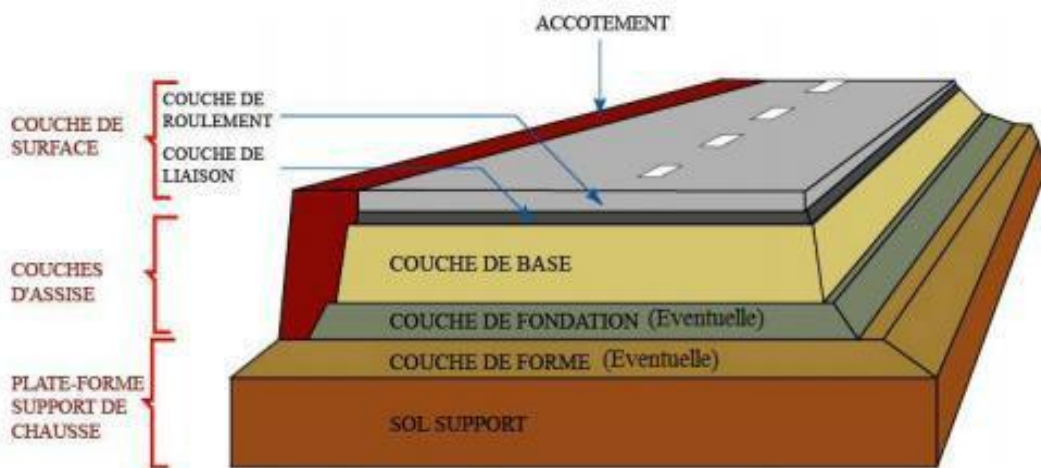


Figure 1.1: Coupe d'une structure de chaussée revêtue et terminologie des différentes couches

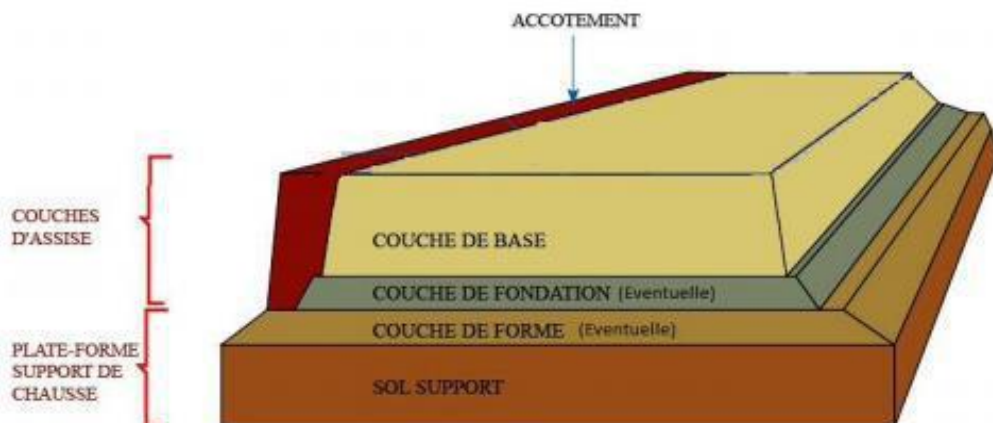


Figure 1.2 Coupe d'une structure de chaussée non revêtue

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

1.3.1 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 décompactage 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.

1.3.2 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 transmise à la couche de fondation.

1.3.3 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.

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

b. Couche de liaison :

Assure l'adhérence entre la couche de roulement et la couche de base. [2]

1.4 Différents types de structure de chaussée :

Il existe plusieurs types de structure de chaussée dans les réseaux routiers et autoroutiers.

Elles sont classées selon la nature des matériaux, leur localisation dans la structure de chaussée, le niveau de trafic et le climat.

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 30 et 60cm
Bitumineuses Epaisses	Matériaux bitumineux			Epaisseur des couches d'assise comprise entre 15et 40cm
Semi- rigides	Bitumineuse	MTLH		Epaisseur des couches d'assise comprise entre 20 et 50 cm
Rigides	Béton de ciment (15à 40cm d'épaisseur)		-soit en MTLH -soit bitumineuse	Couche de forme en MTLH dispositions particulières (dalle goujonnée ou non, béton armé continu, etc.) a fin d'assurer une continuité mécanique au franchissement d'une fissure due au retrait du béton.
Mixtes	Matériaux bitumineux		MTLH	Rapport se 0,5 entre l'épaisseur de matériaux bitumineux et celle de la structure de chaussée
Inverses	bitumineuse	Grave recomposée et humidifiée GRH	MTLH	Epaisseur de la GRH (environ 120mm)
Composites	-béton bitumineux très mince(BBTM) -enduit superficiel(ES)			Epaisseur de GB de 5 à 10 cm

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

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

1.5.1 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 :

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

Les contraintes verticales élevées engendrent par leur répétition des déformations plastiques qui se répercutent en déformations permanentes à la surface de la chaussée.

La couverture bitumineuse subit à la base des efforts répétés de traction-flexion. L'évolution la plus fréquente des chaussées souples se manifeste d'abord par l'apparition de déformations de type orniérage et affaissements qui détériorent les qualités des profiles en travers et en long. Les sollicitations répétées de flexion alternée dans la couverture bitumineuse entraînent une détérioration par fatigue, sous forme de fissures d'abord isolées, puis évoluant peu à peu vers le faïençage. Le comportement mécanique de ce type des chaussées peut être schématisé sur la figure 1.3 [3]

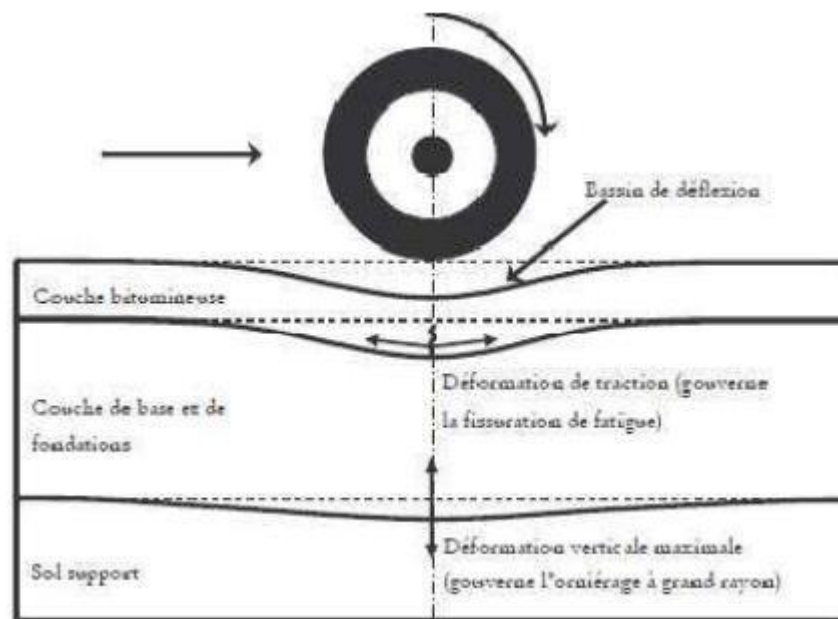


Figure 1.3: Fonctionnement d'une chaussée souple

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

Avantages

- Structure économique

Inconvénients

- E faible de 100 à 500MPa
- Faible rigidité
- Epaisseur élevée

1.5.2 Les chaussées bitumineuses épaisses :

Ces structures se composent d'une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base et fondation). L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40cm.

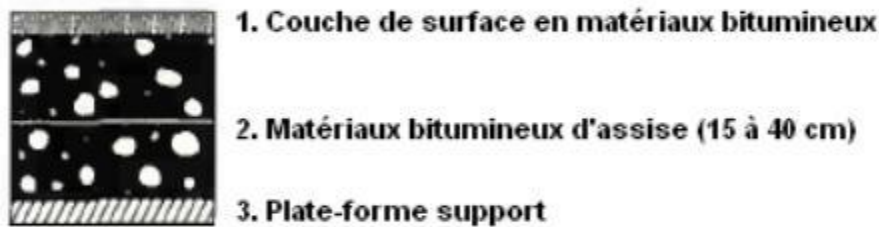


Figure 1.4: Chaussées bitumineuses épaisses

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.

Avantages :

- E plus élevé : E de 1000 à 15000 Mpa
- Dosage en liant faible (3 à 6%)

Inconvénients :

- Module dépend de la température à 40°C 1/10 du module à 10°C

1.5.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques « semi-rigides » :

Elles comprennent une couche de surface bitumineuse d'épaisseur 6 à 14cm sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques de 20 à 50cm.

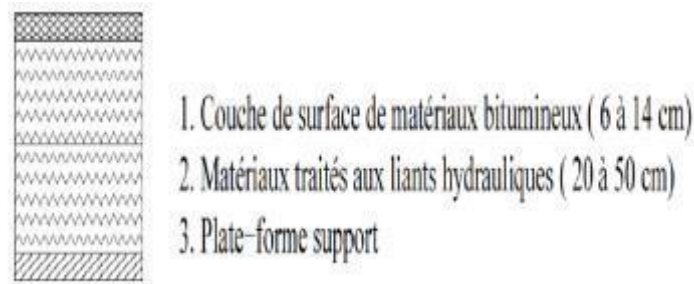


Figure 1.5: Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.

La grande rigidité des couches d'assises traitées 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 horizontal et les centimètres supérieurs de l'assise traitée sont 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.

Avantages

- E encore plus élevé : E de 25000 Mpa
- Caractéristiques mécaniques élevées

Inconvénients

- Fissures possibles
- Courbe de fatigue plate qui ne nécessite aucune erreur de dimensionnement et pas de surcharges.

1.5.4 Les chaussées en béton de ciment « Rigides » :

Les chaussées rigides sont des chaussées en béton de ciment d'épaisseur de 15 à 40cm recouvertes ou pas par une couche de roulement mince en matériaux 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.

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

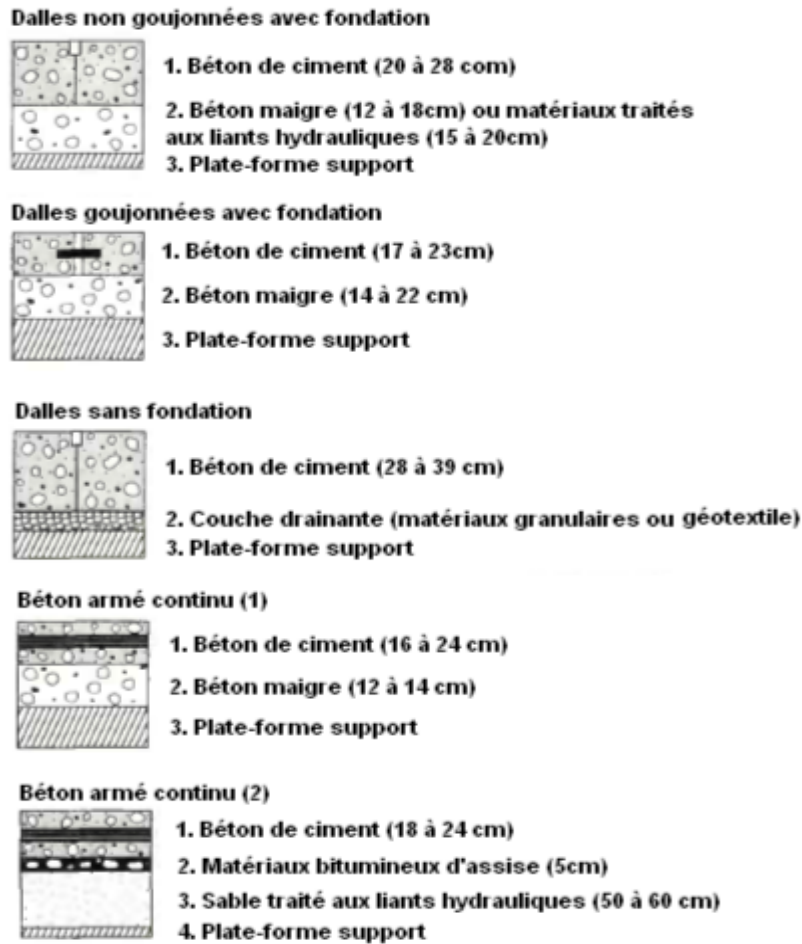


Figure 1.6: Différents types d'une chaussée rigide

Les efforts induits par le trafic sont repris en flexion par le béton fortement rigide. Le retrait de prise et le retrait thermique sont contrôlés par les joints sciés ou moulés entre dalles. Les déformations de cambrure induites par les gradients thermiques modifient les conditions d'appui des dalles sur leur support, et donc la majoration des effets du trafic.

1.5.5 Chaussées à structures mixte :

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

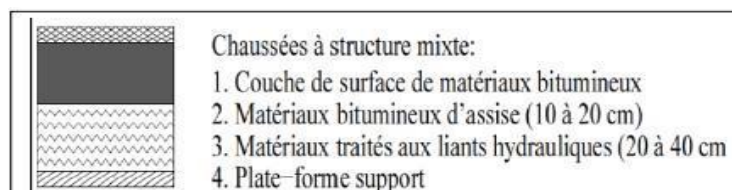


Figure 1.7: Chaussées à structures mixte.

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

Les couches bitumineuses assurent la continuité, ralentissent la remontée des fissures transversale de la couche de fondation et diminuée les contraintes de flexion a la base de a fondation.

La couche traité aux liants hydraulique diffuse et diminue les efforts transmis au dol support.

1.5.6 Chaussées à structures inverse:

Elles se composent d'une couche de surface et d'une couche de base en matériaux bitumineux de 15cm d'épaisseur, sur une couche en grave non traitée d'environ 12cm, reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques qui joue également le rôle de couche de fondation.

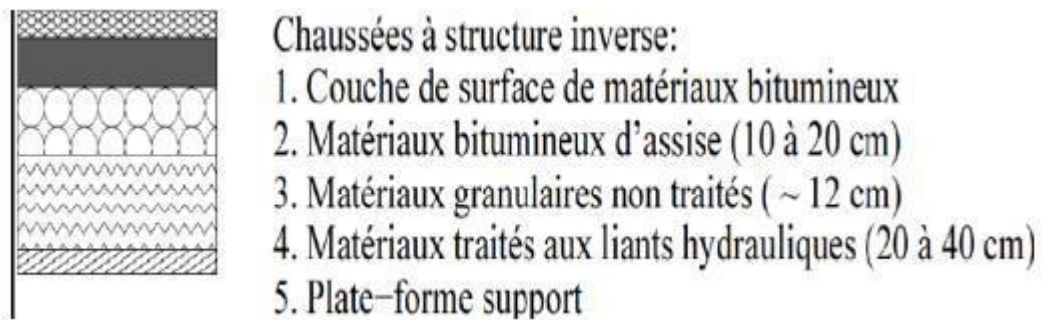


Figure 1.8:Chaussées à structures inverse.

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 analogue avec la structure mixte, et en cas d'infiltrations d'eau, il y a le risque d'orniérage de la GNT.

1.5.7 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.

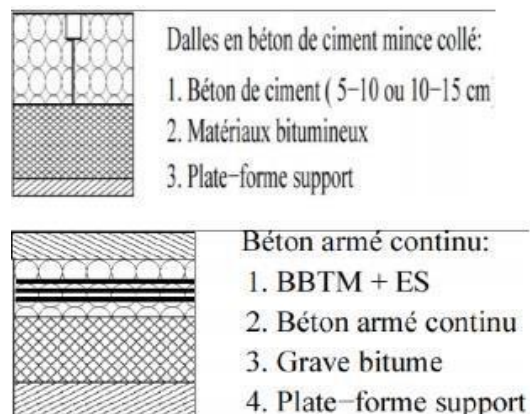


Figure 1.9:Chaussées à structures composite

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

Deux nouvelles structures ont été développées : le Béton de Ciment Mince Collé (BCMC) et le Béton Armé Continu sur Grave Bitume (BAC/GB); l'intérêt du BCMC réside dans l'adhérence de la couche de béton à la structure en matériaux bitumineux.

Sous l'influence du chargement 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.

Dans la structure BAC/GB, 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 principal des armatures dans le BAC est de contrôler la fissuration transversale sans 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) (2,5 cm d'épaisseur).cette adhérence présente l'intérêt de cette technique.

1.6 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.

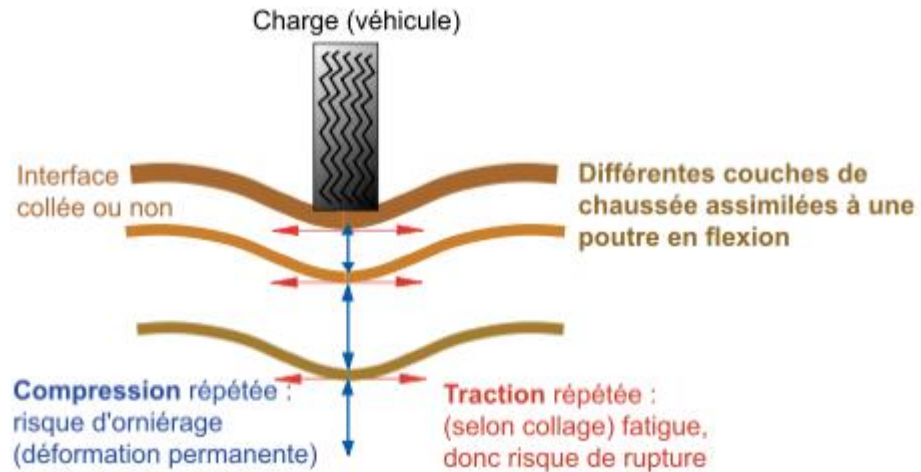


Figure 1.10: Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application

1.6.1 Principe de dimensionnement de la structure de chaussée :

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 [4]

1.6.1.1 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

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

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.

1.6.1.2 Méthodes théoriques [5]

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).

1.6.1.2.1 Modèle de Boussinesq (1885):

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel, on peut considérer que la pression se répartit de la même manière que dans un sol. Ceci conduit à considérer la structure de chaussée comme un massif semi-infini et proposer une méthode simple de dimensionnement. Avec l'hypothèse d'isotropie et d'élasticité linéaire, ce problème a été résolu par [Boussinesq, 1885]. Pour une charge circulaire de rayon a et de pression q_0 , la contrainte σ_z à l'aplomb du cercle est maximum. A la profondeur z , elle a la valeur :

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \frac{z^2}{a^2}\right)^{3/2}} \right]$$

Grâce aux résultats de Boussinesq, on peut trouver la profondeur H du sol où la pression verticale a été suffisamment diffusée pour ne pas dépasser une valeur admissible. On peut ensuite faire correspondre une épaisseur de chaussée H' à l'épaisseur H par une règle simple tenant compte du module E_1 du corps granulaire et du module E_s du sol support. Autrement dit, nous pouvons écrire :

$$H' = H \cdot f\left(\frac{E_1}{E_s}\right) \quad \text{OU} \quad f\left(\frac{E_1}{E_s}\right) \leq 1$$

La détermination de la fonction f suppose que l'on dispose de modèles bicouches (par exemple modèle de Burmister que nous allons présenter plus loin).

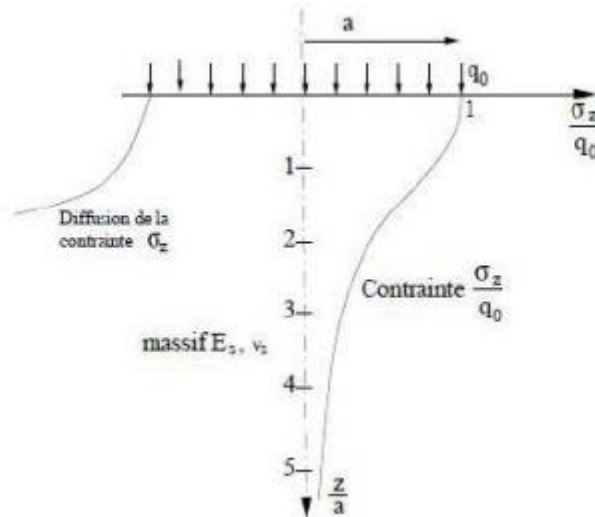


Figure 1.11 : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq [Peyronne et al. 1991]

L'application de ce modèle à l'étude de la fissuration des structures de chaussées présente les inconvénients suivants :

- ce modèle ne peut pas prendre en compte des discontinuités ;
- la zone d'application est limitée (seulement pour les cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel) ;
- il ne peut pas modéliser les structures multicouches.

1.6.1.2.2 Le modèle monocouche de chaussée de Westergaad (1926)

Harald Westergaad 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 Westergaad 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 Westergaad surestime les contraintes.

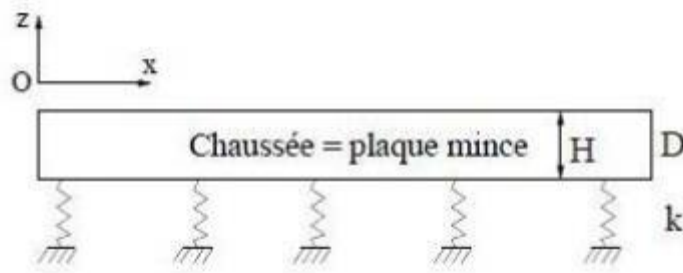


Figure 1.12 : Schéma du modèle de Westergaad

1.6.1.2.3 Modèle bicouche de Hogg (1938)

Le modèle de fondation de Hogg [Hogg, 1938] est schématisé sur la (figure 1.8). La chaussée

représentée par une plaque mince ($E_1; \nu_1$) est posée sur un massif infini de type Boussinesq ($E_s; \nu_s$). Avec l'hypothèse que la chaussée glisse parfaitement sur son support, il ne reste que deux inconnues principales du problème à déterminer : u_z et σ_{zz} à l'interface chaussée-sol. Les deux relations de continuité pour ces deux inconnues sont fournies d'une part par les équations de la plaque mince (cf. équation 1.3), d'autre part par les équations de Boussinesq d'un massif élastique semi-infini (équation 1.6).

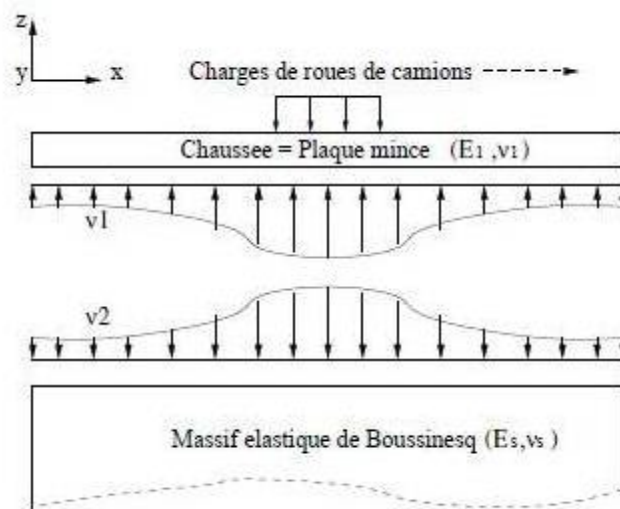


Figure 1.13 : Schéma du modèle de Hogg [Hogg, 1938].

Ce modèle présente encore les inconvénients suivants :

- Les cisaillements ne sont pas pris en compte à l'interface chaussée-sol, ce qui influence beaucoup les résultats.
- Il ne peut pas représenter un complexe de type multicouche de chaussée.

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

1.6.1.2.4 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 multicouche 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.

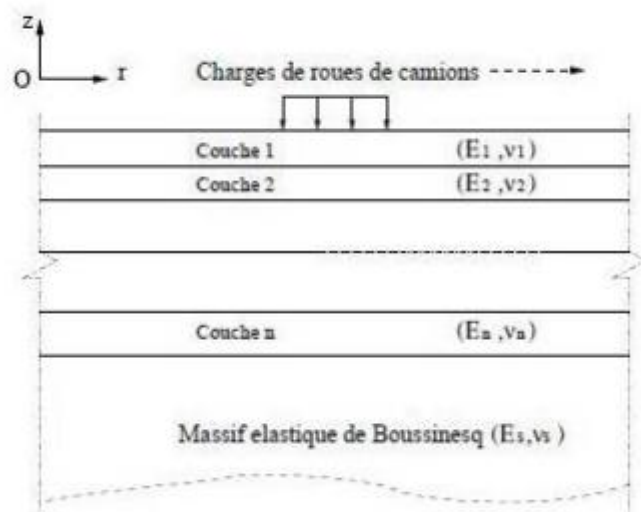


Figure 1.14 : Schéma du modèle de Burmister [Burmister. 1943]

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

1.6.1.2.5 Modèle de Jeuffroy (1955)

Le modèle de Jeuffroy [Jeuffroy, 1955] est schématisé sur la figure 1.10. Ce modèle est une combinaison des modèles de Hogg et de Burmister. Il se compose d'une plaque mince se posant sans frottement sur une couche élastique de Burmister. Le sol est un massif semi infini. Avec cette combinaison, le modèle permet d'y introduire des discontinuités verticales dans la première couche de chaussée (chaussée en dalle de béton par exemple). La deuxième couche est traitée comme un solide élastique

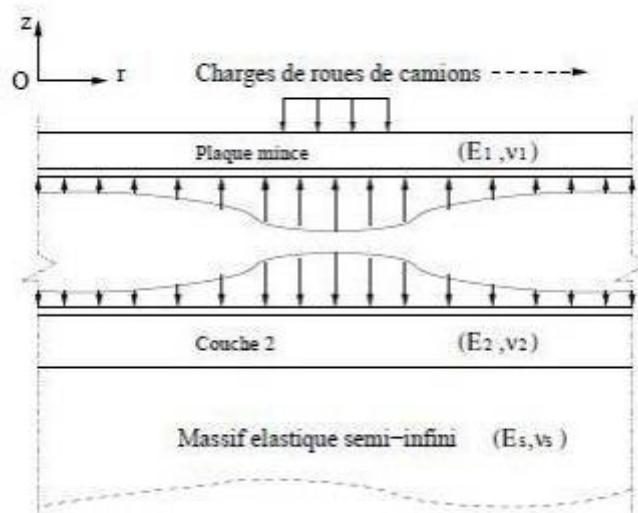


Figure 1.15: Schéma du modèle de Jeuffroy [Jeuffroy.1955]

1.6.1.3 Méthodes semi empiriques

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)

1.6.1.3.1 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

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

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.

1.6.1.3.2 Méthode algérienne de dimensionnement

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).

Chapitre 1 : Notion sur les chaussées

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.

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

1.7 Conclusion :

En résumé, Une chaussée se présente comme une structure composite réalisée par empilements successifs de couches de matériaux granulaire. il existe plusieurs type de chaussées selon LCPC :

- Chaussée Souples
- Chaussée Bitumineuses Epaisses
- Chaussée Semi- rigides
- Chaussée Rigides
- Chaussée Mixtes
- Chaussée Inverses
- Chaussée Composites

Chapitre 2:

Dégradations des chaussées souples

2 Chapitre 2 : dégradations des chaussées souples

2.1 Introduction :

L'évaluation des chaussées repose sur une série de mesures et d'observations visuelles qui permettent d'établir la condition de la structure, de diagnostiquer les causes des dégradations apparentes et de cibler les solutions les plus appropriées. [6]

Dans ce chapitre nous étudions d'une manière générale les différents types des dégradations observées dans les chaussées souples, leurs causes et des techniques de réparation.

2.2 Les différents types des dégradations et leurs causes :

Les dégradations dans les chaussées peuvent être regroupées en quatre familles qui sont :

- La famille des déformations
- La famille des fissurations
- La famille des arrachements
- La famille des dégradations en milieu urbain

Pour chaque dégradation, les trois niveaux de sévérité incluent les notions suivantes :

Faible : Ce niveau correspond au stade initial de la dégradation : les premiers indices apparaissent parfois de façon intermittente sur un segment de route et l'évaluateur doit être attentif pour y déceler les symptômes de détérioration. Ce niveau est souvent difficile à percevoir pour un observateur se déplaçant en véhicule à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. À la vitesse maximale permise, le confort au roulement n'est pas altéré ou l'est très peu.

Moyen : Ce niveau désigne une dégradation continue et facilement perceptible pour un observateur se déplaçant à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. À la vitesse maximale permise, le confort au roulement est sensiblement diminué par la plupart des dégradations.

Majeur : Ce niveau indique que la dégradation est accentuée et évidente, même pour un observateur se déplaçant à la vitesse maximale permise. Le confort au roulement est généralement diminué et, dans certains cas, la sécurité à la vitesse maximale permise peut être compromise.

2.2.1 La famille des déformations :

Ce sont des dégradations qui entraînent une modification de la chaussée donnant à la surface de cette dernière un aspect différent de celui désiré. Ces déformations qui prennent naissance dans le corps de la chaussée affectent en générale les couches inférieures pour atteindre ensuite la couche de roulement et peuvent se distinguer selon leur forme ou leur localisation comme suit :

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.2.1.1 Ornière à faible rayon :

L'ornière à faible rayon correspond à une dépression longitudinale simple, double et parfois triple, de l'ordre de 250 mm de largeur, située dans les pistes de roues. Le profil transversal de ces dépressions est souvent similaire à des traces de pneus simples ou jumelés.

A. Gravité et étendue :

Faible : la profondeur de l'ornière est inférieure à 10 mm.

Moyen : la profondeur de l'ornière est de 10 à 20 mm.

Majeur : la profondeur de l'ornière est supérieure à 20 mm.

B. Les causes probables :

Les matériaux granulaires constituant l'assise des chaussées souples ont parfois une faible rigidité. Comme la couverture bitumineuse est mince, les efforts verticaux dus au trafic sont transmis au support avec une faible diffusion. Les contraintes verticales élevées engendrent par leur répétition des déformations plastiques qui se répercutent en déformations permanentes à la surface de la chaussée. L'évolution la plus fréquente de ces dégradations se manifeste d'abord par l'apparition des déformations permanentes de type orniérage.

Les causes probables d'orniérage à faible rayon sont :

- Enrobé à stabilité réduite par temps chaud (ex. : bitume trop mou ou surdosage).
- Enrobé trop faible pour bien résister au trafic lourd.
- Compactage insuffisant de l'enrobé lors de la mise en place.
- Usure de l'enrobé en surface (abrasion).



Figure 2.1: Ornières à petits rayons.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.2.1.2 Ornière à grand rayon :

Elle est caractérisée par une dépression longitudinale simple située dans les pistes de roues. La forme transversale de la dépression correspond à celle d'une courbe parabolique très évasé

A. Gravité et étendue

Faible : la profondeur de l'ornière inférieure à 10 mm.

Moyen : la profondeur de l'ornière est de 10 à 20 mm

Majeur : la profondeur de l'ornière est supérieure à 20 mm

B. Causes probables :

Les causes les plus plausibles et les plus fréquentes qui provoquent des ornières à grand rayon sont les suivantes :

- Vieillissement (accumulation des déformations permanentes).
- Compactage insuffisant dans les couches de granulaire à la construction
- Capacité structurale insuffisante de la chaussée.
- Mauvais drainage des matériaux granulaires de la chaussée (ex: période de dégel).
- Usure.

Les ornières ont des origines variées, plus elles sont étroites, plus la couche de chaussée à incriminer est voisine de la surface. Elles peuvent avoir leur siège dans les couches d'enrobés lorsque celles-ci ont une stabilité insuffisante. Mais elles peuvent aussi avoir leur siège dans le sol naturel lui-même lorsque la chaussée est mince et dépourvue de revêtement épais.

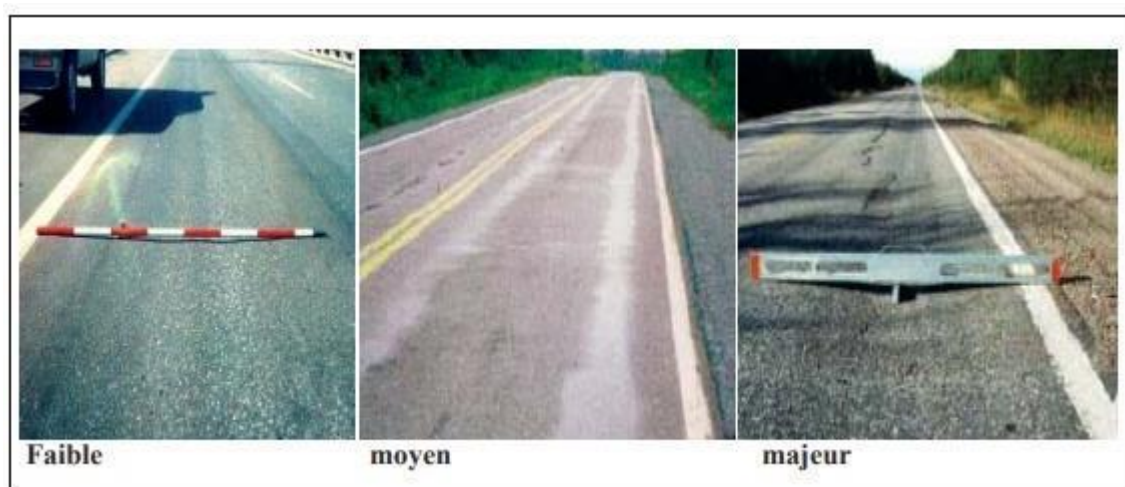


Figure 2.2:ornières à grands rayons.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.2.1.3 Affaissement :

C'est une distorsion du profil en bordure de la chaussée ou au voisinage de conduites souterraines ou dépression très prononcée et souvent assez étendue se localisant soit en rive, soit en pleine largeur

A. Gravité et étendue :

Faible : il est défini par une dénivellation dont la profondeur est inférieure à 20 mm sous la règle de 3 m. À la vitesse maximale permise, la sécurité n'est pas compromise et l'effet sur le confort au roulement est négligeable

Moyen : ici la dénivellation a une profondeur se situant entre 20 et 40 mm sous la règle de 3 m. À la vitesse maximale permise, la sécurité est peu compromise et le confort au roulement est modérément diminué.

Majeur : il correspond à une dénivellation dont la profondeur est supérieure à 40 mm sous la règle de 3 m. À la vitesse maximale permise, la sécurité est compromise et le conducteur doit ralentir. Le confort au roulement est fortement diminué.

B. Causes probables

Les affaissements des chaussées souples sont souvent causés par instabilité du remblai, la présence de matériaux inadéquats ou mal compactés, zone de déblai argileux ou secteurs marécageux, affouillement ou assèchement du sol support, le mauvais état des réseaux souterrains (milieu urbain). Il existe d'autres raisons comme un sous-dimensionnement localisé, la pollution du corps de chaussée, la construction localement défectueuse.



Figure 2.3: affaissements.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.2.1.4 Soulèvement différentiel :

Le soulèvement différentiel est défini par le gonflement localisé de la chaussée en période de gel, aussi bien parallèle que perpendiculaire à l'axe de la chaussée.

A. Gravité et étendue :

Faible : Dénivellation progressive dont la hauteur est inférieure à 50 mm. À la vitesse maximale permise, la sécurité n'est pas compromise et l'effet sur le confort au roulement est négligeable.

Moyen : Dénivellation progressive dont la hauteur se situe entre 50 et 100 mm. À la vitesse maximale permise, la sécurité est peu compromise et le confort au roulement est modérément diminué.

Majeur : Dénivellation progressive dont la hauteur est supérieure à 100 mm ou dénivellation brusque quelle que soit sa hauteur. À la vitesse maximale permise, la sécurité est compromise et le conducteur doit ralentir. Le confort au roulement est fortement diminué.

B. Causes probables :

Les causes les plus plausibles sont :

- Infrastructure gélive, phénomène hivernal récurrent.
- Matériaux sensibles à l'humidité, phénomène permanent.
- Nappe phréatique élevée et présence d'eau aux abords de la chaussée.
- Hétérogénéité des matériaux ou transition inadéquate dans la chaussée.
- Conduites souterraines à faible profondeur (milieu urbain).



Figure 2.4 : Soulèvement différentiel

2.2.1.5 Désordre de profil :

Le désordre de profil est observé en cas des pentes et géométrie inappropriées favorisant l'accumulation des eaux de ruissellement en flaques sur la surface de la chaussée.

A. Gravité et étendue

Faible : Accumulation d'eau sur une profondeur de moins de 20 mm.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

Moyen : Accumulation d'eau sur une profondeur de 20 à 40 mm.

Majeur : Accumulation d'eau sur une profondeur de plus de 40 mm.

A. Causes probables :

Les phénomènes qui provoquent les désordres de profil sont généralement les points bas non drainés, l'affaissement le long des bordures.

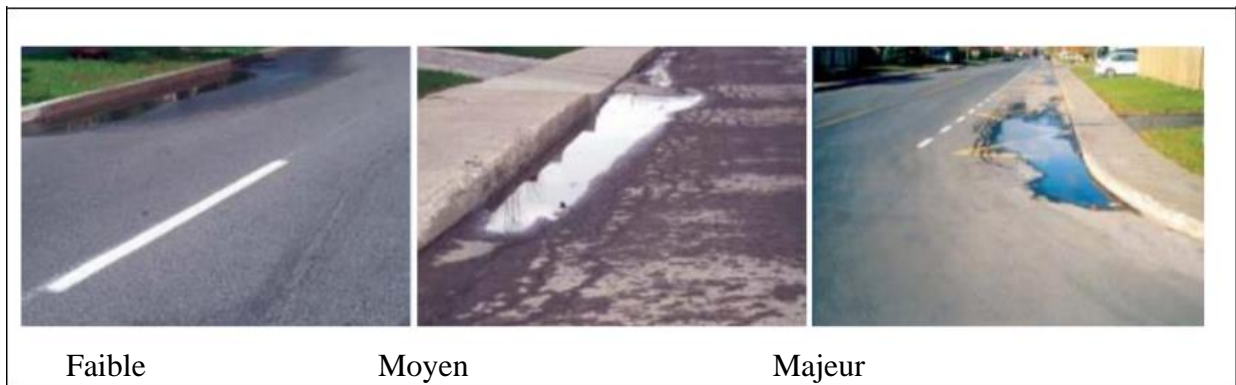


Figure 2.5: Désordre du profil.

2.2.2 La famille des fissurations :

Les sollicitations répétées de flexion alternée dans la couverture bitumineuse d'une chaussée souple entraînent une dégradation par fatigue, sous la forme de fissures d'abord isolées puis évoluant peu à peu vers un faïençage à maille de faible dimension. Les fissurations sont définies comme étant une cassure de revêtement suivant une ligne avec ou sans rupture du corps de chaussée. Elles peuvent intéresser aussi bien la couche de roulement seule, qu'une partie ou la totalité du corps de chaussée.

2.2.2.1 Fissures transversales :

On parle de fissures transversales en cas de rupture du revêtement relativement perpendiculaire à la direction de la route, généralement sur toute la largeur de la chaussée.

A. Gravité et étendue :

Faible : Fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis.

Moyen : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés. Sans être inconfortable, la fissure est perceptible par l'utilisateur.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

Majeur : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure. Le confort au roulement est diminué par les déformations de surface

B. Causes probables :

Les fissures transversales sont causées par les phénomènes ci-contre :

- Retrait thermique.
- Vieillissement et fragilisation du bitume.
- Joint de construction mal exécuté (arrêt et reprise des travaux de pose d'enrobé).
- Diminution de la section du revêtement.

Parfois il ya apparition des glissements de revêtement qui sont des mouvements très importants de la couche de la surface imputable à la fois à un collage insuffisant avec la couche de base et à une stabilité insuffisante de revêtement. Ils s'amorcent par une fissuration diagonale au droit de passage des roues et par des fissures paraboliques franches.

L'eau s'infiltrant alors plus facilement provoque une accélération des phénomènes : épaufures aux lèvres des fissures avec départ des matériaux, puis formation de nids de poule. Si la chaussée est laissée sans entretien, elle évoluerait très rapidement vers une destruction complète.

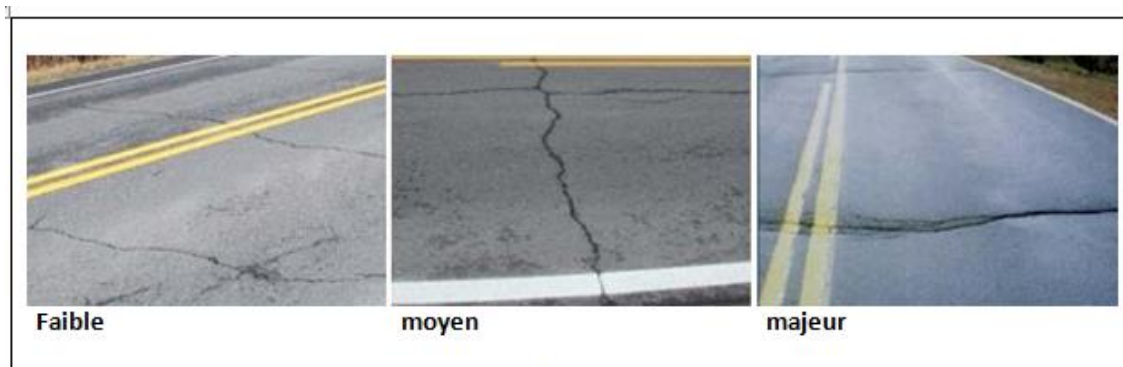


Figure 2.6: Fissures transversales.

2.2.2.2 Fissures longitudinales :

Les fissures longitudinales sont classées en deux catégories :

- Les fissures longitudinales en piste de roues
- les fissures longitudinales hors piste de roues

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

1. Fissures longitudinales en piste de roues

Elles sont caractérisées par la rupture du revêtement parallèle à la direction de la route et située dans les pistes de roues.

A. Gravité et étendue

Faible : Ce niveau faible est défini par fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis.

Moyen : Le niveau moyen se caractérise par fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés. Sans être inconfortable, la fissure est perceptible par l'utilisateur.

Majeur : On parle de niveau majeur quand on est en présence des fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure. On note la présence de fissures en carrelage. Le confort au roulement est diminué par les déformations de surface.

B. Les causes probables

Ces types de fissures sont souvent causées par :

- Fatigue du revêtement (trafic lourd).
- Capacité structurale insuffisante de la chaussée.
- Mauvais drainage des couches granulaires de la chaussée (ex. : pendant le dégel).

En plus, les variations de la température à la surface d'une chaussée provoquent des phénomènes de traction et de contraction qui entraînent les fissures. La chaleur qui ramollit les couches de surface, accélère le vieillissement des produits hydrocarbonés. Le cycle chaleur-froid altère la stabilité des matériaux, et les surfaces bitumineuses cassantes, et donc sujettes à la fissuration et l'effritement.



Figure 2.7: Fissures en piste de roues.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

Fissures longitudinales hors piste de roues :

Elles sont définies par la rupture du revêtement relativement parallèle à la direction de la route, en dehors des pistes de roue.

A. Gravité et étendue

Faible : Il se définit par des fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis

Moyen : Ce niveau moyen fait état des fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés.

Majeur : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure.

B. Les causes probables :

Les fissures longitudinales hors piste de roues sont dues aux phénomènes ci-contre :

- Joint de construction mal exécuté le long de la travée adjacente.
- Ségrégation de l'enrobé à la pose (ex. : centre de l'épandeur).
- Vieillissement du revêtement.
- fatigue avancée de la chaussée ou sous-dimensionnement d'une ou plusieurs couches.
- diminution de portance du sol support (drainage déficient, défaut d'étanchéité)
- mauvais mode de fonctionnement de la structure (couches décollées)
- qualité médiocre de certains matériaux.

Les schémas suivants illustrent ces types de dégradations



Figure 2.8 Fissures longitudinales hors piste de roues.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.2.2.3 Fissures de gel :

Elles correspondent à la rupture du revêtement générant une fissure active sous l'effet du gel, soit rectiligne et localisée au centre de la voie ou de la chaussée, soit d'apparence lézardée sans localisation précise sur la chaussée.

A. Gravité et étendue

Faible : Ce niveau reflète des fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 10 mm. Les bords sont en général francs et bien définis.

Moyen : Il est caractérisé par des fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 10 à 25 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés. Sans être inconfortable, la fissure est perceptible par l'utilisateur

Majeur : Ce sont fissures généralement simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 25 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure. Le confort au roulement est diminué par les déformations de surface.

A. Causes probables

Les fissures de gel sont provoquées par les phénomènes suivants :

- Infrastructure gélive et soulèvements différentiels
- Comportement gélif différentiel.
- Remblai instable.
- Drainage inadéquat.



Figure 2.9: Fissures de gel.

2.2.2.4 Fissures en carrelage :

Les fissures en carrelage sont représentées par la rupture du revêtement sur des surfaces plus ou moins étendues, formant un patron de fissuration à petites mailles polygonales dont la dimension moyenne est de l'ordre de 300 mm ou moins.

A. Gravité et étendue :

Faible : c'est un maillage composé de fissures simples aux bords francs.

Moyen : Maillage composé de fissures simples aux bords faiblement détériorés.

Majeur : Maillage qui est composé de fissures simples aux bords détériorés.

B. Causes probables :

Les causes les plus fréquentes des fissures en carrelage sont :

- Fatigue (ex. : épaisseur de revêtement insuffisante).
- Vieillesse de la chaussée (oxydation et fragilisation du bitume dans l'enrobé).
- Capacité portante insuffisante



Figure 2.10: Fissures en carrelage.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.2.2.5 Fissures en rive :

Elles correspondent à des ruptures en lignes droites ou en arcs de cercle, le long de l'accotement ou de la bordure, ou décollement du revêtement le long de la bordure.

A. Gravité et étendue

Faible : il se définit par fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis.

Moyen : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés.

Majeur : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure.

B. Causes probables :

Les fissures en rive sont dues aux phénomènes ci-contre :

- Manque de support latéral (ex. : accotement étroit et pente de talus abrupte).
- Discontinuité dans la structure (ex. : élargissement).
- Apport latéral d'eau de ruissellement dans la structure de la chaussée (milieu urbain).

Assèchement du sol support.



Figure 2.11: Fissures en rive.

2.2.2.6 Faiénçage :

Le faiénçage est par définition un ensemble de fissures plus ou moins rapprochées formant des mailles. Elles sont dites à mailles fines ou peaux de crocodiles lorsque le coté varie de 10 à 40 cm et à mailles larges au delà de 40 cm. Ce le nom donné au réseau de fissures qui apparaissent parfois sur le revêtement en enrobés lorsque ceux-ci sont placés sur une chaussée trop déformable. Il s'agit d'une rupture du revêtement

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

par fatigue qui met en cause l'épaisseur du revêtement compte tenu des charges roulantes, de leur fréquence et de la qualité de chaussée.

A. Gravité et étendue

Le niveau de sévérité du faïençage dépend de l'évolution des fissures qui le composent. Cette évolution est caractérisée par une extension progressive du phénomène en surface qui définit le dernier stade avant désordres graves.

A. Causes probables

Les causes possibles sont la fatigue excessive de la chaussée, due à un sous dimensionnement, à une mauvaise qualité de l'ensemble de la structure ou d'une seule des couches de la chaussée :

- Durcissement et retrait de l'enrobé.
- Rupture de la couche superficielle due aux sollicitations de la circulation, à la fatigue et au vieillissement dans le cas d'une trop faible épaisseur.
- Mauvais accrochage de la couche de roulement sur la couche de base.
- Dégradation de couches inférieures (couche de base principalement).
- Perméabilité de la couche de base inférieure à celle de la couche de roulement.



Figure 2.12: Faïençage.

2.2.3 La famille des arrachements

Il s'agit des désordres affectant en général la couche de roulement.

2.2.3.1 Désenrobage :

Le désenrobage est l'érosion et perte des gros granulats en surface produisant une détérioration progressive du revêtement.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

A. Gravité et étendue :

Faible : c'est une perte tout juste observable du mastic ou des gros granulats, principalement dans les pistes de roues.

Moyen : Perte facilement observable du mastic laissant les gros granulats très apparents ou perte des gros granulats laissant un patron régulier de petites cavités généralisées à toute la surface.

Majeur : il est défini par une surface entièrement érodée et dégradation accentuée dans les pistes de roues (début d'orniérage par usure).

B. Causes probables

Le désenrobage est causé par les phénomènes suivants : usure par trafic intense, Sous dosage du bitume, utilisation d'agrégats hydrophiles, compactage insuffisant, surchauffe ou vieillissement de l'enrobé (oxydation et fragilisation), sollicitations accrues en zone de virage et de freinage (milieu urbain), adhésivité liant - granulat insuffisante, mise en œuvre par conditions météorologiques défavorables, et la stagnation d'eau sur la chaussée.



Figure 2.13: Désenrobage.

2.2.3.2 Pelade :

C'est l'arrachement par plaques de l'enrobé de la couche de surface.

A. Gravité et étendue :

Faible : Pelade ayant la surface d'arrachement inférieure à 0,5 m carré.

Moyen : Pelade dont la surface d'arrachement est de 0,5 à 1,0 m carré.

Majeur : Pelade ayant la surface d'arrachement supérieure à 1,0 m carré.

B. Causes probables :

- Mauvaise adhérence de la couche de surface (ex. : manque de liant d'accrochage, incompatibilité chimique, saleté entre les couches).
- Épaisseur insuffisante de la couche de surface.
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic



Figure 2.14: Pelade.

2.2.3.3 Nid de poule :

Le nid-de-poule est la manifestation finale d'une combinaison de différents problèmes. Il est caractérisé par une désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables.

A. Gravité et étendue

Faible : il est décrit par le nid-de-poule dont le diamètre est moins de 200 mm.

Moyen : dans ce cas le nid-de-poule possède un diamètre de 200 à 300 mm.

Majeur : à ce niveau le nid-de-poule a un diamètre de plus de 300 mm.

B. Causes probables

Les nids de poules sont provoqués par la faiblesse ponctuelle de la fondation, l'insuffisance de l'épaisseur du revêtement, le défaut de portance (drainage, poche d'argile, etc.). Ils peuvent aussi avoir lieu lorsque la chaussée est fortement sollicitée par le trafic lourd, en cas d'un défaut localisé de la couche de surface ou de base qui est souvent dû à une mauvaise qualité à la fabrication ou à la mise en œuvre des matériaux.



Figure 2.15: Nid-de-poule.

2.2.3.4 Ressuage :

Le ressuage est une remontée de bitume à la surface du revêtement, accentuée dans les pistes de roues

A. Gravité et étendue

Faible : dans un tel cas le ressuage est surtout détectable dans les pistes de roues par l'apparition d'une bande de revêtement plus foncée.

Moyen : ici Les pistes de roues sont bien délimitées par la couleur noire du bitume.

Majeur : il correspond à un aspect humide et luisant de la plus grande partie de la surface. La texture de l'enrobé est impossible à discerner. Le bruit des pneus est similaire à celui produit sur un revêtement mouillé. La plus grande partie de la surface est affectée.

B. Causes probables

Le ressuage est causé par : Surdosage du bitume, effet combiné de la température élevée du revêtement et des sollicitations du trafic, excès de liant d'accrochage, formulation d'enrobé inadaptée aux sollicitations.



Figure 2.16: ressuage.

2.2.4 Dégradations en milieu urbain

2.2.4.1 Fissuration autour des regards et des puisards :

Elle est décrite par la rupture du revêtement suivant un tracé circulaire et/ou radial

A. Gravité et étendue

Faible : Fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis.

Moyen : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés. Sans être inconfortable, la fissure est perceptible par l'utilisateur.

Majeur : Fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure. Le confort au roulement est diminué par les déformations de surface.

B. Causes probables

Ces fissurations sont produites par la consolidation ou tassement de la chaussée, les cycles de gel et de dégel, la désagrégation de la cheminée par la saumure, les impacts dynamiques, la perte de matériaux autour de la structure.



Figure 2.17: Fissuration autour des regards et des puisards.

2.2.4.2 Coupe et tranchée :

C'est une Fissuration ou un affaissement dans la tranchée ou dans son voisinage.

A. Gravité et étendue

Faible: il correspond à une dénivellation inférieure à 20 mm et/ou fissure simple dont l'ouverture est inférieure à 5 mm et dont les bords sont en général francs et bien définis.

Moyen : c'est une dénivellation de 20 à 40 mm et/ou fissure simple ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés.

Majeur : à ce niveau la dénivellation est de plus de 40 mm et/ou fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés.

B. Causes probables

Les causes possibles sont :

- Le Compactage insuffisant des matériaux de remblayage de la tranchée.
- L'hétérogénéité des matériaux de tranchées et celles des chaussées existantes.
- Le relâchement des contraintes produit par une perte de support latéral dans la tranchée.
- Le remblayage incomplet sous les bords du revêtement.
- Le manque d'étanchéité du joint de coupe.



Figure 2.18: Coupe et tranchée.

2.2.4.3 Dénivellation des regards et des puisards :

C'est une Inégalité entre la surface du revêtement et le dessus d'un puisard ou d'un regard

A. Gravité et étendue

Faible : il est défini par une dénivellation de moins de 20 mm.

Moyen : on observe dans ce cas une dénivellation de 20 à 40 mm.

Majeur : ici la dénivellation est de plus de 40 mm.

B. Causes probables

Les causes les plus probables sont les suivants.

- Consolidation ou tassement de la chaussée.
- Cycles de gel et de dégel engendrant des déformations permanentes.
- Désagrégation de la cheminée en présence de saumure.
- Impacts dynamiques cumulant des déformations permanentes.
- Perte de matériaux autour de la structure.



Figure 2.19: Dénivellation des regards et des puisards.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.3 Maintenances des chaussées souples :

Il s'agit essentiellement de réparations ponctuelles exécutées en régie, soit pour éviter un risque d'accident dû à la formation d'une cavité dans la chaussée dénommée communément "nid de poule", ou à la présence d'une déformation ponctuelle importante, une ornière longitudinale par exemple, soit pour assurer la conservation du patrimoine, en évitant la pénétration d'eau dans un nid de poule.

Du point de vue de l'entretien, on considère habituellement deux types d'interventions liées à l'importance des dégradations et aux moyens à mettre en œuvre :

- L'entretien courant.
- L'entretien périodique ou gros entretien.

2.3.1 Entretien courants :

Il s'agit d'intervenir souvent en amont pour limiter l'aggravation des désordres. Ce type d'entretien est traité en règle générale par les gestionnaires de la voirie, ou sous-traité à des entreprises privées.

2.3.1.1 Purge :

Elle consiste à substituer tout ou partie de matériaux du corps de chaussée par des matériaux de meilleure qualité. On distingue la purge superficielle qui consiste à remplacer une partie des matériaux, et la purge profonde où tous les matériaux de l'assise sont remplacés. C'est une opération onéreuse qui nécessite une haute qualité de réalisation pour assurer sa durabilité.

Elle débute par un repérage, puis par un découpage franc de bords à l'aide de scie ou fraiseuse. Après avoir éliminé les matériaux pollués, viennent les phases de fraisage de la fouille, de compactage, puis le remplissage de fond de fouille. Enfin on procède à un compactage intense et à une imperméabilisation des bords.

Cependant les purges présentent plusieurs inconvénients, notamment dans le cas de chaussées faiblement structurées :

- La faiblesse de la chaussée est souvent généralisée et non localisée. Alors, limiter les traitements structurels aux zones les plus faibles en apparence ne constitue pas une solution à moyen terme. Bientôt après les premières purges, apparaîtront de nouvelles zones dégradées.
- Les purges accentuent l'hétérogénéité longitudinale de la chaussée. Purger de façon conséquente et discontinue des zones de quelques dizaines de m² se

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

traduit par la création de points faibles aux limites entre zones purgées et non purgées, lesquels risquent de s'amplifier sous l'effet des charges dynamiques.

- Retirer localement des matériaux peut induire des perturbations dans l'état hydrique de la chaussée et amener à la création de zones très humides au sein de celle-ci, lesquelles, connues sous le nom de « baignoires », sont très préjudiciables.

2.3.1.2 Bouchage de nids de poule

Les nids de poule sont l'état ultime des dégradations d'une chaussée. Ces arrachements plus ou moins profondes peuvent parfois donner l'impression d'apparaître sur la chaussée quasi spontanément, mais l'évolution peut être très rapide par temps de pluie et, ou, par fort trafic, ils ne peuvent apparaître que sur une chaussée présentant un état de surface et structurel quelque peu insuffisant. De part leur conséquence sur la circulation, les nids de poule nécessitent des interventions d'urgence. Celles-ci consistent à rendre la chaussée son état initial en rebouchant les nids de poule dès la constatation de leur apparition. Pour ce faire on procède par découpage (bords verticaux), élimination des parties non liées par décapage et nettoyage puis viennent la phase de d'accrochage (épandage d'émulsion), remplissage, compactage intense, et enfin traitement de surface.

2.3.1.3 Imperméabilisation de surface

Elle est destinée à éviter que l'eau ne pénètre à l'intérieur du corps de chaussée et à empêcher le départ des matériaux de surfaces. La pénétration d'eau peut être due aux fissures longitudinales de constructions ou transversales de retrait ou encore de faïençage de fatigue, aux arrachements par pelade ou à la porosité de revêtement par usure (vieillesse du liant).

Cette opération consiste à réaliser un enduit superficiel d'usure localisé le plus souvent à l'aide de l'émulsion de bitume et du gravillonnage.

2.3.1.4 Scellement des fissures

Ce sont des techniques d'obturation des fissures qui visent à les rendre étanches. Il existe trois techniques.

- **La pénétration** : elle consiste à introduire par gravité un liant fluide dans le corps de chaussée.
- **Le garnissage** : cette technique permet de couler un produit d'étanchéité
- **Le pontage** : il consiste à épandre un mastic en faible surépaisseur à cheval sur la fissure

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

2.3.1.5 Traitement de ressuage

Cette technique consiste à supprimer les effets néfastes liés à la présence de l'excès de bitume à la surface de la chaussée, en réincorporant des gravillons dans l'excès de liant en

utilisant la méthode de brulage qui consiste à réduire le liant en excès par choc thermique à la lance (chalumeau à gaz), puis à épandre des gravillons et les enchâsser par cylindrage.

2.3.2 Gros entretiens :

Dans cette rubrique, on regroupe généralement des travaux nécessitant des moyens particuliers et disponibles dans les entreprises routières

2.3.2.1 Reprofilage

Il s'agit de redonner à la chaussée un profil en travers correct afin d'évacuer l'eau et un profil en long régulier pour sécuriser et améliorer le confort des usagers, généralement par apport des matériaux.

Il nécessite tout d'abord un repérage, puis un accrochage. Il est préférable d'utiliser le béton bitumineux chaud. Le choix de matériaux dépend de l'épaisseur à reprofiler et du trafic. Par la suite viennent les phases de répandage et compactage. Ces dernières sont suivies par une étape de vérification de la pente (2 à 5% maximum).

2.3.2.2 fraisage- resurfaçage

C'est l'enlèvement d'une épaisseur variable du revêtement existant par fraisage à froid et mise en place d'un nouveau revêtement.

Cette méthode consiste à enlever en tout ou en partie, selon les types des dégradations présentes, la couche d'enrobé bitumineux existante et à la remplacer par une nouvelle couche d'enrobé bitumineux afin de restaurer ou d'améliorer la surface de roulement de la chaussée. L'opération permet aussi de corriger le profil transversal et le longitudinal en effectuant des corrections sur la chaussée fraisée avant de poser la nouvelle couche de surface. Les matériaux utilisés sont les bétons bitumineux, neuf ou recyclé, choisi selon les caractéristiques du projet.

- **Domaines d'utilisation**

La technique permet de corriger les déficiences associées à la texture de surface tel le désenrobage et l'arrachement. Elle permet également la correction de l'aspect non uniforme de la surface revêtue ou des défauts de surface tels que, la pelade, et les ornières de sévérité majeure.

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

- **Restrictions et limites**

Le fraisage est à éviter sur de faible épaisseur du revêtement (moins de 50 mm). Cette technique est déconseillée en cas de fissuration généralisée de sévérité majeure. Aussi cette méthode ne devrait pas être utilisée lorsqu'il y a des soulèvements différentiels sous l'effet du gel ou si la capacité structurale de la chaussée est déficiente.

- **Planification préliminaire et complémentaire**

Il est nécessaire de procéder à l'enlèvement de tout matériau non recyclable, tel que certains scellements de fissures, avant l'exécution des travaux. Le mode opératoire ainsi que la condition mécanique des équipements de fraisage doivent être contrôlés de façon à assurer l'uniformité du profil et des stries de fraisage. La profondeur de réalisation du fraisage doit être telle qu'aucun plan de délaminage du revêtement existant ne se trouve à moins de 25 mm de la surface exposée après l'opération (prévention de la pelade). Le nettoyage de la surface doit être réalisé immédiatement avant la pose du liant d'accrochage.

- **Phases principales de réalisation**

Les principales phases de réalisations sont : installation de la signalisation nécessaire avant les travaux, Scarification de la surface et transport des granulats bitumineux hors du site, balayage de la chaussée, fraisage du revêtement existant sur l'épaisseur prévue, réalisation des réparations localisées, si requise, nettoyage de la surface, pose du liant d'accrochage, pose du nouveau revêtement, Compactage.

- **Essais et contrôles**

L'inspection de la mise en œuvre devrait être effectuée afin de s'assurer de la propreté et cohésion de la surface, de l'uniformité et de la profondeur des stries de fraisage et de l'épaisseur résiduelle du revêtement (minimum de 50 mm).

2.3.2.3 Rechargement

Le rechargement consiste à ajouter à une chaussée existante une nouvelle couche d'enrobé bitumineux communément appelé rechargement simple, ou plusieurs couches d'enrobé bitumineux appelé rechargement lourd.

2.3.2.4 Renforcement

Il consiste à l'application des techniques d'entretien ou de constructions appropriées pour rénover une chaussée dégradée et pour éventuellement améliorer certains de ses

Chapitre 2 : Dégradations des chaussées

caractéristiques fonctionnelles. Il s'agit d'une opération onéreuse qui demande un haut niveau de préparation, une base de données importante et les moyens matériels non négligeables.

2.4 Conclusion :

Pour conclure ce chapitre, il existe quatre familles de dégradation des chaussées qui sont :

- La famille des déformations
- La famille des fissurations
- La famille des arrachements
- La famille des dégradations en milieu urbain

Ces dégradations sont principalement causées par :

- Les efforts verticaux dus au trafic
- Les conditions climatiques (action de l'eau, la température)
- Les malfaçons (sous-dimensionnement par rapport au trafic et sol support, la répartition inadéquate du liant, la contamination des granulats, l'insuffisance de compactage).

Chapitre 3 :
Notion sur les
matériaux
géosynthétiques

3 Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétiques

3.1 Introduction :

Depuis leur apparition dans les années 1960, les géosynthétiques (géotextiles, géomembranes et produits apparentés) sont devenus des matériaux majeurs dans tous les domaines du génie civil (soutènement, protection de bassins d'étanchéité sous les chaussées, tunnels...etc.)

3.2 Définitions :

Un géosynthétique est un produit dont au moins un des constituants est à base de polymère synthétique (polyéthylène, polyamide, polyester ou polypropylène, par exemple) ou naturel. Il se présente sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle. Il est 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 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 [7] :

3.2.1 Les géocellules :

Sont des systèmes de confinement cellulaires tridimensionnels, fabriqués à partir de tissu géotextile perméable. Ils sont mis en place sur site pour former une structure de type nid d'abeilles qui peut être rempli de différents types de sols.



Figure 3.1: 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

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

géogrilles, les géocomposites (produits créés par la combinaison de plus d'un géosynthétique).

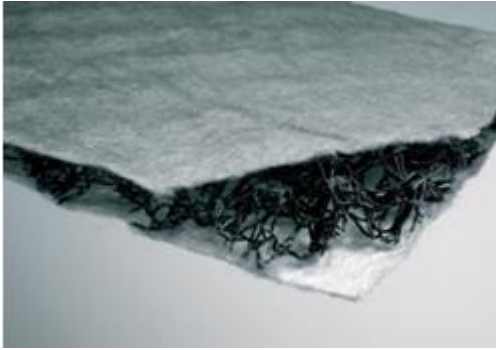


Figure 3.2: Géocomposite



Figure 3.3: Géomembrane.

3.3 Type des géosynthétiques :

Les géosynthétiques peuvent être généralement classés en catégories selon le mode de fabrication. Les dénominations courantes et de brèves descriptions des géosynthétiques sont présentées ci dessous :

3.3.1 Géotextiles :

Matériau textile perméable synthétique peuvent être non tissé, tissé ou tricoté utilisé en contact avec le sol ou d'autres matériaux dans des divers domaines. Les géogrilles sont principalement employées pour le renforcement séparation, filtration, drainage et contrôle de l'érosion.

1.1.1. Géotextile non tissé :

Est un géotextile fait de fibres, de filaments ou d'autres éléments orientés dans un direction spécifique ou de façon aléatoire. et dont la liaison peut être de différents types :

- la liaison mécanique : est faite par entrelacement des fibres, à partir d'une série d'aiguilles qui s'enfoncent dans la nappe qui défile (non tissé aiguilles).
- la liaison chimique : est réalisée soit à l'aide de résines soit d'émulsions qui appartiennent à des décomposées proches des caoutchoucs naturels.
- la liaison thermique : est faite par calandrage (effets conjugués de la chaleur et de la pression) entre deux rouleaux presseurs chauffants. On obtient une fusion partielle des points de contacts des fibres (non tissé thermo soudé).

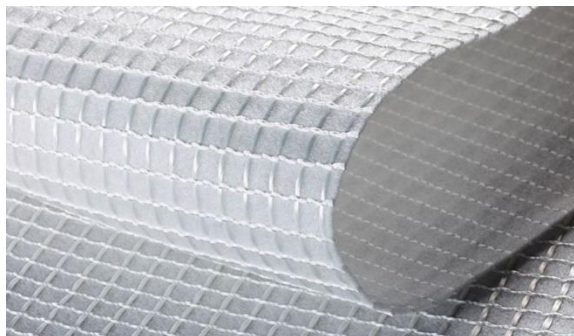


Figure 3.4: Géotextile non tissé.

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

3.3.1.1 Géotextile tissé :

Sont obtenus par l'entrecroisement de deux nappes perpendiculaires de fils ou 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.

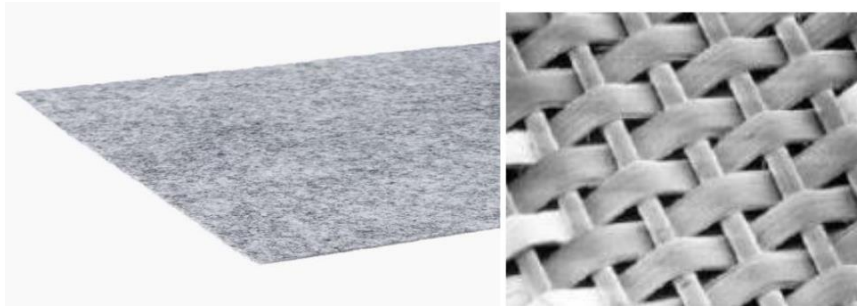


Figure 3.5: Géotextile tissé.

3.3.1.2 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.

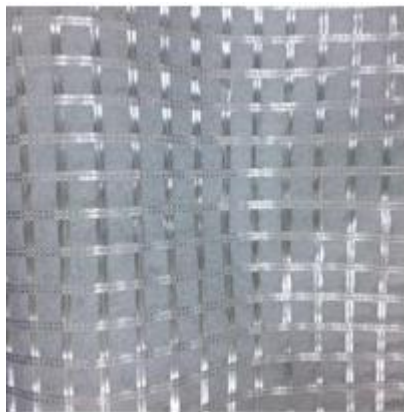


Figure 3.6: Géotextile tricoté.

3.3.2 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).

Les géocomposites empêchent dans le même temps l'apparition de fissures et l'élargissement de celles existantes.



Figure 3.7: la structure d'un géocomposite.

3.3.3 Géomembranes :

Ce sont des feuilles étanches, souples, minces et continues, fabriquées à partir de produits synthétiques ou bitumineux, La principale application des géomembranes est donc de constituer une barrière étanche soit entre un sol et un fluide, soit entre un sol et un gaz, et sont utilisés pour l'installation de stockage de déchets.

3.3.4 Géogrille :

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. [8]

3.4 Les principes fonctions des géosynthétiques :

On distingue communément les fonctions principales suivantes pour un géosynthétique : séparation, filtration, drainage, renforcement, confinement des liquides/gaz ou contrôle de l'érosion. Dans certains cas, le géosynthétique peut remplir une double fonction.[9]

3.4.1 Rôle mécanique :

1.1.2. La séparation :

Pour la prévention du mélange de deux sols ou de matériaux de remblai adjacents de nature différente. Ils sont insérés entre deux matériaux de nature différente. Cette fonction est essentiellement exploitée pour les routes et autoroutes, voies ferrées, pistes forestières.[9]

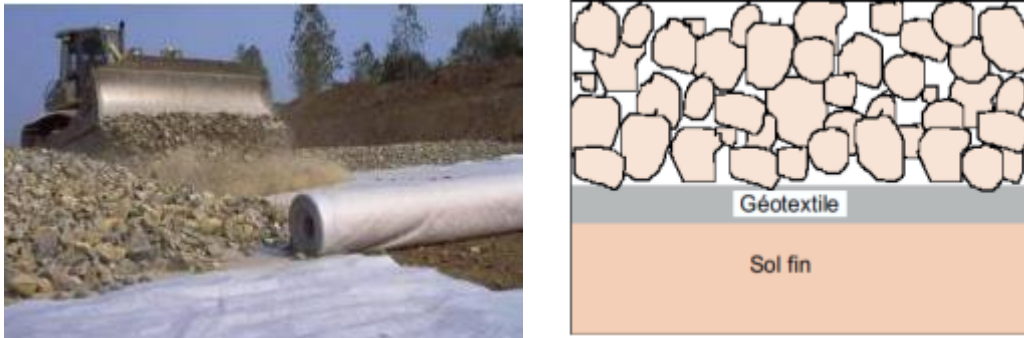


Figure 3.8: Séparation des couches par un géotextile.

3.4.1.1 Renforcement :

Le géosynthétique agit comme élément de renfort au sein d'une masse de sol ou en combinaison avec le sol pour produire un composite ayant des propriétés en déformation et résistance améliorées par rapport à un sol non renforcé. Par exemple, des géotextiles et géogrilles sont utilisés pour augmenter la résistance à la traction d'une masse de sol afin de créer des pentes verticales ou subverticales (murs en sol renforcé). Le renforcement permet la construction de remblais sur sols de fondation très mous et réalisation de pentes de talus de remblais plus raides qu'avec des sols non renforcés. Des géosynthétiques (habituellement des géogrilles) sont également utilisés pour le franchissement de cavités qui peuvent se développer sous des couches support en matériau granulaire (routes et voies ferrées) ou sous les systèmes de couverture dans les installations de stockage de déchets. [9]

3.4.1.2 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. [7]



Figure 3.9: Utilisation dans la protection.

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

3.4.1.3 Anti-érosion :

Le géosynthétique agit pour réduire l'érosion des sols causée par l'impact des pluies et les eaux de ruissellement. Par exemple, des couvertures géosynthétiques temporaires et des matelas géosynthétiques légers définitifs sont disposés sur la surface du sol exposé sur pentes. Des fascines en géotextile sont utilisées pour retenir les particules en suspension des eaux de ruissellement chargées en sédiments. Certains matelas pour le contrôle de l'érosion sont fabriqués avec des fibres de bois biodégradables. [9]



Figure 3.10: Utilisation contre l'érosion.

3.4.2 Rôles hydrauliques :

3.4.2.1 Filtration :

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



Figure 3.11: Utilisation pour filtration.

3.4.2.2 Drainage :

Un géosynthétique permet un écoulement dans son plan de pose, lorsqu'il est utilisé en tant que drain. s le géosynthétique à un drain capable de dissiper les pressions interstitielles, de collecter et de conduire les fluides vers un exutoire. Cette fonction

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

suppose aussi l'existence d'un filtre, géotextile ou autre, limitant l'entraînement de particules de sol. Comme les géotextiles se présentent sous forme de nappes, la surface de contact avec les sols à drainer est grande et donc leur possibilité de captage d'eau est importante.

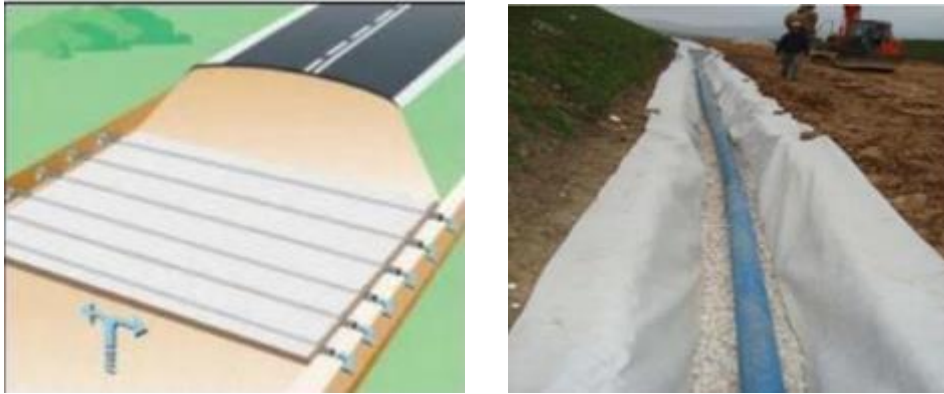


Figure 3.12: Utilisation pour drainage.

3.4.2.3 Barrière :

Le géosynthétique se comporte comme une barrière relativement imperméable aux fluides ou gaz. Par exemple, des géomembranes, des composites en films minces et géotextiles, des géosynthétiques bentonitiques et des géotextiles enduits sur site sont utilisés comme barrière aux fluides pour limiter le débit de fluides ou gaz. Cette fonction est également utilisée dans les couches de chaussées en béton bitumineux, en encapsulage de sols gonflants et confinement de déchets. [9]



Figure 3.13: Utilisation pour Étanchéité.

3.5 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 :

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

- 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

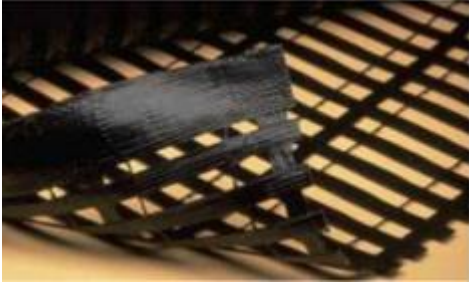


Figure 3.14: Géogrille uniaxiale



Figure 3.15: Géogrille biaxiale.

La grandeur des mailles varie généralement de 1 et 10 cm pour permettre la pénétration les gros éléments du sol, et la création d'un effet d'imbrication de ces constituants dans la géogrille.

3.5.1 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.

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 en 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 :

3.5.2 Avantage :

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

3.5.3 Inconvénients

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

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

2. Renforcement des chaussées par géogridde :

2.1. Principe de renforcement

Renforcer signifie créer une structure de sol ayant des propriétés améliorées, composée d'un sol qui a généralement une résistance à la traction quasiment nulle, mais qui résiste à la compression, et d'un géotextile qui a une bonne résistance à la traction [10]

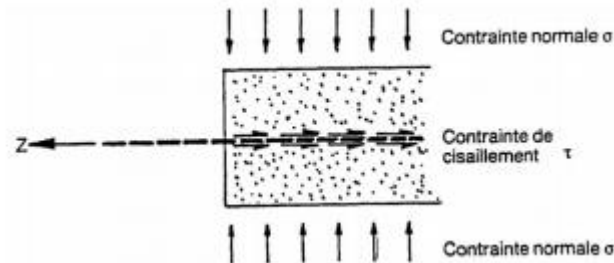


Figure 3.16: renforcement par géotextile.

3.5.4 Mécanismes de renforcement

Le but de ce paragraphe est de décrire l'état des connaissances concernant les mécanismes par lesquels les géosynthétiques fournissent le renforcement de la couche de base (ou couche de fondation) des chaussées souples. Le renforcement des chaussées par du géosynthétique, a été expliqué comme on le détaillera ci-après, à travers trois mécanismes connus à ce jour et qui sont : [11]

- Mécanisme de confinement (autoblocage) latéral de la couche de base ;
- Mécanisme de surface de rupture par cisaillement modifiée ;
- Mécanisme de membrane tendue

3.5.4.1 1. Mécanisme de Confinement (autoblocage) latéral de la couche de base

C'est le mécanisme principal de renforcement attribué aux géosynthétiques (notamment les géogriddes) dans les routes revêtues ou non revêtues

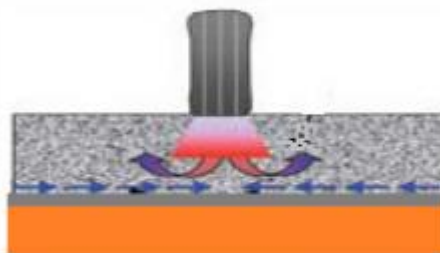


Figure 3.17 Mécanisme de Confinement (autoblocage) latéral de la couche de base

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

en 1999, Perkins attribut quatre avantages au confinement du matériau de couche de base pour les routes revêtues et Giroud et Han (2004), confirment que ces quatre avantages existent également pour les routes non revêtues :

a. Empêchement de l'étalement latéral de l'agrégat de la base:

sous l'action des charges de trafic les deux matériaux ont tendance à se déplacer latéralement sauf s'ils sont retenus par le géosynthétique alors les deux matériaux sont cisailés sur leur interface. L'interaction entre le sol et le géosynthétique permet le transfert de la charge de cisaillement du sol vers une contrainte de traction dans le géosynthétique, donc la rigidité de traction du géosynthétique limite les tensions latérale dans le sol.

b. . Augmentation de la rigidité de l'agrégat de la couche de base:

La contrainte de cisaillement développée entre l'agrégat de la couche de base et le géosynthétique permet une augmentation de la contrainte de confinement latéral dans la base. Les matériaux granulaires montrent, généralement, une augmentation du module élastique avec une contrainte de confinement accrue. Un deuxième mécanisme de renforcement de la base résulte d'une augmentation de la rigidité de l'agrégat de la couche de base, quand une interaction adéquate se développe entre la base et le géosynthétique.

c. Amélioration de la distribution verticale des contraintes sur le sol de fondation

En général, la contrainte verticale dans le sol de fondation directement sous le géosynthétique et sous la charge d'application devrait diminuer à mesure que la rigidité de la couche de base augmente. Ce confinement des agrégats aussi augmente la résistance et le module, phénomène qui à son tour fait diminuer la contrainte de compression sur l'infrastructure et répartissant mieux la charge sous la pression des roues, signifiant que la déformation à la surface sera plus faible et plus uniforme

d. Réduction des contraintes de cisaillement dans le sol de fondation :

On s'attend à ce que la déformation de cisaillement transmise de la couche de base au sol de fondation diminue, puisque, le cisaillement de la base transmet des efforts de tension au renforcement

Dans les routes non renforcées, si la contrainte verticale sur la fondation dépasse la limite élastique du sol, une partie limitée ou cisaillement ' local ' permanent se produit et se développe. Le renforcement adéquat entre la couche de base et le sol de fondation empêche le développement et la croissance des zones locales de cisaillement et permet au sol de fondation de supporter des contraintes proches de la limite de plasticité tout en agissant comme si, il est toujours dans sa limite d'élasticité (Giroud et Noiray 1981). Il est important de comprendre que les contraintes de cisaillement transmises de la couche de base au sol de fondation peuvent être orientées à l'extérieur ou vers l'intérieur. Selon un résultat classique de la théorie de plasticité, les contraintes de cisaillement

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

centrifuges diminuent la capacité portante du sol de fondation tandis que les contraintes de cisaillement centripètes augmentent la capacité portante du sol de fondation. Les contraintes de cisaillement induites par les charges des véhicules dans les chaussées non renforcées, tendent à être orientées vers l'extérieur, ce qui diminue la capacité portante du sol de fondation.

Giroud et Han (2004a) soulignent que l'enchevêtrement entre la géogridde et l'agrégat de la couche de base (figure 3.1) a, notamment pour conséquence, deux effets bénéfiques : 1) le mouvement latéral de l'agrégat de la couche de base est réduit ou éliminé et, en conséquence, aucune contrainte de cisaillement centrifuge n'est transmise au sol de fondation ; 2) la surface inférieure de la couche de base, dont l'agrégat confiné frotte à travers les ouvertures de la géogridde, fournit une surface rugueuse qui résiste au mouvement latéral du sol de fondation, ce qui génère des contraintes de cisaillement centripètes qui augmentent la capacité portante du sol de fondation. Aussi, moins de déformation de cisaillement, couplée à une contrainte verticale moindre, a comme conséquence, un état moins grave de chargement (Houlsby et Jewell, 1990), menant à abaisser la déformation verticale dans le sol de fondation

6.2.2. Mécanisme de surface de rupture modifiée et Augmentation de la capacité portante

Le renfort de géosynthétique force la surface de rupture potentielle à suivre un chemin plus haut alternatif. Ceci tend à augmenter la capacité portante de la chaussée

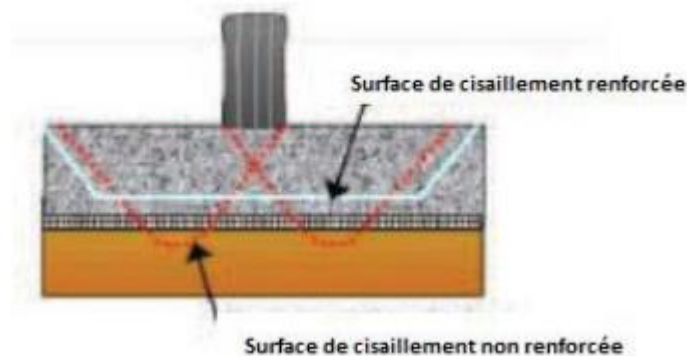


Figure 3.18 : Surface de Rupture Modifiée et Augmentation de la capacité portante

6.2.3. Mécanisme de Membrane Tendue

L'effet de membrane est le mécanisme principal de renforcement attribué aux géosynthétiques (notamment les Alvéolaires) dans les routes revêtues ou non revêtues. Ce mécanisme a été à l'origine décrit par Bender et Barenberg (1978). Il agit efficacement lorsqu'un géotextile est posé sur un sol déformable et que des charges verticales sont appliquées. L'effort de traction dans le sol se transmet au géotextile, soulageant le sous-sol incapable de l'absorber. Cette force dans le plan s'équilibre avec la composante horizontale de la charge provenant de la diffusion des charges verticales appliquées (Problème plan et charge uniforme). Cet effet revêt donc une grande importance dans la construction de routes provisoires, où il permet de déduire la

Chapitre 3 : Notion sur les matériaux géosynthétique

formation d'ornières de manière considérable. Plus le module initial du géotextile est élevé, plus la possibilité de réduire la formation d'ornières est grande

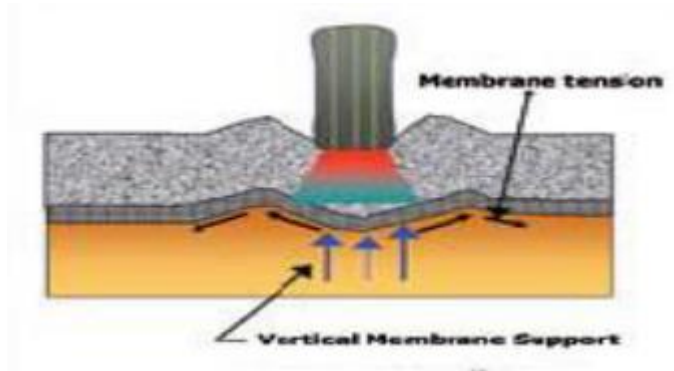


Figure 3.19:comportement en membrane

Chapitre 4 :
la MEF et la
présentation de
logiciel

4 Chapitre 4 : la méthode des éléments finis et la présentation de logiciel

4.1 Méthode des éléments finis :

4.1.1 Introduction :

L'évolution de la technologie amène l'ingénieur à réaliser des projets de plus en plus complexes, coûteux et soumis à des contraintes de sécurité de plus en plus sévères. Pour réaliser ces projets et vu la complexité des méthodes analytiques de la résistance des matériaux, l'ingénieur a recours aux méthodes qui lui permettent de simuler le comportement des systèmes physiques complexes. La méthode des éléments finis est devenue éventuellement la plus performante des méthodes numériques vu son grand champ d'application où elle est utilisée dans de nombreux secteurs de l'industrie : aérospatiale, nucléaire, génie civile, construction navale, mécanique, technique off-shore, ... etc. [12]

4.1.2 Historique :

L'historique de la méthode des élément finis a commencé en 1819 quant NAVIER définit une méthode d'étude des système hyperstatiques basés sur l'application des conditions d'équilibre et de compatibilité, puis MAXWELL en 1864 et CASTINGLIANO en 1878 établissent d'une façon complète les théorèmes de l'énergie. Au début de 20^{ème} siècle des résultats fondamentaux dans le domaine des méthodes d'approximation en ont établi les bases en effectuant une discrétisation spatiale du domaine tout en utilisant les méthodes d'approximations variationnelles.

En 1955 ARGYRIS présente une méthode unifiée des méthodes de déplacements et des forces, l'année suivante TURNER et CLOUGH publient une présentation systématique de la méthode des déplacements. Ces deux publications sont particulièrement importantes et présentent véritablement le début de la MEF comme technique de calcul des structures complexes. [12]

4.1.3 Définition der la méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis est l'une des méthodes les plus utilisées aujourd'hui pour résoudre effectivement ces équations. Elle nécessite l'utilisation intensive de l'ordinateur. C'est une méthode très générale qui s'applique à la majorité des problèmes rencontrés dans la pratique : problèmes stationnaires ou non stationnaires, linéaires ou non linéaires, définis dans un domaine géométrique quelconque à une, deux ou trois dimensions. De plus elle s'adapte très bien aux milieux hétérogènes souvent rencontrés dans la pratique par l'ingénieur.

La méthode des éléments finis consiste à utiliser une approximation simple des variables inconnues pour transformer les équations aux dérivées partielles en équation algébrique. Elle fait appel aux trois domaines suivants :

- Sciences de l'ingénieur pour construire les équations aux dérivées partielles.

Chapitre 4 : la MEF et la présentation de logiciel

- Méthodes numériques pour construire et résoudre les équations algébriques.
- Programmation et informatique pour exécuter efficacement les calculs sur l'ordinateur.

4.1.4 Principe de la méthode :

La méthode des éléments finis consiste à remplacer la structure physique à étudier par un nombre fini d'éléments ou de composants discrets qui représentent un maillage. Ces éléments sont liés entre eux par un nombre de points appelés nœuds. On considère le comportement de chaque partie indépendante, puis on assemble ces parties de telle sorte qu'on assure l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements réels de la structure en tant qu'objet continu.

La MEF est extrêmement puissante puisqu'elle permet d'étudier correctement des structures continues ayant des propriétés géométriques et des conditions de charges compliquées. Elle nécessite un grand nombre de calculs qui, cause de leur nature répétitive, s'adaptent parfaitement à la programmation numérique.

- L'idéalisation et la discrétisation de la structure en éléments finis par un maillage constitue de lignes ou de surfaces imaginaires.
- Etablir la matrice de rigidité élémentaire $[k_e]$ reliant les degrés de libertés (déplacements) nodaux $\{u_e\}$ et les forces $\{f_e\}$ appliquées aux nœuds : $[k_e] \{u_e\} = \{f_e\}$, pour chaque élément.
- Assembler les matrices et les vecteurs élémentaires en un système global $[K] \{U\} = \{F\}$ de manière à satisfaire les conditions d'équilibre aux nœuds
- Modifier le système global en tenant compte des conditions aux limites
- Résoudre le système $[K] \{U\} = \{F\}$ et obtenir les déplacements $\{U\}$ aux nœuds
- Calculer les efforts internes dans la structure (contrainte, déformation).

4.2 Présentation de l'outil de simulation :

4.2.1 Principaux produits Ansys :

- ANSYS Structural :

Ce produit permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures. Ses principales capacités sont :

- a. l'analyse statique
- b. l'analyse modale
- c. l'analyse harmonique (réponse forcée)
- d. l'analyse temporelle
- e. la gestion de différentes situations non-linéaires (contacts, plasticité matériaux, grands déplacements ou grandes déformations).

- ANSYS Mechanical :

Ce produit dispose des mêmes capacités qu'ANSYS structural, en y ajoutant notamment un solveur thermique, avec modélisation du rayonnement.

- ANSYS CFX et Fluent :

Ces deux logiciels permettent d'effectuer des simulations en matière de mécanique des fluides. Ils portent le nom des compagnies qui les ont développés, rachetés par ANSYS.Inc respectivement en février 2003 et en février 2006. *Fluent* est un solveur : il ne comporte pas de mailleur (le maillage doit être réalisé avec un logiciel de maillage, Gambit par exemple, qui est également édité par ANSYS). *Fluent* est un solveur très utilisé dans l'industrie et la R&D à travers le monde. Il est souvent considéré comme une référence dans le domaine de la modélisation fluide. Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique. Il dispose d'une interface de scripts pour automatiser les processus de calcul. L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides : écoulements diphasiques (miscible, non miscible, cavitation, solidification), turbulence (LES, KE, Kw, SA, Reynolds stress...), combustion (pré-mélangé et non pré-mélangé), transport de particules, écoulements en milieux poreux, maillages mobiles et dynamiques avec reconstruction du maillage, entre autres. Les schémas numériques temporels et spatiaux peuvent être modifiés pour améliorer la convergence. *Fluent* est parallélisé et permet de tirer parti de systèmes multiprocesseurs aussi bien au sein d'une seule machine qu'en réseau (cluster, dualcore, plateforme multi-CPU).

- Gambit :

Un logiciel de maillage édité par la société ANSYS depuis 2006 (l'éditeur historique du logiciel était la société *Fluent*). Ce mailleur permet de créer géométries et maillages avec un grand degré de liberté et une grande précision. Le domaine géométrique peut aussi être importé depuis un fichier CAO. Il assure également le maillage automatique de surfaces et de volumes en parallèle de l'introduction de conditions aux limites. *Gambit* est souvent considéré comme un mailleur de référence par les modélisateurs utilisant *Fluent*.

- ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA :

Ces logiciels possèdent des solveurs utilisant les formulations explicites des équations à résoudre, contrairement aux produits précédemment cités. Leur domaine d'application est réservé aux modélisations mettant en jeu des situations mécaniques aux très larges déformations.

- ANSYS Electromagnetics et Ansoft :

Ce produit permet de résoudre des modélisations mettant en jeu des phénomènes électromagnétiques.

- ANSYS Multiphysics :

Ce produit rassemble l'ensemble des capacités d'ANSYS en matière de simulation numérique implicite.

4.2.2 Environnements logiciels :

Deux environnements logiciels permettent de mettre en œuvre le code ANSYS :

- ANSYS classic :

première solution logicielle développée par le constructeur. Elle est destinée à la construction de modèles éléments finis à la géométrie simple, facilement constructible à l'aide d'opérations basiques. À partir de cet environnement, l'utilisateur construit directement un modèle éléments finis en utilisant le langage de script APDL (ANSYS Parametric Design Language). ANSYS classic est donc destiné à des utilisateurs compétents dans le domaine de la simulation numérique.

- ANSYS Workbench :

Cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en ré-utilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

4.3 Logiciel ANSYS

4.3.1 Analyse structurelle

Le logiciel d'analyse structurelle d'ANSYS vous permet de résoudre des problèmes techniques structurels complexes et de prendre plus rapidement de meilleures décisions en termes de conception. Grâce aux solveurs d'analyse par éléments finis (Finite Element Analysis, FEA) disponibles dans la suite logicielle, vous pouvez personnaliser et automatiser les solutions pour vos problèmes de mécanique structurelle ainsi que les paramètres d'analyse de scénarios de conception. Vous pouvez aussi facilement les connecter à d'autres outils d'analyse physique afin de gagner en fidélité. Le logiciel d'analyse structurelle d'Ansys est utilisé dans de nombreuses industries et permet aux ingénieurs d'optimiser la conception de leurs produits et de réduire le coût des tests physiques[13]

- a. Capacités avancées

La simulation des matériaux complexes et du comportement des matériaux peut être réalisée à l'aide des modèles intégrés, des modèles de matériaux définis par l'utilisateur ou du Material Designer (Concepteur de matériaux) dans Mechanical pour créer des éléments de volumes élémentaires représentatifs (RVE). Les modèles soumis à une grande déformation ne doivent pas être simplifiés en passant inutilement à des solveurs explicites. La capacité adaptative non linéaire (NLAD) gère automatiquement les simulations difficiles grâce au remaillage de la solution au cours du processus. La technologie de fracture SMART « splitting morphing adaptive remeshing technique », technologie de séparation, morphing, adaptation et remaillage) a été ajoutée à Mechanical pour la modélisation de la propagation des fissures dans les structures où la fracture est une préoccupation, de façon à éliminer les processus de maillage complexe et les suppositions. Ansys Motion est une solution de conception de nouvelle génération basée sur une dynamique multicorps flexible présente dans l'interface de

Chapitre 4 : la MEF et la présentation de logiciel

Mechanical. Elle permet une analyse rapide et précise de corps flexibles et rigides au sein d'un solveur unique[13]

b. Solution d'analyse structurelle complète :

Une gamme complète d'outils d'analyse est à votre disposition pour analyser les cas de charges uniques ou pour effectuer des analyses transitoires ou de vibration. Vous pouvez également examiner des comportements de matériaux, de joints ou de géométries linéaires et non linéaires. La technologie de solveurs avancée, d'Ansys Autodyn et Ansys LS-DYNA, vous permet d'effectuer des simulations de chute, de choc et d'explosion. Ansys AQWA, avec les capacités de simulation offshore présentes dans Mechanical, fournit des capacités spécifiques à l'industrie pour les ingénieurs évoluant dans la conception d'environnements marins[13].

c. Applications Analyse structurelle

- Analyse de la résistance
- Vibrations
- Analyse thermique
- Durabilité
- Dynamique des corps rigides
- Hydrodynamique
- Matériaux composites
- Impact
- Optimisation
- Hpc pour l'analyse par éléments finis (fea, finite element analysis)
- Optimization topologique
- Fabrication additive

d. Analyse de Matériaux Composites par Ansys :

Les matériaux composites apportent de nouvelles solutions - et de nouveaux défis à surmonter - aux fabricants en quête d'innovation, et de matériaux plus solides et plus légers. ANSYS Composite PrepPost fait partie d'ANSYS Mechanical Enterprise. Il fournit tous les outils nécessaires pour l'analyse par éléments finis des structures composites stratifiées [14].

4.4 Conclusion

Dans le but de modéliser une chaussée souple renforcée par géogrid nous avons choisi la méthode des éléments finis MEF qui est un outil de résolution numérique approchée des problèmes de structures, des problèmes physiques et mécanique régis par des équations différentielles. En général, un logiciel d'analyse se compose de trois modules fondamentaux : préprocesseur, calcul et postprocesseur ; qui se résume à l'ANSYS 16.2 WORKBENCH pris en considération lors de notre étude.

Partie B :
Etude numérique

**Chapitre 5 : analyse
numérique et cas
d'étude**

5 Chapitre 5 : analyse numérique et cas d'étude

5.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons utiliser le code ANSYS pour modéliser numériquement le comportement d'un corps de chaussée, en faisant une comparaison de l'état mécanique et physique d'une chaussée souple renforcée par géogridde dans deux position différentes (la premier position entre le béton bitumineux et grave bitumineux et la deuxième position entre grave bitumineux et GNT) et la même chaussée sans renforcement.

- Modélisation d'une chaussée souple sans renforcement.
- Modélisation d'une chaussée souple renforcée par géogridde (la position de géogridde est entre la couche de base et la grave bitumineux)
- Modélisation d'une chaussée souple renforcée par géogridde (la position de géogridde est entre la GB et GNT).

5.2 Présentation du cas d'étude :

Il s'agit de la piste principale de l'aérodrome Cheikh Belkebir dans la Wilaya d'Adrar, situé à une altitude de 280 par rapport au niveau de la mer et la température dominante est de 40 à 45°C, avec un climat sec. Construit en 1983, cet aérodrome a subit des renforcements sur l'ensemble de ses infrastructures en 1994. Il est de classe international et de statut civil, destiné aux mouvements des aéronefs civils et parfois militaires. Cette infrastructure a subit plusieurs travaux d'entretien, colmatage des fissures superficielles et de modernisation.

Etats des dégradations et diagnostics Les dégradations sont visibles sur la totalité de la piste d'envol et ses annexes. Elles sont constituées de fissures longitudinales les bandes centrales de la piste. Ces fissures sont probablement dues à des gradients de températures avoisinant 30 à 40 degrés en périodes chaudes. Par ailleurs, des fissures transversales situées en début de piste (pk 0+610) à la bande 5 ont été constatées (Figure5.1). [15]



Figure 5.1: Fissures transversales au niveau de la chaussée

En plus du nombre élevé de mouvements d'avions, de l'ordre de 450 rotations, effectués annuellement par les aéronefs B737.800, B737.600, Airbus 321 et Hercule C130, l'effet de la température a une grande influence sur le comportement des chaussées réalisées en matériaux hydrocarbonés. En effet, le phénomène retrait/dilatation induit l'ouverture des fissures impliquant d'importantes forces de traction. Pour remédier à ce phénomène, plusieurs solutions sont avancées, telles que : le renforcement traditionnel de la piste, par scarification de la couche de roulement existante en béton bitumineux (BB) et son remplacement par un

Chapitre 5 : analyse numérique et cas d'étude

rechargement d'une épaisseur de 6cm. La deuxième solution, qui semble une solution alternative, consiste à poser la géogridde, comme tissu séparateur, dans le corps de chaussée (au niveau de la couche de roulement BB, entre la couche BB et grave bitume (GB), ou avant la pose de la couche du GB.

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 surface et la couche bitumineux dans le deuxième cas et entre la couche bitumineux et la GNT. La géogridde est modélisée comme une structure élastique.

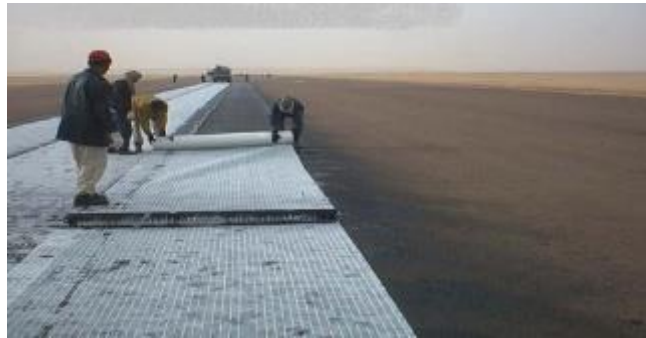


Figure 5.2:Emplacement de la nappe géogridde

5.3 Caractéristique géométriques :

- Longueur chaussée: 3000m
- Orientation 04/22
- Largeur chaussée: 45m
- Largeur accotements : (7.5 +7.5) m
- Avion critique : B727
- La charge transmise au sol : $1,2 \times 10^6$ Pa

5.4 Caractéristiques géotechniques :

- Corps de chaussée : Souple/asphalte
- Couche de roulement : Béton bitumineux
- Couche de base : Arène-granitique
- Couche de fondation : Arène-granitique
- Terrain naturel : Sable graveleux
- CBR : 15

Chapitre 5 : analyse numérique et cas d'étude

5.5 Propriétés mécaniques des matériaux :

Les caractéristiques et les comportements des matériaux utilisés sont illustrés dans le tableau 1 ci après.

Tableau 5:1: Caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés

Matériau utilisé	Epaisseur (mm)	Module E (MPa)	Densité (kN/m ³)	Module G (MPa)	Cohésion (kPa)	Coef. Poisson	Angle frottement
Couche/Roulement BB (0/14)	102	5400	24	1176	/	0.35	–
Couche/Reprofilage GB(0/20)	300	260	24.7	–	20	0.38	43
Couche de fondation	300	120	18	–	20	0.48	44
Sol support	1000	50	16	–	8	0.40	36
Nappe géogridde (Fibres de verre)	1	629.3	11	–	–	0.30	–

5.6 Modèle géométrique :

Le modèle est présenté dans les figures suivantes :

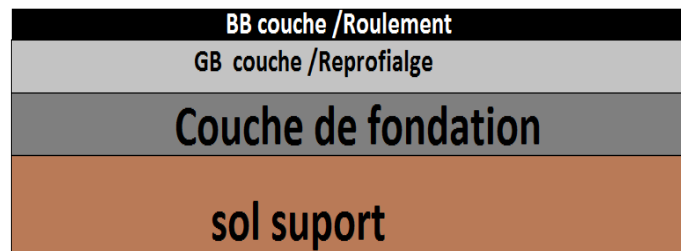


Figure 5.3: Géométrie du modèle étudié sans renforcement

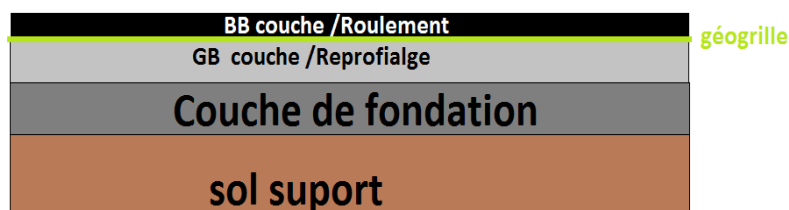


Figure 5.4: Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position 1)

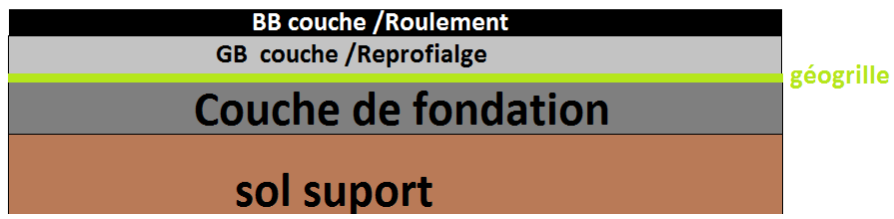


Figure 5.5: Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position 2)

Chapitre 6 :

Résultats et discussions

6 Chapitre 6 : résultats et discussions

6.1 Etude des déformations de la chaussée non renforcée et renforcée :

Pour trouver plus d'utilités de l'intégration de n'importe quel type de géogrid dans la chaussée, il est nécessaire de rechercher à obtenir la position la plus favorable pour le renforcement, donc optimisé le positionnement du géogrid. Dans la pratique et au niveau national, le renforcement et la mise en œuvre des géogrids sont fait soit entre la couche béton bitumineux et la grave bitumineux, soit entre la grave bitumineux et GNT.

En général la position du géogrid de renforcement dans le revêtement, admette de limiter la propagation des fissures et réduise des efforts de traction dans l'asphalte par la sollicitation de contrainte de traction dans les armatures. Tandis que dans les couches inférieurs (non liées), les géogrids permettent d'augmenter la résistance aux déformations élastiques, augmenter la capacité portante, réduire la sollicitation du sol sous-jacent, accroître la résistance à la déformation permanente du matériau et en fin de réduire les déformations.

Au sein de notre étude, on a étudié deux variantes de localisation de renforcement et en utilisant le même modèle précédent avec les mêmes matériaux et les mêmes dimensions. De cela, on varie l'emplacement de la nappe de géogrid dans les différentes couches de la chaussée comme montré dans la figure

Les résultats présentés dans cette partie portent sur les données numériques suivantes :

- Déplacement directionnel de la chaussée sans et avec géogrid
- Déplacement totale de la chaussée sans et avec géogrid
- Contrainte de cisaillement de la chaussée sans et avec géogrid dans les 3 plans
- Contrainte normale de la chaussée sans et avec géogrid dans les trois plans

6.2 Résultats des simulations et analyse :

Les résultats de l'analyse numérique avec ANSYS sont présentés dans les figures suivantes :

6.2.1 Déformation élastique de cisaillement dans le plans (XZ)

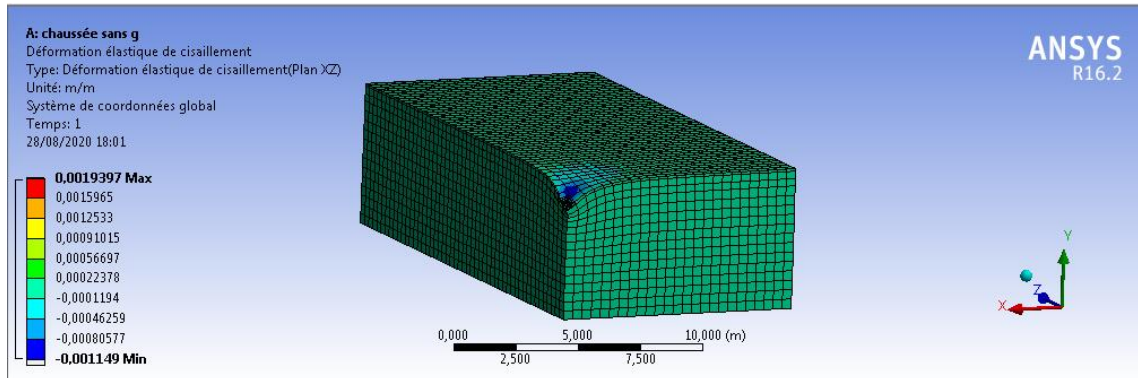


Figure 6.1: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée non renforcée

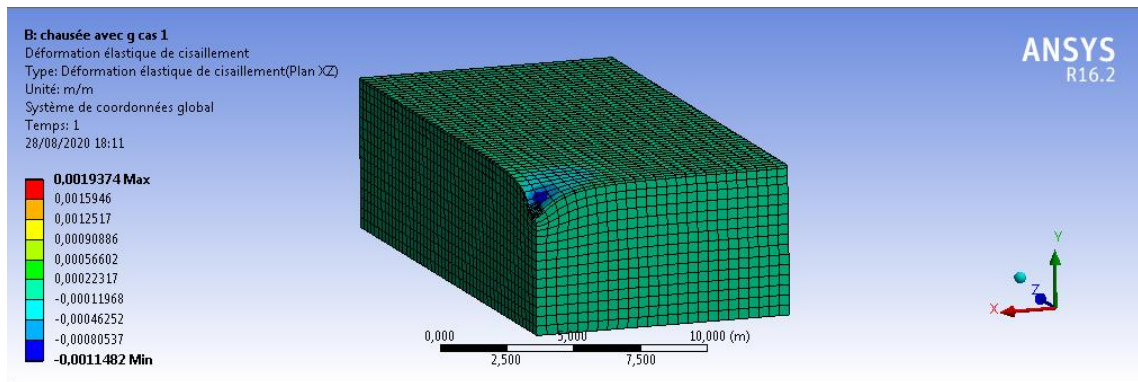


Figure 6.2: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 1)

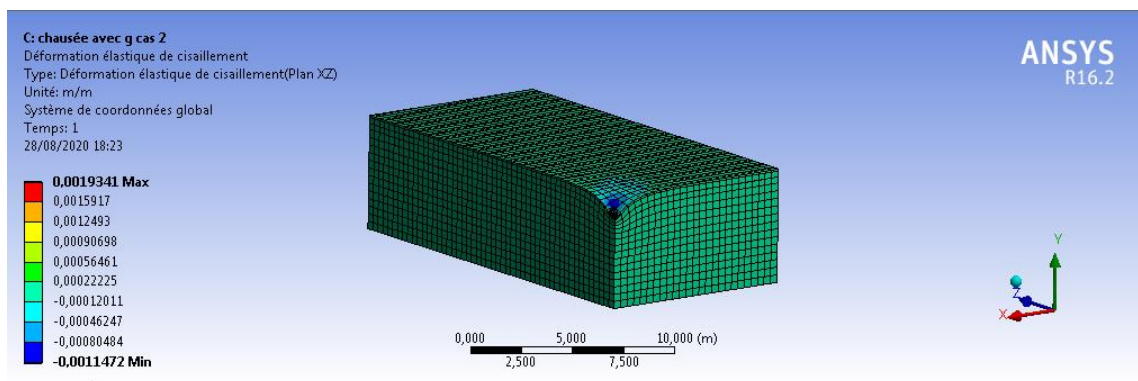


Figure 6.3: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 2)

6.2.2 Déformation élastique de cisaillement dans le plans (YZ)

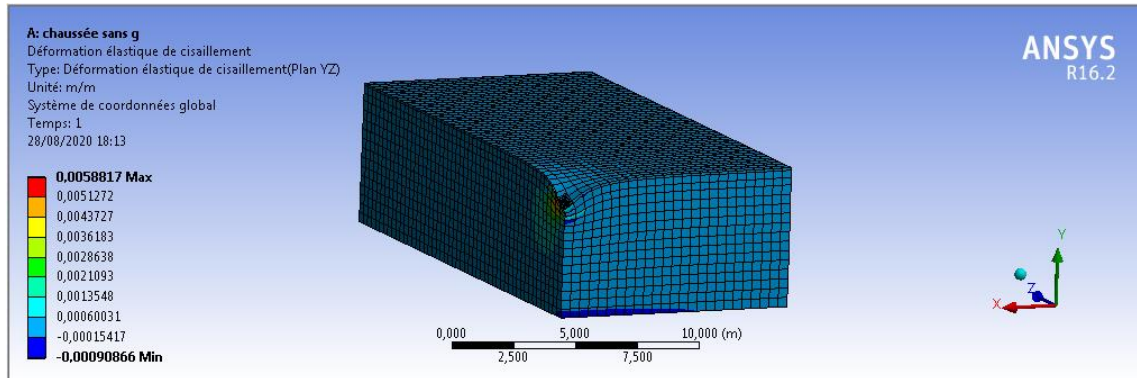


Figure 6.4: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée non renforcée

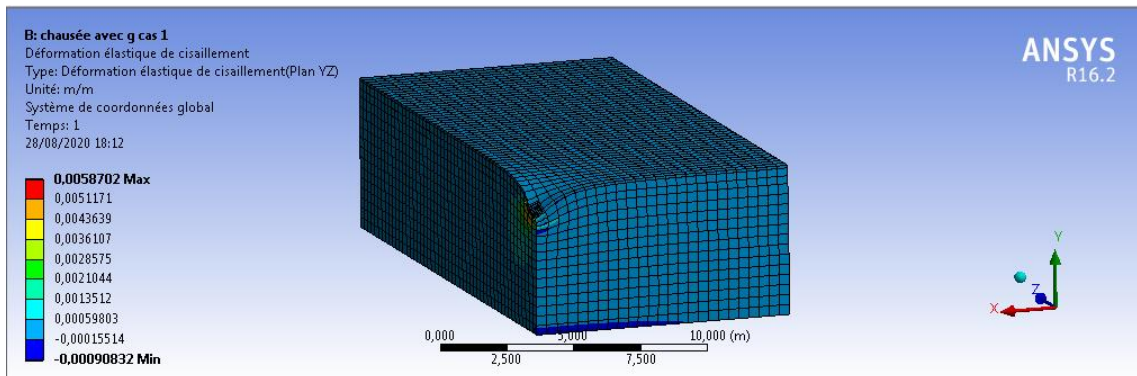


Figure 6.5: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 1)

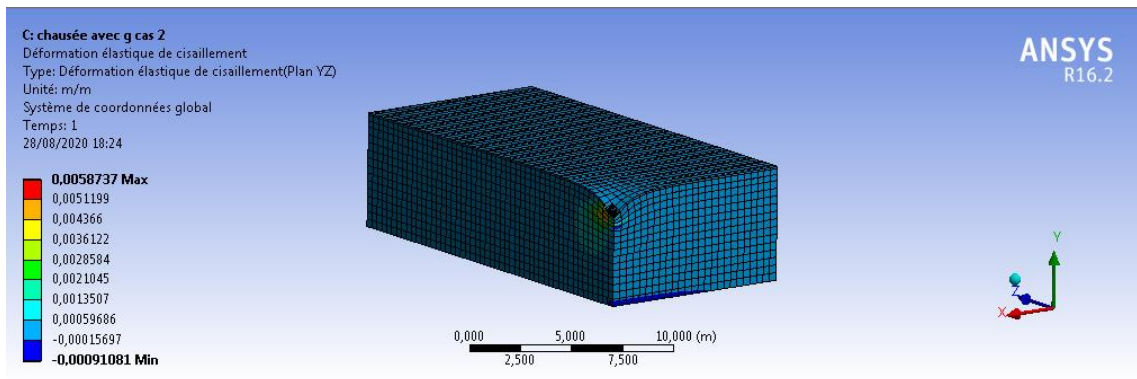


Figure 6.6: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 2).

6.2.3 Déformation élastique de cisaillement dan le plan (XY)

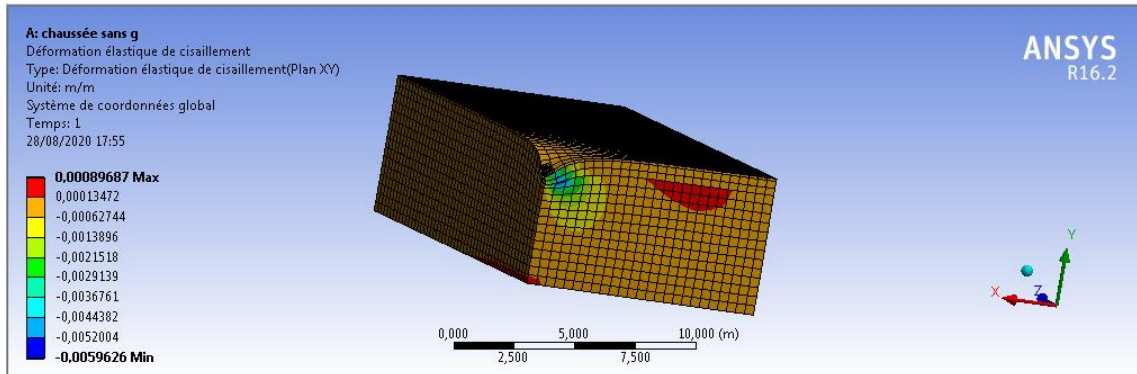


Figure 6.7: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée non renforcée

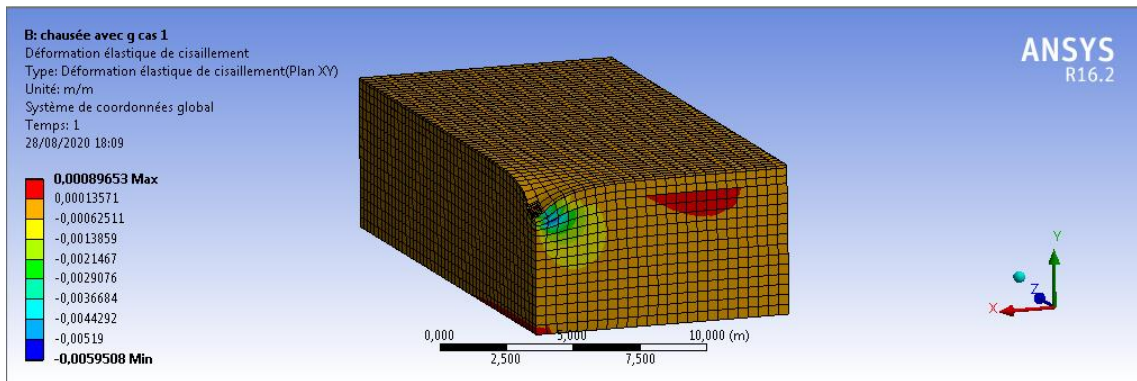


Figure 6.8: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 1)

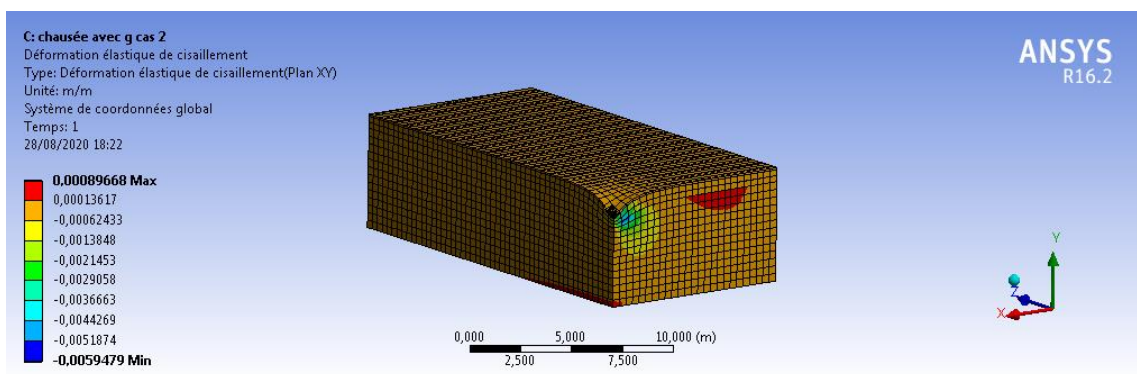


Figure 6.9: déformation élastique de cisaillement d'une chaussée renforcée (position 2)

6.2.4 Déformation élastique normale suivant l'axe « Y »

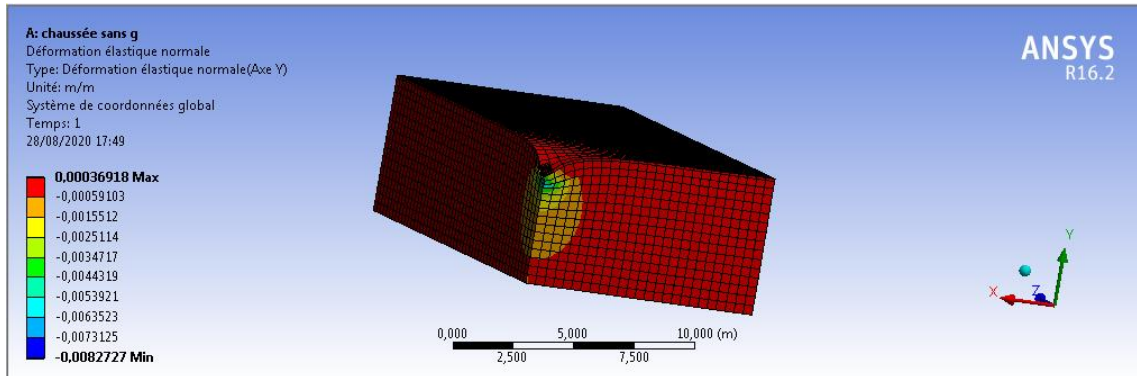


Figure 6.10: déformation élastique normale d'une chaussée non renforcée

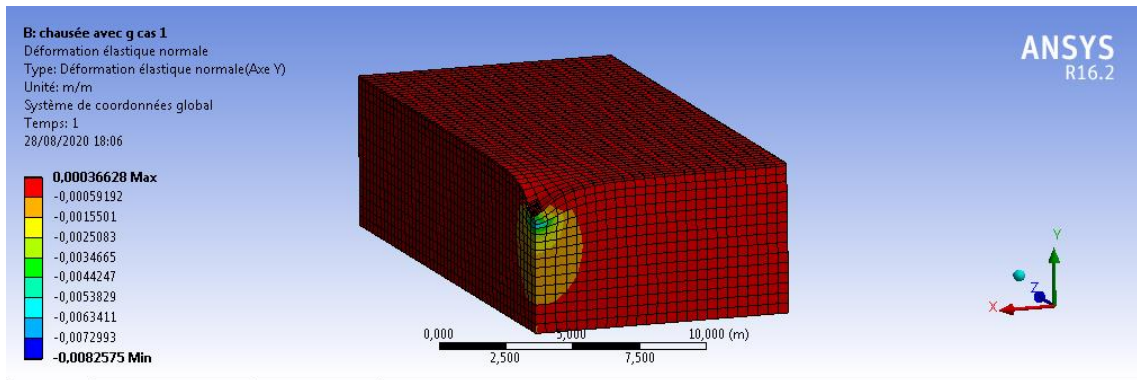


Figure 6.11: déformation élastique normale d'une chaussée renforcée (position 1)

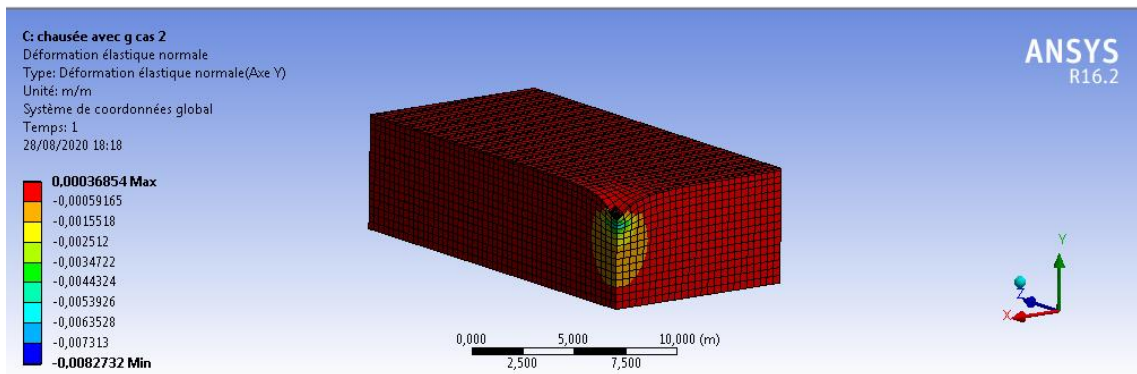


Figure 6.12: déformation élastique normale d'une chaussée renforcée (position 2)

6.2.5 Déplacement directionnel suivant l'axe « Y »

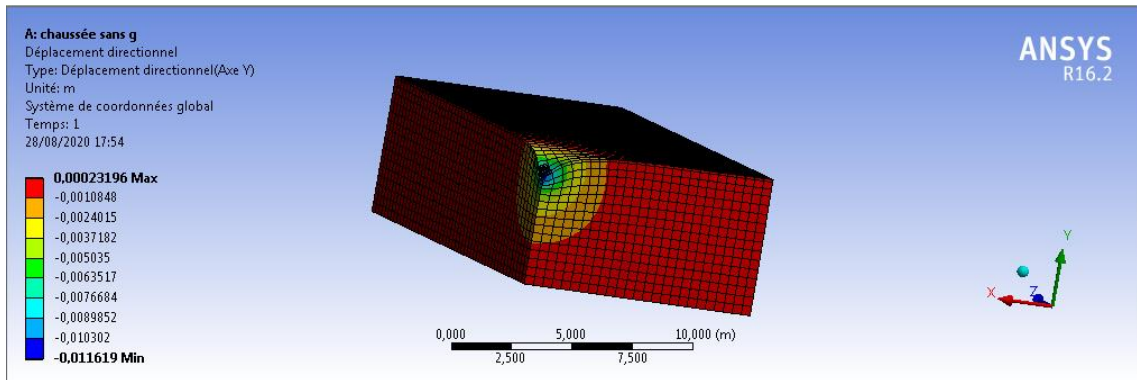


Figure 6.13 : déplacement directionnel d'une chaussée non renforcée

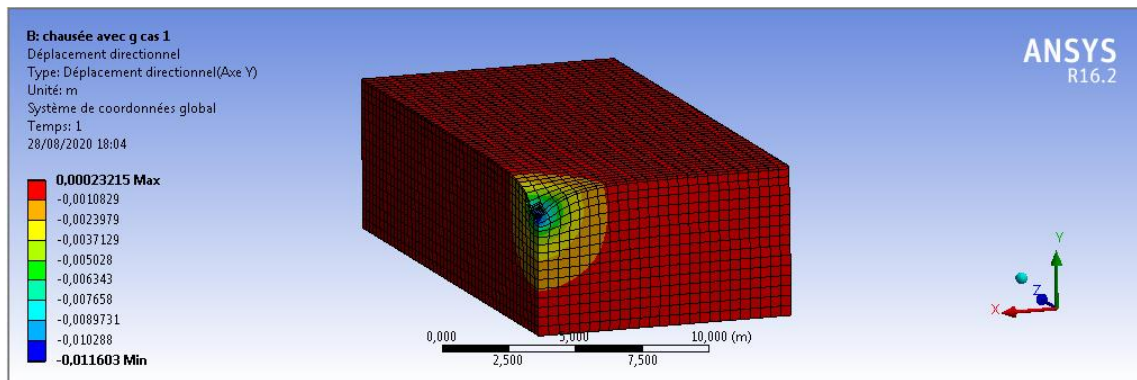


Figure 6.14: déplacement directionnel d'une chaussée renforcée (position 1)

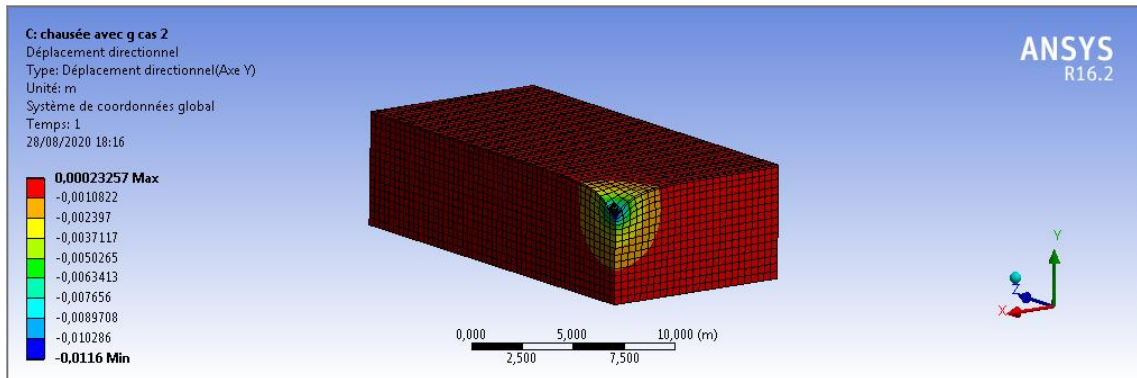


Figure 6.15: déplacement directionnel d'une chaussée renforcée (position 2)

6.2.6 Déplacement total :

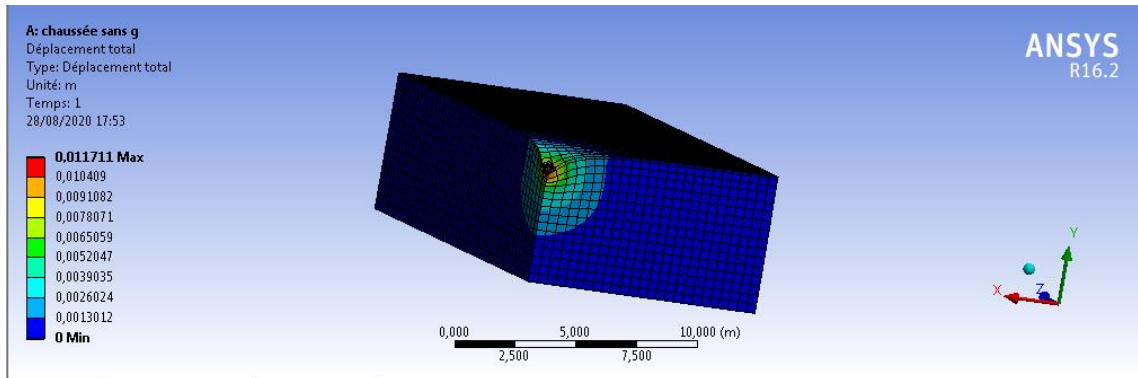


Figure 6.16: déplacement total d'une chaussée non renforcée

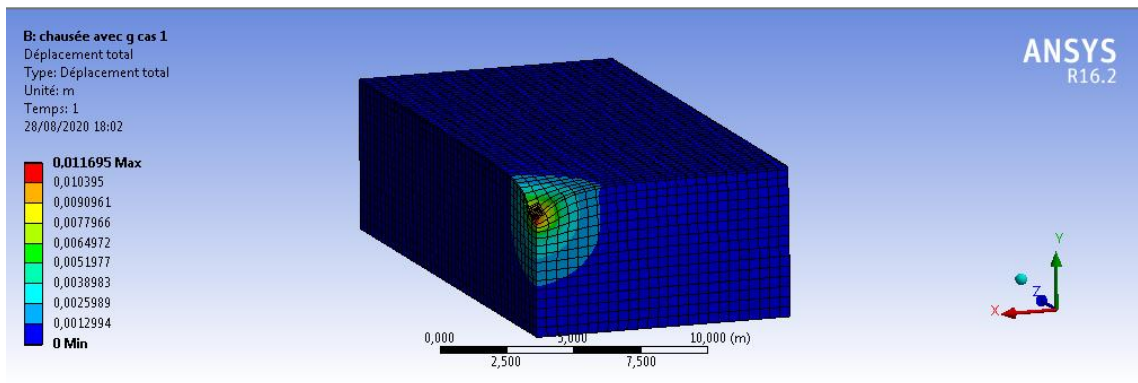


Figure 6.17: déplacement total d'une chaussée renforcée (position 1)

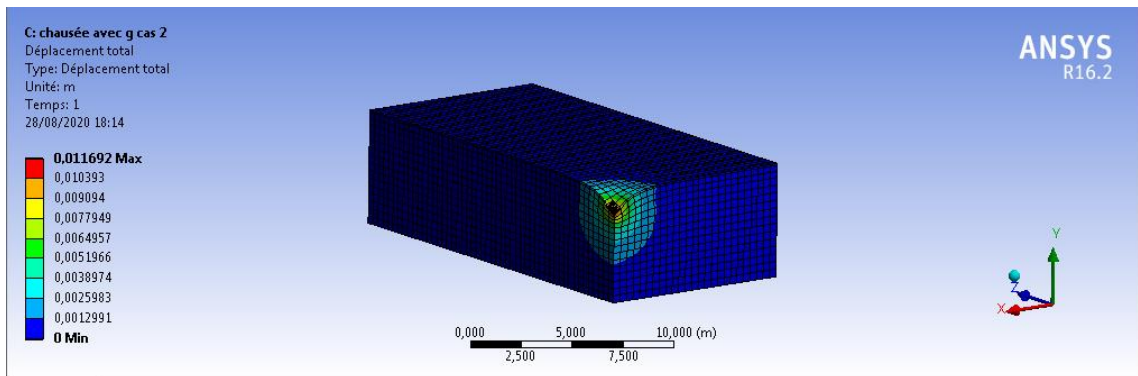


Figure 6.18: déplacement total d'une chaussée renforcée (position 2)

6.2.7 Contrainte

Chapitre 6 : Résultats et discussions

6.3 Synthèse et comparative des résultats :

Les tableaux ci-dessous regroupent les résultats numériques obtenir par modélisation en élément finis d'une chaussée souple avec trois cas de simulation

- Simulation d'une chaussée souple sans renforcement
- Simulation d'une chaussée souple renforcée par géogridde (la nappe de géogridde se trouve entre le béton bitumineux et le grave bitumineux)
- Simulation d'une chaussée souple renforcée par géogridde (la nappe de géogridde se trouve entre le grave bitumineux et GNT)

Tableau 6:1:déformation élastique de cisaillement (XZ)

	Sans renforcement	Avec renforcement Cas 1(entre BB et GB)	Avec renforcement cas 2(entre GB et GNT)
Déformation élastique de cisaillement dans le plan (XZ) $\times 10^{-3}$ m	1,149	1,1482	1,1472

Tableau 6:2:déformation élastique de cisaillement (XY)

	Sans renforcement	Avec renforcement Cas 1(entre BB et GB)	Avec renforcement cas 2(entre GB et GNT)
Déformation élastique de cisaillement dans le plan (XY) $\times 10^{-3}$ m	0,62744	0, 62511	0, 62433

Tableau 6:3:déformation élastique de cisaillement(YZ)

	Sans renforcement	Avec renforcement Cas 1(entre BB et GB)	Avec renforcement cas 2(entre GB et GNT)
Déformation élastique de cisaillement dans le plan (YZ) $\times 10^{-3}$ m	0,90866	0,90832	0,91081

Tableau 6:4:Déformation élastique normale(Y)

	Sans renforcement	Avec renforcement Cas 1(entre BB et GB)	Avec renforcement cas 2(entre GB et GNT)
Déformation élastique normale dans l'axe (Y) $\times 10^{-3}$ m	2,5114	2,5083	2,512

Chapitre 6 : Résultats et discussions

Tableau 6:5:Déplacement directionnel(Y)

	Sans renforcement	Avec renforcement Cas 1(entre BB et GB)	Avec renforcement cas 2(entre GB et GNT)
Déplacement directionnel suivant l'axe Y	0,011619	0,011603	0,01160

Tableau 6:6:Déplacement totale

	Sans renforcement	Avec renforcement Cas 1(entre BB et GB)	Avec renforcement cas 2(entre GB et GNT)
Déplacement totale (cm)	1,1711	1,1695	1,162

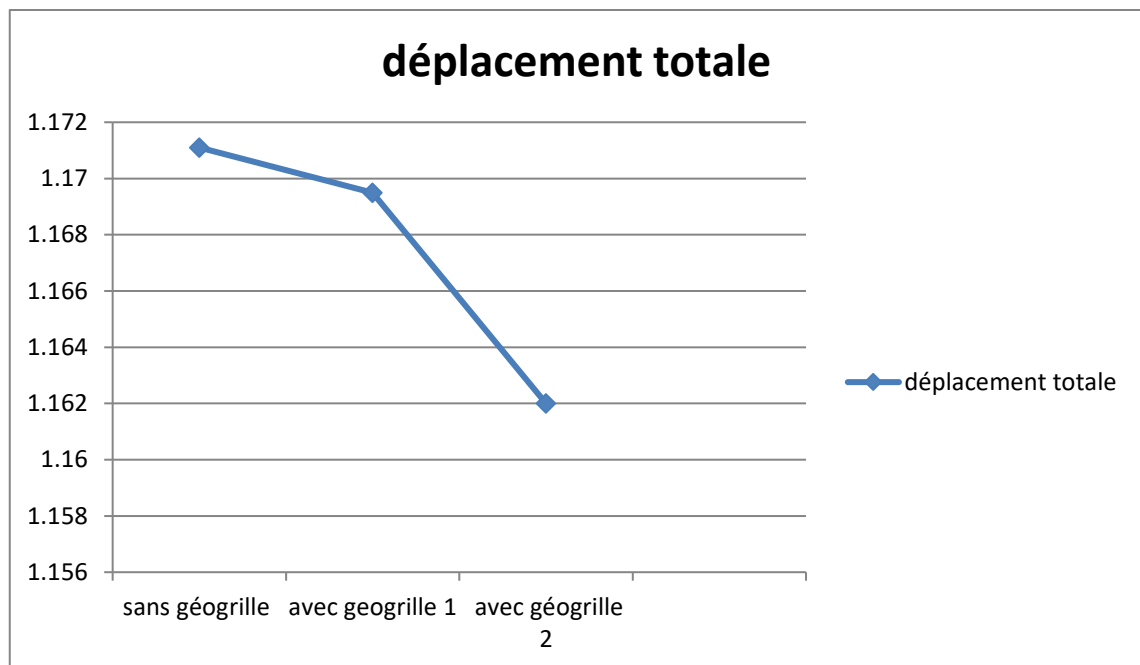


Figure 6.19:variation de déplacement en fonction de la position de géogrille

Après l'étude de ces trois cas on remarque bien que le déplacement minimal se trouve dans le cas où la nappe de géogrille est entre la couche de grave bitumineuse et la GNT. Celle-ci sert à répartir les charges des véhicules sur la couche GNT et par la même, diminue les déformations dues à ces charges-là.

Chapitre 6 : Résultats et discussions

6.4 Conclusion :

Au vue de nos résultats des calculs effectués à partir de logiciel ANSYS des conclusions intéressantes semblent apparaitre.

Nous avons effectué la simulation d'un corps de chaussée souple en trois étapes :

- Modélisation sans renforcement
- Modélisation avec renforcement et la nappe de géogridde se trouve entre le béton bitumineux et le grave bitumineux
- Modélisation avec renforcement et la nappe de géogridde se trouve entre le grave bitumineux et la couche de fondation

A partir de ces calculs ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ La présence de la nappe de géogridde réduit les déplacements totaux et verticaux ainsi les contrainte de cisaillement suite à l'application de la charge par rapport au cas non renforcé.
- ❖ La position optimale de la nappe de géogridde dans un corps de chaussée souple est entre la couche de grave bitumineux et la GNT.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail consistait de la détermination de la position optimale de la nappe de géogrille dans un corps de chaussée souple. L'objectif est de connaître les matériaux qui interviennent dans le corps de chaussée et le type de géogrille utilisé. Ensuite on a entamé la partie modélisation en utilisant le logiciel ANSYS 16.2 et le MEF dont le but de déterminé les contraintes et les déformations les plus optomales.

Pour cela, on a constaté que les géo grilles être efficacement employés pour :

- La réduction de la propagation des remontées des fissures;
- Le fonctionnement comme nappe de renforcement en plu de son rôle de séparateur.
- réduire l'épaisseur du revêtement bitumineux;
- réduire l'épaisseur de la chaussée;
- Réduire les contraintes et déformations.

La modélisation faite nous a permit de savoir la position idéale pour la nappe géogrille qui peut donner des résultats meilleurs dans la pratique.

Aussi l'utilisation du logiciel Ansys, est très bénéfique pour le choix d'un modèle proche de la réalité, vu la diversité de la bibliothèque et des modules au niveau de ce logiciel.

Nous recommandons pour les futurs travaux de recherches des cas réels sur terrain et surtout in situ. Cela, va permettre la validation du modèle chois et la compréhension plus détaillée du comportement des infrastructures linéaires (routes, aérodromes) renforcées par ce type de matériaux.

Références Bibliographiques

- [1] MAMAA, F .Réseaux routiers et autoroutiers en Algérie : consistance et perspectives.
- [2] DJENNAH, R. Géosynthétique pour la construction de route et chaussée, Amélioration de la couche de forme. Mémoire de master en géotechnique. Département de génie civil. Université 08mai 1945 GUELMA ; 2016.
- [3] SALHI, S. Etude de renforcement par géogrilles d'une plate forme routière. Thèse de magister en géotechnique. Département de génie civil. Université de TEBESA ; 2015 ; 7p.
- [4] BENSMAINE DALILA mémoire magister 2011, Le comportement élastoplastique des interfaces cas des chaussées Modélisation d'un essai de double cisaillement
- [5] Dimensionnement d'une structure de chaussée routière
- [6] L'organisation de coopération et de développement économique. Catalogue des dégradations de surface des chaussées. QUEBEC. Edition d'octobre 1978.
- [7] DJENNAH, R. Géosynthétique pour la construction de route et chaussée, Amélioration de la couche de forme. Mémoire de master en géotechnique. Département de génie civil. Université 08mai 1945 GUELMA ; 2016 ; 21p.
- [8] DJENNAH, R. Géosynthétique pour la construction de route et chaussée, Amélioration de la couche de forme. Mémoire de master en géotechnique. Département de génie civil. Université 08mai 1945 GUELMA ; 2016 ; 24p.
- [9] RICHARD, J. fonction des géosynthétiques. International géosynthetic society IGS. Traduire par FRANCOIS, C.
- [10] DJENNAH, R. Géosynthétique pour la construction de route et chaussée, Amélioration de la couche de forme. Mémoire de master en

géotechnique. Département de génie civil. Université 08mai 1945
GUELMA ; 2016 ; 29p

[11] DJENNAH, R. Géosynthétique pour la construction de route et
chaussée, Amélioration de la couche de forme. Mémoire de master en
géotechnique. Département de génie civil. Université 08mai 1945
GUELMA ; 2016 ; 30p.

[12] TALHAOUI, Z .CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DU
COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES CORPS DES CHAUSSÉES
RENFORCÉES PAR LES GÉOSYNTHÉTIQUES. Modélisation
numérique et étude expérimental. Thèse de doctorat en science.
Département de génie civil. Université ABOU BEKR BEKAID.
TELEMCEN ; 2019 ; 27p.

[13] TALHAOUI, Z .CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DU
COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES CORPS DES CHAUSSÉES
RENFORCÉES PAR LES GÉOSYNTHÉTIQUES. Modélisation
numérique et étude expérimental. Thèse de doctorat en science.
Département de génie civil. Université ABOU BEKR BEKAID.
TELEMCEN ; 2019 ; 28p

[14] SALHI, S. Etude de renforcement par géogrilles d'une plate forme
routière. Thèse de magister en géotechnique. Département de génie civil.
Université de TEBESA ; 2015 ; 98p.

[15] Ansys structures , 2020, " Composite-Materials ", Products Ansys site
web official

[16] Academic Ansys, 2020, " Free Student Software Downloads ", Home
site web official

[17] ABDESSEMED , M . KENAI, S. COMPORTEMENT D'UNE PISTE
AEROPORTUAIRE RENFORCEE PAR GEOGRILLE. 10èmes
Rencontres Géosynthétiques – 24-26 mars 2015, La Rochelle

