

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université
Aboubekr Belkaïd
Tlemcen



جامعة
أبو بكر بلقايد

Faculté de technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de Master

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et ouvrages d'art

Thème :

*Stabilisation et renforcement des corps de chaussée par
utilisations des géosynthétiques*

Présenté par :

BOUDOUAIA Younes

GORINE Abdelbadie

Soutenu en 24/11/2020 devant le jury composé de :

A.ZADJAOUI	Professeur	Université de Tlemcen	Président
A. BEKKOUCHE	Professeur	Université de Tlemcen	Superviseur
Y.HOUMADI	Professeur	Université de Ain Témouchent	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier en premier lieu ALLAH, le tout-puissant et miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

On tient à exprimer nos profonds respects et reconnaissance à notre superviseur Mr. BEKKOUCHE Abdelmalek, professeur au département de Génie Civil de la faculté de technologie à l'Université Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen. Pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Nous remercions au président de jury Mr. ZADJAOUI Abdeljalil, professeur au département de Génie Civil de la faculté de technologie à l'Université Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen. Ainsi que l'examineur Mr. HOUMADI Youcef, professeur au centre universitaire de Ain Témouchent pour avoir sacrifié de leurs temps pour apprécier ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements aux ingénieurs et tous les travailleurs de laboratoire de travaux publics de l'ouest Tlemcen.

Nous remercions encore toutes les enseignantes et tous les enseignants et toutes personnes qui nous ont formés pour arriver à ce point de ce projet.

Enfin, un grand merci pour tous ceux qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail.

À ma très chère maman qui m'a toujours soutenu, et encouragé tout au long de mes études.

À mes chers frères Nour-eddine, Abdel Hakim et ma sœur Nerdjes qui m'ont aidé durant toutes ces années.

À ma grand-mère, mon oncle, ma tante, cousins et toute ma famille.

À mon binôme Gorine Abdelbadie, pour son travail, son calme et son soutien durant cette étape importante.

À toute la promotion Voies et ouvrage d'art 2019-2020.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant tout au long de mon cursus scolaire et universitaire.

Enfin, j'adresse ma gratitude à tous les gens qui je connais et qui m'aiment.

BOUDOUAIA Younes

Dédicace

Je dédie ce modeste travail.

À mes chers parents qui m'ont toujours soutenu, et encouragé tout au long de mes études.

À mes chers frères Hamou, Otmen et ma soeur Mebarka qui m'ont aidé durant toutes ces années.

À mon petit neveu, Ahmed Nassir el din, mes oncles, mes tantes et toute ma famille.

À mon binôme Boudouaia Younes, pour son travail et pour sa patience.

À toute la promotion Voies et ouvrage d'art 2019-2020 et spécialement à mon ami Med Senoussi.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant tout au long de mon cursus scolaire et universitaire.

Enfin, j'adresse ma gratitude à tous les gens qui je connais et qui m'aiment.

GORINE Abdelbadie

Table des matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Dédicace	iii
Table des matières	iv
Liste des abréviations.....	ix
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xi
Résumé	xvi
Abstract	xvii
ملخص	xviii
INTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROPOSAL DU SUJET	1
i. Contexte général, aperçu du sujet et motivation de la thématique	2
ii. Énoncé du problème	2
iii. Cadre et hypothèses de travail	3
iv. Objectifs.....	3
v. Méthodologie	3
vi. Revue de la littérature.....	4
vii. Plan du calendrier de travail.....	6
viii. Engagement.....	6
ix. Historique	6

Chapitre 1 : Notions sur la route et la chaussée	9
1.1 Introduction	10
1.2 La Route	10
1.2.1 Le réseau routier en Algérie	11
1.2.2 Les caractéristiques géométriques de la route	14
1.3 La chaussée.....	15
1.3.1 Les données de base pour dimensionnement d'une structure de chaussée	15
1.3.2 Rôle et constituant d'une chaussée.....	16
1.3.2.1 Couche de surface	17
1.3.2.2 Couche d'assise	17
1.3.2.3 Plate-forme supporte de chaussée	18
1.3.3 Les différents types de structure de chaussée	19
1.3.3.1 Les chaussées souples	19
1.3.3.2 Les chaussées semi-rigides	19
1.3.3.3 Les chaussées à structure mixte	20
1.3.3.4 Les chaussées rigides.....	20
1.3.4 Les différents facteurs influant sur la chaussée	22
1.3.5 Les différentes familles de dégradation des chaussées.....	25
1.3.5.1 Les Fissures.....	25
1.3.5.2 Les déformations.....	30
1.3.5.3 Les arrachements	32
1.3.5.4 Les remontés.....	35
1.3.6 Mécanismes de dégradation des interfaces de chaussées.....	38
1.4 Conclusion	39
Chapitre 2 : Notions sur les géosynthétiques	40
2.1 Introduction.....	41

2.2	Définition	41
2.3	Fonction des géosynthétiques.....	42
2.3.1	Séparation.....	42
2.3.2	Filtration	42
2.3.3	Drainage	43
2.3.4	Renforcement	43
2.3.5	Protection et Étanchéité	44
2.3.6	Lutte contre l'érosion	44
2.3.7	Anti-fissuration	45
2.4	Les Caractéristiques fondamentales des géosynthétiques	45
2.5	Propriétés des géosynthétiques	46
2.5.1	Propriétés physiques.....	46
2.5.2	Propriétés mécaniques.....	46
2.5.3	Propriétés d'endurance et de dégradation	46
2.5.4	Propriétés hydrauliques	47
2.6	Types des géosynthétiques	47
2.6.1	Géotextile	47
2.6.1.1	Géotextile non-tissé	47
2.6.1.2	Géotextile tissé.....	48
2.6.1.3	Géotextile tricoté	48
2.6.1.4	Géotextile cousu.....	49
2.6.2	Géogrille	49
2.6.2.1	Géogrille uniaxiale	49
2.6.2.2	Géogrille biaxiale	50
2.6.2.3	Géogrille triaxiale	50
2.6.3	Géonet.....	51
2.6.4	Géomembrane.....	51
2.6.5	Revêtement d'argile géosynthétique (GCL)	52

2.6.6	Géocellule	52
2.6.7	Géofaam	53
2.6.8	Géocomposite.....	53
2.7	Norme et essais sur les géosynthétiques	54
2.8	Marché des géosynthétiques	58
2.8.1	Aperçu sur les Géotextiles et les géogrilles.....	58
2.9	Les géosynthétiques et le développement durable	59
2.10	Conclusion	60
Chapitre 3 : Utilisation des géosynthétiques dans le domaine routier		61
3.1	Introduction.....	62
3.2	Choix de la fonction de géosynthétique	62
3.3	Renforcement des chaussées à l'aide des géosynthétiques.....	63
3.3.1	Comportement mécanique lors du passage des roues	63
3.3.2	But et avantage du renforcement par géosynthétique	63
3.3.3	Mécanismes de renforcement.....	65
3.3.3.1	Contrainte latérale	65
3.3.3.2	Augmentation de la capacité portance	65
3.3.3.3	L'effet de membrane tendue	66
3.3.4	Structure de chaussée renforcée avec géosynthétique.....	66
3.3.5	Utilisation des géosynthétiques pour les chemins de fer	77
3.3.6	Méthodes de conception pour les chaussées souples des aéroports renforcés par des matériaux géosynthétiques	78
3.3.6.1	Méthode de conception de l'administration fédérale de l'aviation (FAA)	78
3.3.6.2	Combinaisons de la méthode de conception de barenberg et de la méthode (FAA) modifiée.....	80
3.4	Exemples d'application des géosynthétiques dans les chaussées	82

3.5	Conclusion	83
Chapitre 4 : Etude de cas		84
4.1	Introduction	85
4.2	Présentation du cas étudié	85
4.2.1	Dimensionnement de corps de chaussé par la méthode AASHTOO 1993 modifier	89
4.2.1.1	Interprétation des résultats	103
4.2.2	Comparaison des devis quantitatifs et estimatifs	104
4.2.2.1	Interprétation des devis quantitatifs et estimatifs	106
4.3	Conclusion	107
CONCLUSION GÉNÉRALE		108
Annexe A : Tableau synoptique des dégradations		110
Annexe B : Réseau routier à Tlemcen et son état d'après le DTP		111
Annexe C : Planning prévisionnel de l'organisation du PFE		112
Annexe D : Les investigations géotechniques CW111		117
Annexe E : Les investigations géotechniques CW 45		120
Bibliographie		124

Liste des abréviations

Chapitre 1 : Notions sur la route et la chaussée

MTLH	Matériaux traités aux liants hydrauliques.
MNT	Matériaux non traités.
MTB	Matériaux traités au bitume.
GB	Grave bitume.
GL	Grave laitier.
BCg	Béton de ciment goujonné.
SB	Sable bitume.
GNT	Grave non traitée.
SG	Gable gypseux.
AG	Arène granitique.
Tuf	Tuf calcaire.
BB	Béton bitumineux.

Chapitre 2 : Notions sur les géosynthétiques

GTX	Geotextile
GGR	Geogrid
GNT	Geonet
GCL	Geosynthetic clay liner
GCE	Geocells
GC	Geocomposite
GMB	Geomembrane

Liste des tableaux

Tableau 1-1 Consistance du réseau routier d'Algérie selon le gabarit (MAMMA , 2017)	11
Tableau 1-2 Répartitions du réseau routier à Tlemcen.....	13
Tableau 1-3 États du réseau routier revêtu.....	13
Tableau 1-4 États du réseau routier non revêtu.....	13
Tableau 1-5 Défauts et dégradations des chaussées municipales souples (CERIU, 2012)	38
Tableau 3-1 Facteur de croissance du trafic (AASHTO, 1993)	69
Tableau 3-2 Facteur de distribution des voies, DL (AASHTO, 1993)	69
Tableau 3-3 Les niveaux de fiabilité suggérés pour diverses classifications fonctionnelles (AASHTO, 1993)	70
Tableau 3-4 Écart normal standard Z_R pour différentes valeurs de fiabilité, R (AASHTO, 1993)	70
Tableau 3-5 structural layer coefficients (a_i) for flexible pavement design	74
Tableau 3-6 Conditions de drainage (AASHTO, 1993).....	75
Tableau 3-7 Valeurs (m_i) recommandées (AASHTO, 1993)	76
Tableau 3-8 Épaisseur minimale en pouce (IN) (AASHTO, 1993)	76
Tableau 3-9 Le taux de couverture pour le revêtement souple des aéroports (MANDAL, 2018).....	79
Tableau 3-10 Pourcentage du poids brut de l'avion pris par le train d'atterrissage principal de divers avions (MANDAL, 2018)	80
Tableau 3-11 différents types d'avions, poids brut et nombre de départs annuels (MANDAL, 2018).....	81

Liste des figures

Figure 0-1 Stabilisation de la plate-forme, route pan borneo, sarawak, Malaisie	4
Figure 0-2 Améliorations du chemin de fer, new taipei, Taiwan.....	5
Figure 0-3 Utilisation de géotextile dans un tunnel à Oran 2018	6
Figure 0-4 Coupe transversale d'une route avec fondation en hérisson.....	7
Figure 0-5 La grande muraille de Chine.....	7
Figure 0-6 Aqar quf - Iraq.....	8
Figure 0-7 Remblai d'accès au pont, M'sila ; Figure 0-8 Remblai routier, chott el hodna, Algérie	8
Figure 1-1 Cartes des réseaux routiers en Algérie	12
Figure 1-2 Répartitions du réseau routier par catégorie	12
Figure 1-3 Évolutions du réseau routier entre (2009-2016).....	12
Figure 1-4 Représentations sous forme histogramme du réseau routier à Tlemcen.....	13
Figure 1-5 Représentations sous forme secteur du réseau routier revêtu.....	13
Figure 1-6 Représentations sous forme secteur du réseau routier non revêtu.....	14
Figure 1-7 Profil en travers type d'une route	14
Figure 1-8 Coupe d'une structure de chaussée revêtue	16
Figure 1-9 Coupe d'une structure de chaussée non revêtue	17
Figure 1-10 Structure d'une chaussée souple	19
Figure 1-11 Structure d'une chaussée semi-rigide	19
Figure 1-12 Chaussée à structure mixte	20
Figure 1-13 Structure d'une chaussée rigide	20
Figure 1-14 Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante	23
Figure 1-15 Effet de la température sur la structure de chaussée	24
Figure 1-16 Dégradation causée par action du trafic et effet de gel et de dégel.....	24

Figure 1-17 RN 22 allons de la gare routière vers l'entrée de Tlemcen.....	26
Figure 1-18 Route à côté de centre pour insuffisants respiratoires vers le plateau de Lalla Setti	26
Figure 1-19 RN 7 à côté de laboratoire vétérinaire régional de Tlemcen.....	27
Figure 1-20 Route de montagne allons vers le plateau de Lalla Setti.....	27
Figure 1-21 Route à côté de jardin public hartoun	27
Figure 1-22 RN 7 allons de rond-point de mansourah vers les vestiges de la mansourah	28
Figure 1-23 RN 22 allons de la gare routière vers l'entrée de Tlemcen.....	28
Figure 1-24 Route de montagne à côté de la maison familiale petite perdreau FOSC	28
Figure 1-25 RN 6 qui relie le nord-ouest au sud-ouest de l'Algérie	29
Figure 1-26 route de montagne à côté de la maison familiale petite perdreau FOSC	29
Figure 1-27 Route de montagne vers le plateau de Lalla Setti.....	30
Figure 1-28 L'autoroute est-ouest de Lakhdaria vers Bouzegza.....	31
Figure 1-29 Route de montagne vers le plateau de Lalla Setti.....	31
Figure 1-30 Route avec désordre du profil	32
Figure 1-31 Route vers Djanet	32
Figure 1-32 RN 22 allons de la gare routière vers l'entrée de Tlemcen.....	33
Figure 1-33 RN 22 à l'entrée de tlemcen.....	33
Figure 1-34 RN 22 à l'entrée de Tlemcen	34
Figure 1-35 Route en France.....	34
Figure 1-36 Route en France.....	35
Figure 1-37 Route en France.....	35
Figure 1-38 Route située au Canada	36
Figure 1-39 RN 7 allons de rond-point de mansourah vers les vestiges de la mansourah	36
Figure 1-40 Route à côté de la faculté de médecine	37
Figure 1-41 Route située à birouana.....	37
Figure 1-42 Processus de dégradation d'une structure de chaussée	38
Figure 2-1 Géosynthétique pour la fonction de séparation	42

Figure 2-2 Géosynthétique pour la fonction de filtration	43
Figure 2-3 Géosynthétique pour la fonction de drainage	43
Figure 2-4 Géosynthétique pour la fonction de renforcement	43
Figure 2-5 Géosynthétique pour la protection et l'étanchéité.....	44
Figure 2-6 Géosynthétique lutte contre l'érosion	44
Figure 2-7 Géosynthétique pour ralentir les remontées des fissures	45
Figure 2-8 Géotextile non-tissé.....	48
Figure 2-9 Géotextile tissé	48
Figure 2-10 Géotextile tricoté.....	48
Figure 2-11 Géotextile cousu	49
Figure 2-12 Géogrille	49
Figure 2-13 Géogrille uniaxiale	50
Figure 2-14 Géogrille biaxiale	50
Figure 2-15 Géogrille triaxiale.....	50
Figure 2-16 Géonet.....	51
Figure 2-17 Les géomembranes.....	51
Figure 2-18 Géosynthetic clay liners	52
Figure 2-19 Géocellule.....	52
Figure 2-20 Géofaam.....	53
Figure 2-21 (a) Séparateur de drainage et de renforcement ; (b) Composite de drainage ; (c) Revêtement d'argile géosynthétique	53
Figure 2-22 Essai de détermination de la masse surfacique	54
Figure 2-23 Essai de traction des bandes larges.....	55
Figure 2-24 Essai de perforation statique (CBR).....	57
Figure 2-25 Essai de perforation dynamique.....	57
Figure 2-26 Marché des géotextiles par application.....	59
Figure 3-1 Comportement mécanique lors du passage des roues	63
Figure 3-2 Mécanisme de renforcement contrainte latérale	65

Figure 3-3 Mécanisme de renforcement augmentation de la capacité portance.....	65
Figure 3-4 Mécanisme de renforcement effet de membrane tendue.....	66
Figure 3-5 Pour l'estimation du coefficient de la couche structurale du béton bitumineux dense sur la base du module élastique (module de résilience).....	72
Figure 3-6 Variation de coefficient a_2 pour une couche de base granulaire avec divers paramètres de résistance de base	72
Figure 3-7 Variation en a_2 pour une couche de base traitée au ciment avec des paramètres de résistance de base	73
Figure 3-8 Variation de a_2 pour une couche de base traitée au bitume avec des paramètres de résistance de base	73
Figure 3-9 Variation de coefficient a_3 pour une couche de fondation granulaire avec divers paramètres de résistance de base	74
Figure 3-10 Les composants d'une structure de voie ferrée.....	77
Figure 3-11 Facteur de répétition de la charge modifié (α) en fonction des couvertures, durée de vie nominale 20 ans	79
Figure 3-12 Courbe de conception de chaussée flexible pour les zones critiques, B747-100, SR, 200 B,C,F pour un poids brut de 385 560 KG	81
Figure 4-1 situation géographique de la route et l'implantation des puits de reconnaissance	86
Figure 4-2 corps de chaussée en puits n°1	87
Figure 4-3 corps de chaussée en puits n°2	87
Figure 4-4 corps de chaussée en puits n°3	88
Figure 4-5 corps de chaussée en puits n°4	88
Figure 4-6 corps de chaussée en puits n°5	88
Figure 4-7 Les caractéristiques de MACGRID EG	92
Figure 4-8 la valeur de LCR en fonction de CBR.....	93
Figure 4-9 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 4,3$ millions ESAL.....	94
Figure 4-10 structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 19,1$ millions ESAL	94

Figure 4-11 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 11,9$ millions ESAL.....	95
Figure 4-12 structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 23,9$ millions ESAL	95
Figure 4-13 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 11,9$ millions ESAL et $m_3=0,8$	96
Figure 4-14 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 5,3$ millions ESAL.....	101
Figure 4-15 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 23,9$ millions ESAL.....	102
Figure 4-16 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 14,9$ millions ESAL.....	102
Figure 4-17 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 29,8$ millions ESAL.....	103
Figure 4-18 structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 14,9$ millions ESAL et $m_3=0,8$	103

Résumé

Depuis leur apparition les produits géosynthétiques ont prouvé leurs qualités et efficacités en apportant des multiples solutions dans différents secteurs, en particulier le secteur de génie civil. Le but de ce travail est d'intégrer l'exploitation de ces produits dans la stabilité et le renforcement des corps de chaussée. Ce qui va nous apporter une augmentation de la durée de vie de nos chaussées, une amélioration de la qualité de roulement et une réduction des fissures, tout ça avec une diminution des coûts de construction et d'entretien par rapport aux méthodes classiques.

Ce travail est divisé en deux parties, la première partie est une synthèse bibliographique et la deuxième partie est une application des calculs manuels d'une structure de chaussée renforcée par géogrid, le chemin de wilaya CW45 en côté ouest de village d'Amieur et le chemin de wilaya CW111 reliant Tagma à Tizi wilaya de Tlemcen. Suivi par une étude paramétrique, qui peut justifier le choix le plus économique.

Mots-clés : Géosynthétiques, Chaussée, fissure, Géogrid, renforcement, stabilité, dégradation.

Abstract

Since their appearance geosynthetic products have proved their qualities and effectiveness by providing multiple solutions in different sectors, especially in the civil engineering sector. The aim of this work is to integrate the use of these products in the stability and reinforcement of pavement bodies. This will bring us an increase in the service life of our pavements, an improvement in the rolling quality and a reduction in cracks, all this with a decrease in construction and maintenance costs compared to conventional methods.

This work is divided into two parts, the first part is a bibliographical synthesis and the second part is an application of manual calculations of a pavement structure reinforced by geogrid, the wilaya road CW45 on the west side of Amieur village and the wilaya road CW111 connecting Tagma to Tizi wilaya of Tlemcen. Followed by a parametric study, which can justify the most economical choice.

Keywords: Geosynthetics, Pavement, cracking, Geogrid, reinforcement, stability, degradation.

ملخص

منذ ظهورها أثبتت منتجات الجيوسينثتيك جودتها وكفاءتها من خلال توفير حلول متعددة في قطاعات مختلفة ، ولا سيما قطاع الهندسة المدنية. الهدف من هذا العمل هو دمج استغلال هذه المنتجات في استقرار وتقوية أجسام الرصف. سيوفر لنا هذا زيادة في عمر أرصفتنا، وتحسين جودة الركوب وتقليل التشققات، وكل ذلك مع خفض تكاليف البناء والصيانة مقارنة بالطرق التقليدية.

ينقسم هذا العمل إلى جزأين ، الجزء الأول عبارة عن ملخص ببليوغرافي والجزء الثاني تطبيق للحسابات اليدوية لهيكل الرصف المدعوم بشبكة جيوجريد طريق الولاية (س و 45) على الجانب الغربي من قرية أميور، وطريق الولاية (س و 111) الذي يربط تاجما بتيزي ولاية تلمسان. تليها دراسة بارامترية يمكن أن تبرر الخيار الأكثر اقتصادا

الكلمات المفتاحية: الجيوسينثتيك ، رصف ، شقوق ، جيوجريد ، تقوية ، استقرار ، تدهور

**INTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROPOSAL
DU SUJET**

i. Contexte général, aperçu du sujet et motivation de la thématique

Sous l'action des charges de trafic, des conditions climatiques et du vieillissement des matériaux, les chaussées se dégradent, il est bien remarqué que l'état des chaussées en Algérie est catastrophique et il est aussi l'un des facteurs majeurs qui causent des accidents mortels chaque année. Vu la grande importance du sujet et dans le cadre des projets fin d'études pour obtention de diplôme de master, on a choisi d'élaborer sur le thème de la stabilité et du renforcement des corps de chaussées par utilisation des géosynthétiques, on va s'intéresser à l'état actuel de nos chaussées et leurs niveaux de dégradation, les fissures et leurs différentes natures, puis on propose une solution par utilisation des géosynthétiques.

Ceci va nous donner une meilleure compréhension sur le domaine des produits géosynthétiques qui sont très vaste et très utilisé dans les pays développés, malheureusement moins utilisés en Algérie malgré que ils sont très efficaces, économiques et ils nous offrent de nombreux avantages, par exemple le développement durable.

D'autre part, pour nous les étudiants de voie et ouvrage d'art ce sujet va nous permettre d'apprendre et acquérir des notions et de nombreuses informations sur ces produits qui sont très utiles dans notre domaine, mais jamais intégrés dans notre formation académique.

ii. Énoncé du problème

Au moins 20% des chaussées en Algérie sont dégradées et nécessitent un entretien annuel donc besoin des moyens humains et matériels et des moyens financiers, « le budget annuel nécessaire pour la maintenance du réseau routier est estimé à 30 milliards DA » (RADI, 2019).

Pour cela, il faut trouver des solutions pour réduire ces pathologies et améliorer la durée de vie de nos chaussées et par conséquent améliorer l'économie du pays, ce qui nous ramène à la plus importante question :

Quelle est la meilleure solution à adopter pour résoudre le problème des dégradations des chaussées ?

iii. Cadre et hypothèses de travail

- ✓ Comment manager ce projet ?
- ✓ Quelle est la source des dégradations des chaussées ?
- ✓ Pourquoi les géosynthétiques ne sont pas utilisés en Algérie ?
- ✓ Est-ce que les géosynthétiques sont la meilleure solution à adopter ?

iv. Objectifs

- ✓ Un mémoire explicite et bien rédigé pour faciliter la compréhension du sujet.
- ✓ Apprendre et utiliser les outils de management de projet.
- ✓ Maîtriser les pathologies des chaussées.
- ✓ Identifier le meilleur produit géosynthétique pour résoudre ces pathologies.
- ✓ Sensibiliser et orienter l'état et les entreprises algériennes à utiliser ces produits géosynthétiques.

v. Méthodologie

Afin d'atteindre nos objectifs, notre travail sera structuré comme de suite : tout d'abord, on va déterminer un proposal de sujet ce qui va-nous servir à bien définir le cadre de ce mémoire en passant par un planning détaillé sur le projet, puis en finir par une conclusion générale.

Le chapitre 1 consiste à bien définir les corps de chaussée et mieux connaître leurs différentes pathologies.

Le chapitre 2 donnera le maximum d'information sur les produits géosynthétiques et leurs différents domaines d'application.

Le chapitre 3 sera consacré à l'utilisation des produits géosynthétiques dans le domaine routier, les techniques de conception et les mécanismes de renforcement des chaussées.

Le chapitre 4 est réservé pour une étude de cas sur une chaussée avec et sans renforcement géosynthétique avec une interprétation des résultats, ensuite un devis quantitatif et estimatif pour voir quelle est la solution la plus économique.

vi. Revue de la littérature

Les produits géosynthétiques comprennent une diversité des matériaux en polymères synthétiques qui sont spécifiquement utilisés dans le domaine du génie civil et la protection de l'environnement, ainsi que dans les ouvrages hydrauliques et le transport (BATHURST). Voici quelques exemples d'utilisation des géosynthétiques :

1. Pour l'amélioration de réseau routier en Malaisie orientale, une nouvelle route d'une longueur de 1060 kilomètres a été construite cette route travers plusieurs zones où le sol est de mauvaise qualité. A quoi s'ajoutent, le trafic intense et le passage fréquent des véhicules poids lourd qui dépassent la capacité portante de la chaussée. Une solution a été proposée par l'utilisation des produits géosynthétiques pour améliorer la performance de la route. Cette solution a résolu le problème de faible capacité portante de la chaussée et elle a réduit le coût du projet (Figure 0-1) (ACE).



Figure 0-1 Stabilisation de la plate-forme, route pan borneo, sarawak, Malaisie

2. Le projet est situé à Raifung, afin d'améliorer la sécurité ferroviaire et résoudre le problème du pompage des particules fines dans la couche de ballast en raison de la charge vibratoire du train, l'administration du chemin de fer de Taiwan a utilisé des matériaux géosynthétiques pour résoudre ce problème.

Après avoir retiré le ballast pollué au stade initial et gradué le niveau de la couche de fondation, une couche de géotextile tissé a été posée en tant que séparateur afin d'obstruer le mouvement ascendant des particules fines de la couche de fondation, la résistance élevée du géotextile à la traction améliore la capacité portante du sol de fondation et diminue le

INTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROPOSAL DU SUJET

tassement différentiel. Afin de prolonger sa durée de vie, un géotextile non tissé était utilisé pour la protection de la couche de géotextile tissé contre l'abrasion du ballast. Ensuite, une couche de géogrille a été placée sur le géotextile non tissé. La géogrille a une résistance à la traction et une résistance élevée afin de créer un effet de verrouillage avec le ballast et de renforcer la couche de base de la voie ferrée (Figure 0-2) (ACE).



Figure 0-2 Améliorations du chemin de fer, new taipei, Taiwan

3. Pour protéger le tunnel contre les infiltrations d'eau, deux couches de revêtement du tunnel en géosynthétique ont été utilisées, la première couche est composée d'une membrane appelée géotextile de fibre de polyester, cette membrane reprend les infiltrations d'eau et les transmet au drainage dans la partie inférieure du tunnel, la deuxième couche est une membrane de PVC (Figure 0-3).





Figure 0-3 Utilisation de géotextile dans un tunnel à Oran 2018

vii. Plan du calendrier de travail

Le planning est fait à l'aide d'outil numérique **MS PROJECT** version 2013 Voir Annexe

C.

viii. Engagement

On certifie que les présents travaux intitulés « Stabilisation et renforcement des corps de chaussée par utilisations des géosynthétiques » sont nos propres travaux.

Le travail n'a pas été, en tout ou en partie, présenté ailleurs pour évaluation. Lorsque le matériel a été utilisé à partir d'autres sources, il a été correctement reconnu et référencé.

ix. Historique

Les premières voies de communication terrestres étaient de simples sentiers. Ils se formaient naturellement et ne demandaient aucun entretien particulier. Jusqu'à la fin du IIe siècle, où les Romains mirent ont révolutionné la construction des routes en plaçant des techniques très avancées basées sur deux aspects principaux : s'adapter aux conditions locales et protéger les routes des infiltrations d'eau en alternant déjà plusieurs couches des matériaux et en bombant les surfaces des routes. C'est alors qu'on inventa les fondations en hérisson (Figure 0-4) (Texum).

INTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROPOSAL DU SUJET

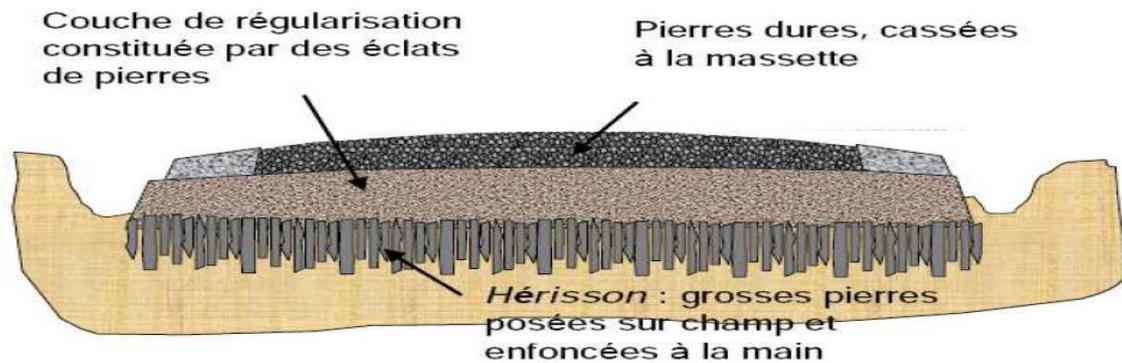


Figure 0-4 Coupe transversale d'une route avec fondation en hérisson

Sources : (ROBERT, et al., 2011)

Au XIXe siècle, il y avait une autre évolution dans les techniques de construction des routes suite à la création du concasseur par Eli Whitney Blake aux États-Unis en 1858 et la création du cylindre compresseur à vapeur par le français Louis Lepine en 1859 et à partir des années 1900, les voiries n'ont fait que prospérer (Texum).

Aujourd'hui, suite aux progrès qui ont connaît les êtres humains dans les différents secteurs en particulier le secteur du transport, il est devenu nécessaire d'améliorer, stabiliser et renforcer les réseaux routiers pour s'adapter aux nouvelles contraintes climatiques et du trafic en utilisant des matériaux et des conceptions d'ingénierie durable.

En effet l'amélioration et le renforcement des sols à l'aide des matériaux étaient connus et utilisés depuis les ancêtres. Jusqu'à aujourd'hui, il existe plusieurs cas par exemple :

- ✓ Le Renforcement à l'aide d'un mélange d'argile et de tamarix la grande muraille de Chine (BEKKOUCHE, 2020).

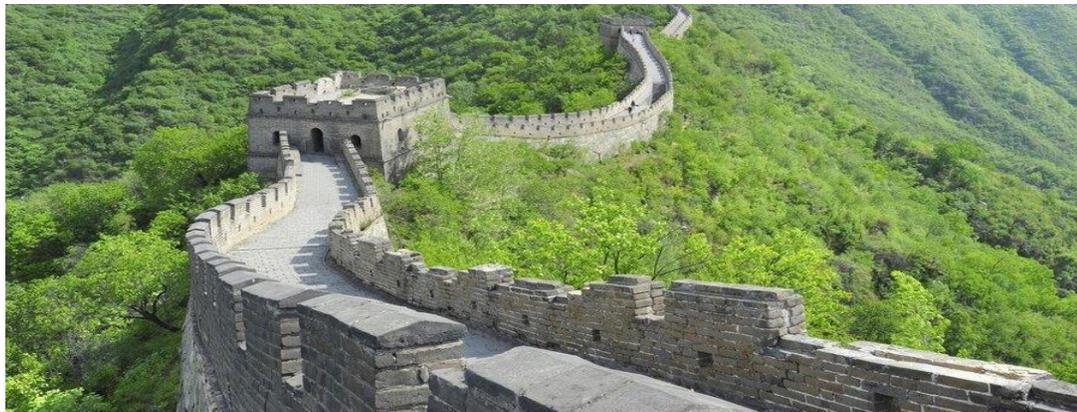


Figure 0-5 La grande muraille de Chine

INTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROPOSAL DU SUJET

- ✓ Le Renforcement de Dûr-Kurigalzu à l'aide de Papyrus (BEKKOUCHE, 2020).

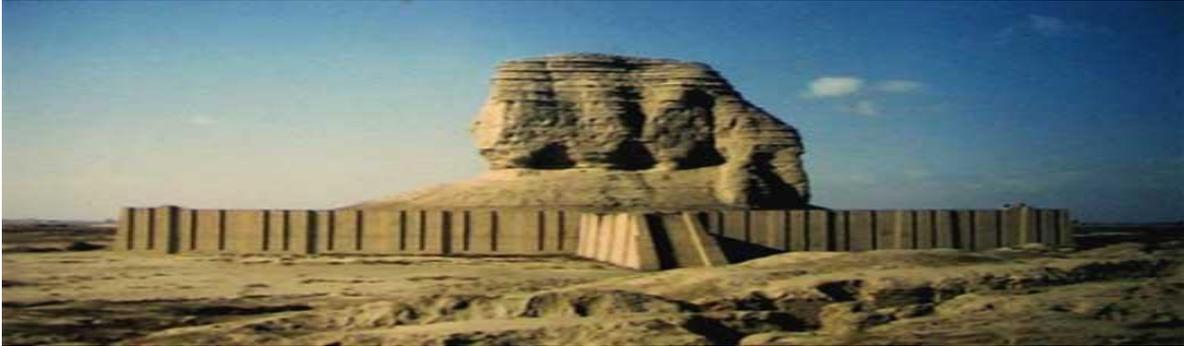


Figure 0-6 Aqar quf - Iraq

Sources : Google Image

En Algérie, l'utilisation des géosynthétiques a commencé ces dernières années, la première utilisation des géosynthétiques était pour un remblai d'accès au pont, M'Sila en 2005. La relance d'un projet de liaison ferroviaire entre les villes de Bordj-BouArreridj et Ain Touta, via la ville de M'Sila a forcé la compagnie nationale des chemins de fer à reprendre le travail sur le survol qui traverse la ligne de chemin de fer à l'entrée de la ville de M'Sila (Figure 0-7), une autre utilisation dans un remblai routier à Chott El Hodna pour la construction d'une route de 11 km de longueur à travers un lac salé reliant les villes de M'Cif et Ain El-Khadra. La nouvelle route a réduit la distance entre les deux villes à 16 km et ouvert le lac salé aux habitants, qui devaient auparavant faire un détour de 75 km (BOUAZZA, et al., 2010).



Figure 0-7 Remblai d'accès au pont, M'sila ; Figure 0-8 Remblai routier, chott el hodna, Algérie

Chapitre 1 :

Notions sur la route et la chaussée

1.1 Introduction

Depuis ses origines, la route a toujours été un facteur de développement par excellence et l'évolution de la route a toujours été étroitement liée aux besoins de déplacement d'homme. En Algérie, la demande de déplacement des biens et des personnes est en croissance, ce qui implique une augmentation de trafic et plus de contraintes qui influent directement sur la route et plus exactement sur la chaussée. Aujourd'hui, on peut dire qu'une grande partie de nos chaussées est dans une situation désespérée et besoin des investigations approfondies pour savoir les causes réelles et donner des solutions efficaces et durables pour résoudre ces problèmes et en même temps éviter de gâcher l'argent chaque année pour la réhabilitation ou la rénovation complète de ces chaussées. Ce premier chapitre sera consacré à donner le maximum d'informations concernant la route puis la chaussée, leurs types, leurs constituants et les différentes familles de dégradation des chaussées souples pour que le lecteur puisse comprendre et suivre ce travail sans aucun problème.

1.2 La Route

C'est une voie de communication terrestre, d'une certaine importance qui permet de relier entre les régions, les villages, les villes, et même les pays. On peut classer la route en 5 catégories (ISDJ, 2020) :

- 1) **L'autoroute** : l'autoroute est une route avec une voie de circulation séparée et sans intersections, elle est accessible qu'au point prévu à cet effet, et elle est réservée à la circulation rapide des véhicules à propulsion mécanique.
- 2) **La route express** : la route express est une route ou tronçons de route appartenant au domaine public de l'État, il est accessible seulement dans des points prévus à cet effet, et il est interdit à certaines catégories d'usagers et de véhicules.
- 3) **La route nationale** : la route nationale est une route secondaire qui traverse la majeure partie du territoire algérien, relie des grandes agglomérations en traversant plusieurs wilayas.

4) Chemin de wilaya : c'est une voie aménagée qui relie des grandes agglomérations.

Elle relie les principaux lieux de vie, activités économiques et touristiques de la wilaya.

5) Chemins communaux : ce sont des voies aménagées pour servir le passage d'un lieu

à un autre dépendant de la commune, on distingue 2 types :

- ✓ Chemins ruraux : ils sont utilisés pour le transport public et appartiennent au domaine privé de la commune.
- ✓ Chemins urbains : ce sont des voies à l'intérieur de l'agglomération urbaine.

1.2.1 Le réseau routier en Algérie

L'Algérie possède un des réseaux routiers les plus denses en Afrique d'une longueur de 133 741 km des routes (Figure 1-1). D'après les statistiques le mode dominant de transport en Algérie est le transport routier, autant que pour les voyageurs et les marchandises. En 2006, 90 % du transport se faisait par la route (Eco).

Tableau 1-1 Consistance du réseau routier d'Algérie selon le gabarit (MAMMA , 2017)

<i>Classe</i>	<i>Longueur (km)</i>	<i>Taux (%)</i>	<i>Revêtus (km)</i>	<i>Taux Revêtement (%)</i>	<i>2x2 Voies (km)</i>	<i>3 voies et plus (km)</i>
<i>Autoroute</i>	1145	0,9	1145	100	13	1132
<i>Route express</i>	3400	2,5	3400	100	3168	232
<i>Route nationale</i>	30 932	23,1	29 430	95	2580	320
<i>Chemin wilaya</i>	27 356	20,5	24 950	91	173	/
<i>Chemin communal</i>	70 908	53	43 000	61	21	/
<i>Total</i>	133 741	100	101 925	80	5942	1684

CHAPITRE 1 : NOTIONS SUR LA ROUTE ET LA CHAUSSÉE

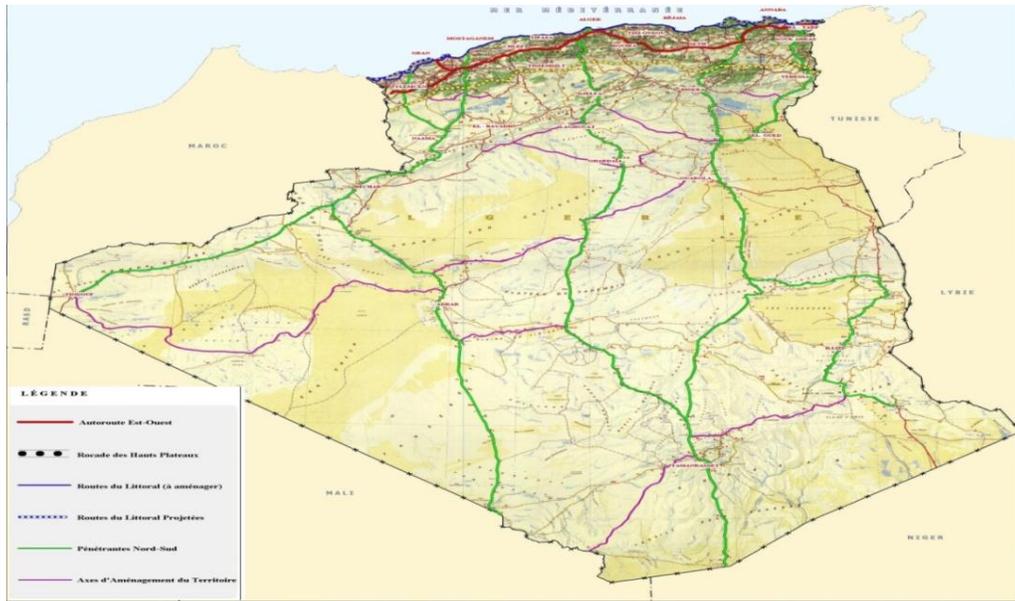


Figure 1-1 Cartes des réseaux routiers en Algérie

Source : Google Image

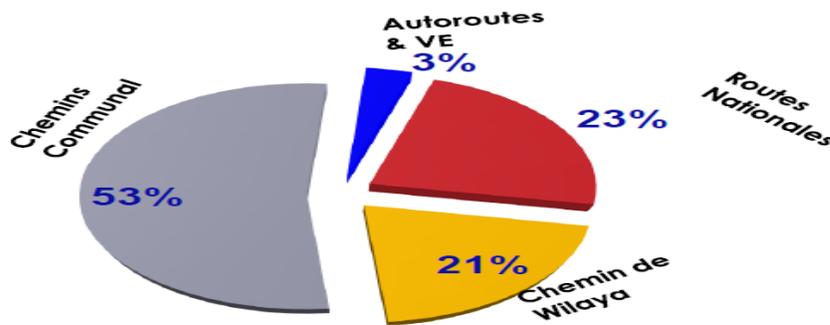


Figure 1-2 Répartitions du réseau routier par catégorie

Source : (MAMMA , 2017)

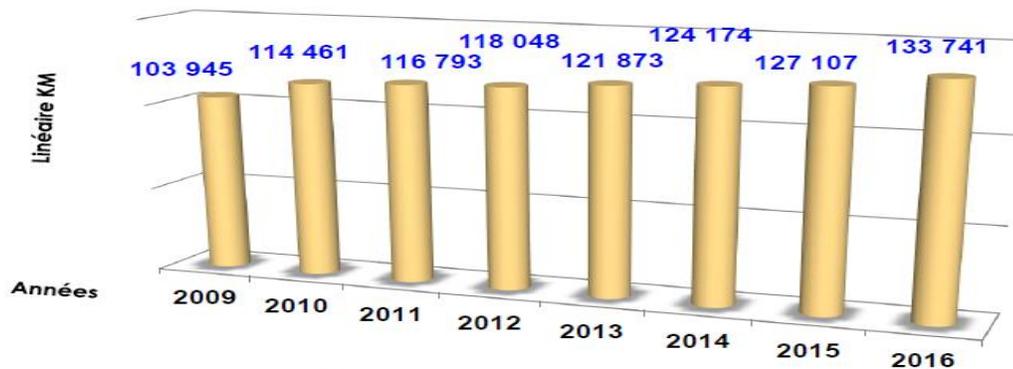


Figure 1-3 Évolutions du réseau routier entre (2009-2016)

Source : (MAMMA , 2017)

CHAPITRE 1 : NOTIONS SUR LA ROUTE ET LA CHAUSSÉE

Tableau 1-2 Répartitions du réseau routier à Tlemcen

<i>Type de Route</i>	<i>Revêtus</i>	<i>Piste</i>
<i>Routes Nationales</i>	18,714 %	0 %
<i>Autoroute</i>	2,41 %	0 %
<i>Chemins de Wilaya</i>	27,373 %	1,85 %
<i>Chemins Communaux</i>	43,533 %	6,12 %

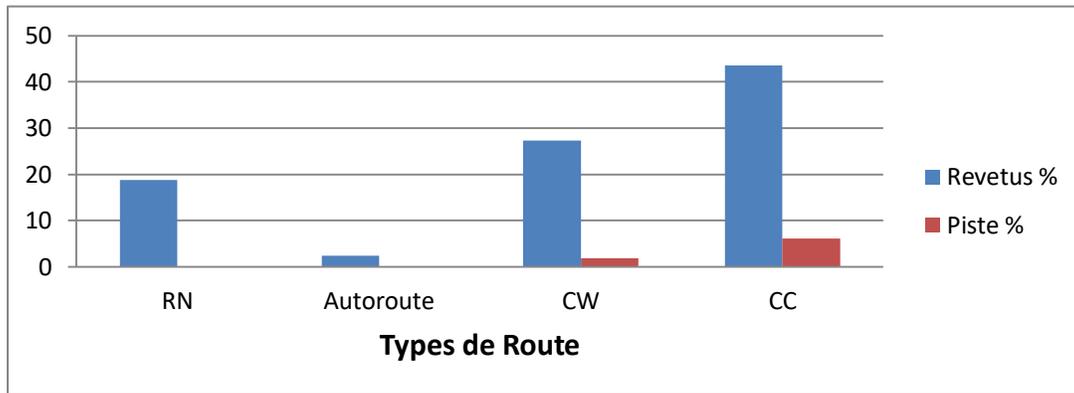


Figure 1-4 Représentations sous forme histogramme du réseau routier à Tlemcen

Tableau 1-3 États du réseau routier revêtu

<i>État</i>	<i>Bon</i>	<i>Moyen</i>	<i>Mauvais</i>
<i>Consistance (Km)</i>	3 654, 669	/	6
<i>Taux (%)</i>	99,84	/	0,16

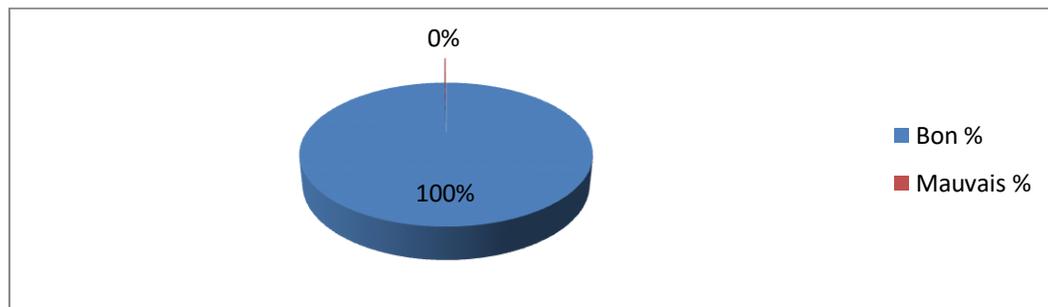


Figure 1-5 Représentations sous forme secteur du réseau routier revêtu

Tableau 1-4 États du réseau routier non revêtu

<i>État</i>	<i>Bon</i>	<i>Moyen</i>	<i>Mauvais</i>
<i>Consistance (Km)</i>	/	/	325,6
<i>Taux (%)</i>	/	/	100

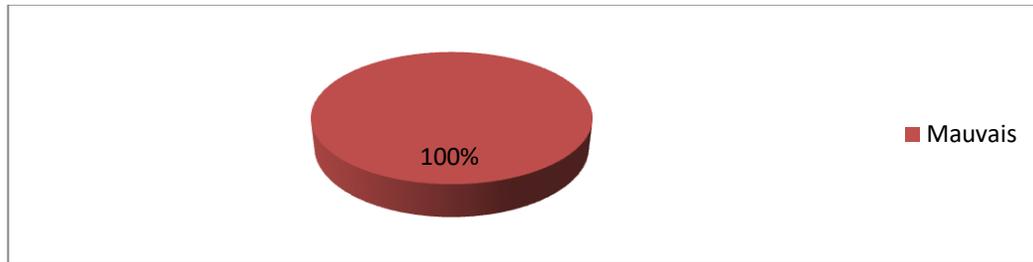


Figure 1-6 Représentations sous forme secteur du réseau routier non revêtu

1.2.2 Les caractéristiques géométriques de la route

Les caractéristiques géométriques de la route peuvent être définies comme l'ensemble des éléments nécessaires pour que la route soit efficace et confortable pour les usagers. La géométrie de la route est un concept qui doit tenir en compte de divers facteurs : humains, force mécanique, et le fait que la route évolue constamment. Elle est caractérisée principalement par les trois éléments suivants (ABDO, 2019) :

- 1) **Le tracé en plane** : il met en évidence les longueurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure dans les virages.
- 2) **Le profil en long** : il indique la valeur des pentes et des rampes, ainsi que les rayons des sommets des côtes et des points bas.
- 3) **Le profil en travers** : il représente essentiellement une coupe transversale de la chaussée et celle des accotements et il indique aussi les pentes transversales (Figure 1-7).

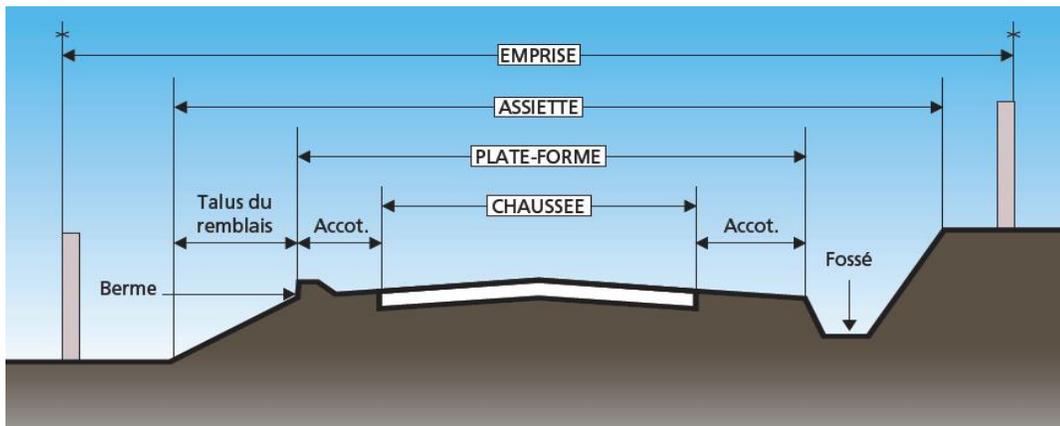


Figure 1-7 Profil en travers type d'une route

Source : (ABDO, 2019)

- ✓ **L'emprise** : elle représente une partie du terrain qui appartient à la collectivité et affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.
- ✓ **L'assiette** : il s'agit de la superficie réelle occupée par la route.
- ✓ **Plate-forme** : c'est la surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.
- ✓ **La chaussée** : c'est une surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- ✓ **Les accotements** : ce sont des parties latérales de la plate-forme à l'extérieur de la chaussée.

On va baser beaucoup plus sur la chaussée, car c'est la partie la plus importante de la route.

1.3 La chaussée

La chaussée est une structure multicouche plane et imperméable, dimensionnée pour assurer un écoulement du trafic dans des bonnes conditions de sécurité et de confort pour les usagers, et garantir sa fonction sur une période de service minimal fixé au stade d'élaboration du projet (ABDO, 2019).

1.3.1 Les données de base pour dimensionnement d'une structure de chaussée

Le dimensionnement d'une structure de chaussée nécessite plusieurs paramètres d'entrée, la partie suivante représente ces paramètres selon le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves en Algérie :

- 1) **La durée de vie** : Elle correspond à la durée de vie de la chaussée, elle peut aller de 15 à 25 ans généralement.
- 2) **Risque de calcul considéré** : il représente le risque r % sur une période de x années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité d'apparition des dégradations structurelles au cours de ces x années qui impliquent des travaux de renforcement de la chaussée.

- 3) **Les données climatiques** : elles dépendent de la zone où se trouve notre chaussée, elles sont directement utilisées dans le calcul de dimensionnement des chaussées.
- 4) **Trafic** : lors de dimensionnement d'une chaussée en prendre en considération le trafic du poids lourd (véhicules de plus de 3,5 tonnes).
- 5) **Sol support de chaussée** : il est assimilé à un massif semi-infini élastique, homogène et isotrope. Les caractéristiques mécaniques nécessaires pour la modélisation sont le module de Young (E) et le coefficient de Poisson (ν).
- 6) **Les caractéristiques des matériaux** : elles sont données selon les performances mécaniques relatives aux différents types des matériaux et les sollicitations admissibles pour chaque type de matériau.

Pour plus de détails concernant les données d'entrée voir (MTP02, 2001).

1.3.2 Rôle et constituant d'une chaussée

Une chaussée a pour but de transmettre et répartir les charges et les efforts dus au trafic vers le sol support, elle peut être revêtue ou non revêtue selon le besoin. Elle est constituée généralement des couches suivantes (Figure 1-8 et Figure 1-9) :

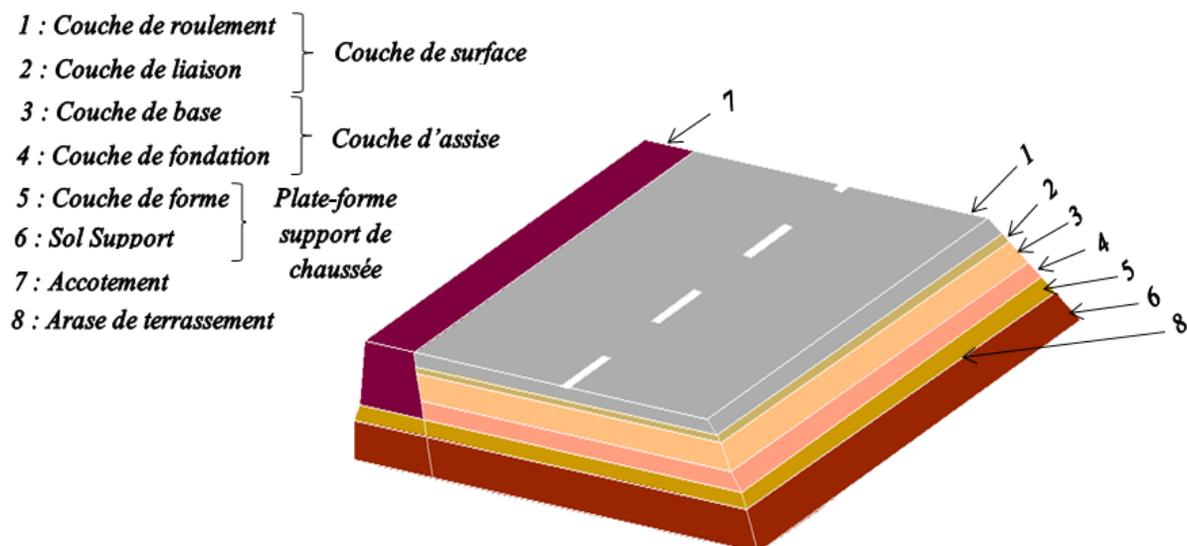


Figure 1-8 Coupe d'une structure de chaussée revêtue

Source : Auteur

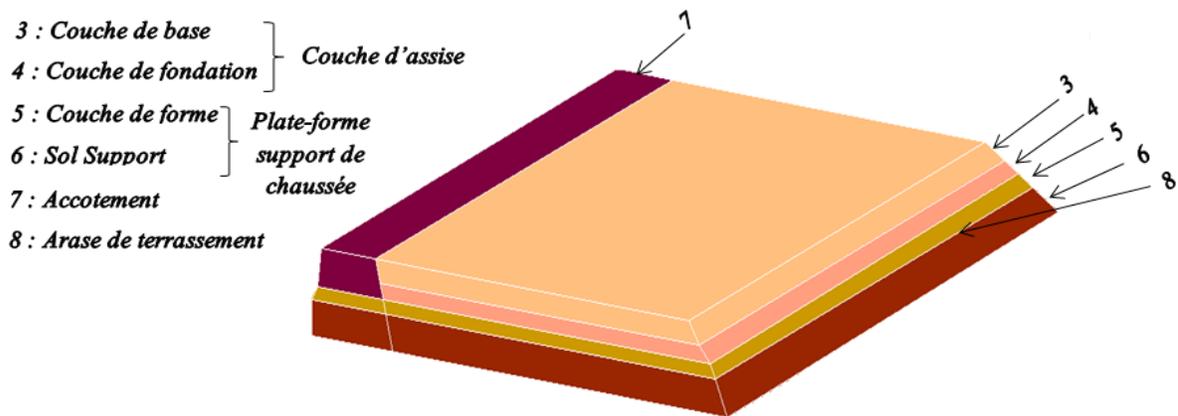


Figure 1-9 Coupe d'une structure de chaussée non revêtue

Source : Auteur

1.3.2.1 Couche de surface

Elle représente la partie supérieure de la structure de chaussée, elle est constituée d'une couche de roulement et une couche de liaison :

- 1) **Couche de roulement** : c'est la couche supérieure de la chaussée elle peut être mono ou multicouche d'une bonne qualité, car sur elle s'exercent les agressions dues au trafic et au climat, son épaisseur est de (1 à 8 cm).
 - ✓ **Rôle** : la couche de roulement joue un rôle très important tout d'abord dans la sécurité et le confort des passagers, la protection de couche d'assise contre l'infiltration des eaux et des sels de déverglaçage dans les zones à fortes chutes de neige, elle assure une bonne adhérence des pneumatiques avec la chaussée et elle diminue les bruits de roulement.
- 2) **Couche de liaison** : cette couche est généralement utilisée dans les chaussées de trafic plus important, son épaisseur est de (5 à 10 cm).
 - ✓ **Rôle** : son rôle est d'assurer une meilleure liaison entre la couche de roulement et la couche de base.

1.3.2.2 Couche d'assise

La couche d'assise se trouve sous la couche de surface, elle est constituée d'une couche de base et une ou plusieurs couches de fondation :

- 1) **Couche de base** : c'est une couche constituée d'un matériau de meilleure qualité que celui de la couche de fondation exemple (grave bitume, grave ciment) son épaisseur est de (10 à 20 cm).
 - ✓ **Rôle** : son rôle est d'assurer la distribution des charges et de réduire les actions dynamiques.
- 2) **Couche de fondation** : c'est une couche posée sur le terrain aménagé située sous la couche de base, elle forme une transition convenable entre la chaussée et le terrassement son épaisseur est de (10 à 20 cm).
 - ✓ **Rôle** : son rôle est de bien transmettre les efforts au sol porteur pour maintenir la déformation dans la plage admissible.

1.3.2.3 Plate-forme supporte de chaussée

Elle est composée d'une couche de forme qui n'est pas toujours nécessaire pour la structure de la chaussée reposée sur le sol support.

- 1) **Couche de forme** : elle est située sous la couche de fondation généralement constituée de matériaux grenus roulés ou concassés, sinon de matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) son épaisseur est de (15 à 45 cm).
 - ✓ **Rôle** : son rôle est d'assurer une transition entre la chaussée et l'arase, rendre les caractéristiques du sol terrassé plus homogènes et améliorer la portance du sol support.
- 2) **Arase de terrassement** : c'est la limite de la partie supérieure des terrassements sur laquelle on construit la chaussée.
- 3) **Sol support** : c'est le terrain naturel sur lequel se trouve la chaussée.

Remarque : les épaisseurs des couches de la chaussée ont un but de donner un ordre de grandeur on peut les augmenter ou même les diminuer selon plusieurs critères.

1.3.3 Les différents types de structure de chaussée

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue quatre différents types de structure de chaussée :

1.3.3.1 Les chaussées souples

Ce type de chaussée constitue l'immense majorité des chaussées actuelle dans le monde (coût convenable et facilité d'entretien). Elles sont composées d'une couche de fondation en grave concassée, d'une couche de base en matériaux non traités, stabilisé mécaniquement par énergie de compactage et enfin d'une couche de roulement d'un matériau traité au liant hydrocarboné (Figure 1-10) (ABDO, 2019).

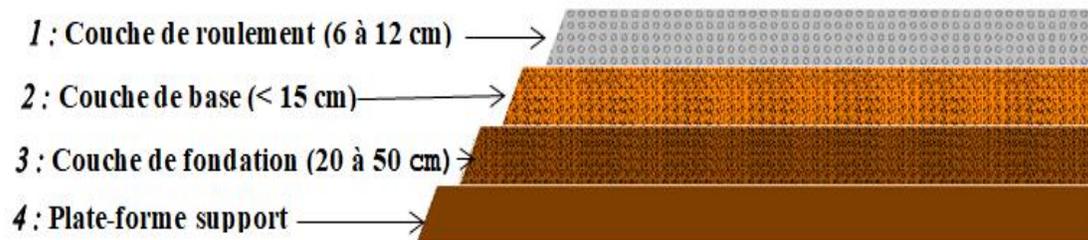


Figure 1-10 Structure d'une chaussée souple

1.3.3.2 Les chaussées semi-rigides

Les chaussées semi-rigides sont constituées d'une couche de surface en enrobé bitumineux et d'une couche de base et une ou deux couches de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (Figure 1-11) (ABDO, 2019).

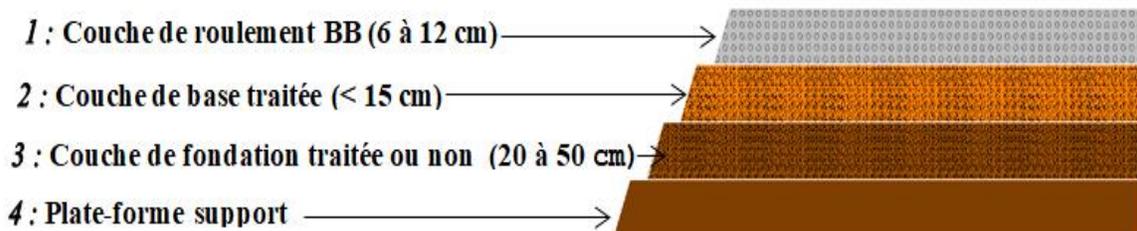


Figure 1-11 Structure d'une chaussée semi-rigide

1.3.3.3 Les chaussées à structure mixte

Les chaussées à structure mixte sont constituées d'une couche de roulement en enrobé bitumineux, et une couche de base en matériau traité au bitume qui sont disposés sur une couche de fondation en matériau traité au liant hydraulique reposant sur une plate-forme support (sol support) (Figure 1-12) (HIMOURI, 2006).

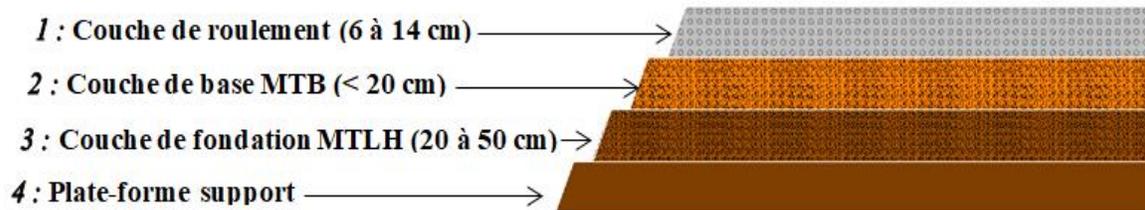


Figure 1-12 Chaussée à structure mixte

1.3.3.4 Les chaussées rigides

Dans les chaussées rigides, la couche de roulement est une dalle en béton de ciment (dosage de 300 à 400 kg/m³) comporte un ferrailage plutôt constructif treillis soudés avec des joints transversaux et longitudinaux. La dalle repose le plus souvent sur une couche de fondation en matériau traité au liant hydraulique (Figure 1-13) (HIMOURI, 2006).

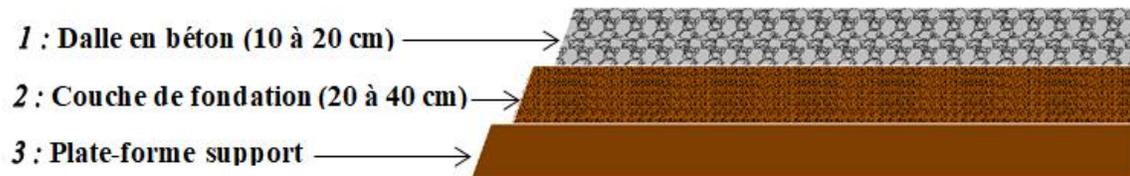


Figure 1-13 Structure d'une chaussée rigide

D'après le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves fascicule 3 (MTP03, 2001), il existe plusieurs matériaux qui sont utilisés dans les couches qui constituent le corps de chaussée, parmi ces matériaux, on a :

❖ **LES LIANTS HYDROCARBONÉS** : les liants hydrocarbonés sont des produits industriels relativement économiques, ils proviennent des matières premières telles que le pétrole, ils se composent de deux grandes catégories :

- 1) **Les goudrons** : ils proviennent de la distillation de la houille.
 - 2) **Les bitumes** : on distingue deux types :
 - ✓ **Les bitumes naturels** : ils proviennent des huiles naturelles.
 - ✓ **Les bitumes artificiels** : qui sont la plus grande proportion, origine distillerie du pétrole, pétrole léger pauvre en bitume 6 %, pétrole lourd riche en bitume 30 %.
- ❖ **Matériaux traités au bitume (MTB)** : ce sont des matériaux composés de bitume pur et de granulat, on distingue deux types :
- 1) **Grave bitume (GB)** : les graves-bitumes de granulométrie d/D sont des enrobés bitumineux à chaud (en mélangeant à chaud des granulats séchés et de bitume pur).
 - 2) **Sable bitume (SB)** : le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur.
- ❖ **Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)** : ce sont des matériaux composés de granulat plus un ou plusieurs liants hydrauliques :
- 1) **Grave laitier (GL)** : c'est un mélange effectué en centrale de malaxage constitué : d'un grave reconstitué de granulométrie d/D, d'un laitier granulé réactif et d'un activant basique, ce mélange est réalisé à une teneur en eau proche de celle de l'OPM.
 - 2) **Grave ciment (GC)** : c'est un mélange de granulat, de ciment, éventuellement de retardateur de prise, et d'eau, fabriqué en centrale de malaxage et mis en œuvre conformément aux spécifications de fiche de présentation.
 - 3) **Béton de ciment (BCg)** : c'est un mélange de ciment, de granulat et d'eau, les chaussées modernes en béton peuvent se présenter sous différentes conceptions, il s'agit de dalle en béton de ciment court ou moyen non armée.
- ❖ **Les matériaux non traités (MNT)** : ce sont des matériaux sans mélange, sans ajout d'eau ni d'autre chose telle que sortie de la carrière :

- 1) **Graves non traitées (GNT)** : ce sont des granulats d'une granulométrie de d/D , ne comportant aucun liant.
- 2) **Tufs calcaires (TUF)** : les tufs calcaires ou « encroûtements calcaires » sont des matériaux composés essentiellement, mais pas exclusivement de carbonate de calcium, ils existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré.
- 3) **Sable gypseux (SG)** : les encroûtements gypseux se présentent généralement en couches horizontales affleurantes à subaffleurants, les plus utilisés sont les encroûtements tendres (sables gypseux), ils sont très utilisés dans le domaine routier. Car leur extraction est facile et ils évoluent en sable au compactage.
- 4) **Arènes Granitiques (AG)** : les arènes granitiques proviennent de l'altération des granites aux conditions de surface, elles sont très répandues dans la région du Hoggar. Elles constituent la seule ressource en granulats disponibles dans les conditions technico-économiques.

1.3.4 Les différents facteurs influant sur la chaussée

Comme toutes les structures, la chaussée a une durée de vie bien définie lors de sa construction, mais suite à des nombreux facteurs qui agissent sur elle cette durée de vie diminue, et la chaussée se dégrade.

Parmi ces facteurs, on a :

❖ **Les facteurs extérieurs :**

Ce sont tous les effets externes qui affectent la chaussée et qui causent sa destruction au fil du temps comme l'effet du trafic et l'effet du climat.

- 1) **L'effet du trafic** : toute structure de chaussée routière doit résister aux diverses sollicitations, et assure une meilleure transition des charges dues au trafic qui est la source numéro 1 des dégradations vers le sol support. L'application d'une charge roulante engendre une déformation en flexion des couches de la structure (Figure 1-14). Cette flexion entraîne des sollicitations en compression à l'endroit de la charge et des déformations d'extensions à la base des couches

d'enrobées (HUN, et al., 2012), la répétition de ces charges provoque des tassements et des flexions dans la structure routière et elle est l'origine des phénomènes suivants :

- ✓ D'orniérage (causé par les compressions successives des matériaux bitumineux, mais aussi par les déformations des couches non liées éventuelles).
- ✓ De fatigue par l'accumulation de micro-dégradations créées par les tractions transversales répétées qui peuvent entraîner la ruine du matériau.
- ✓ De fissuration qui peut apparaître et se propager dans la chaussée.

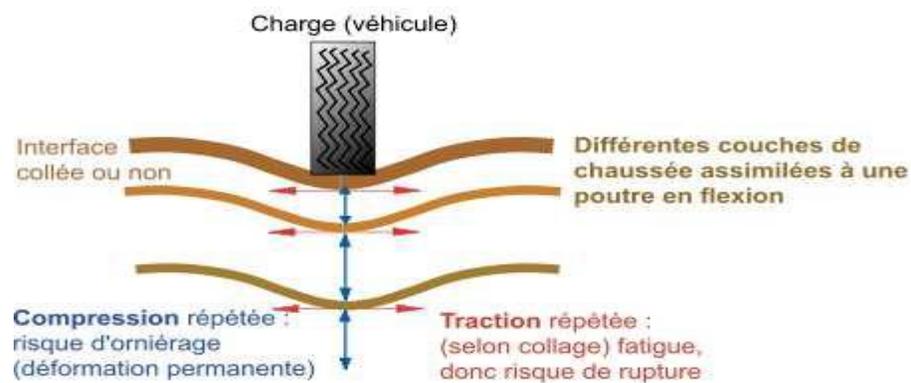


Figure 1-14 Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante

Source : (HUN, et al., 2012)

2) **L'effet du climat** : on parle beaucoup sur l'effet de la température et l'effet de l'eau.

a. **L'effet de la température** : la variation de la température joue un rôle très important dans le vieillissement du matériau dont deux effets mécaniques principaux :

- ✓ le changement de la rigidité du matériau.
- ✓ La création des contraintes et déformations au sein du matériau en raison des dilatations-contractions thermiques qui peuvent provoquer et faire propager des fissures avec les cycles thermiques (Figure 1-15).

À basse température, la rigidité élevée des enrobés bitumineux peut provoquer la fissuration thermique de la chaussée. Par contre, à une température élevée, la faible rigidité des enrobés bitumineux peut engendrer l'ornièrage à la chaussée (HUN, et al., 2012).

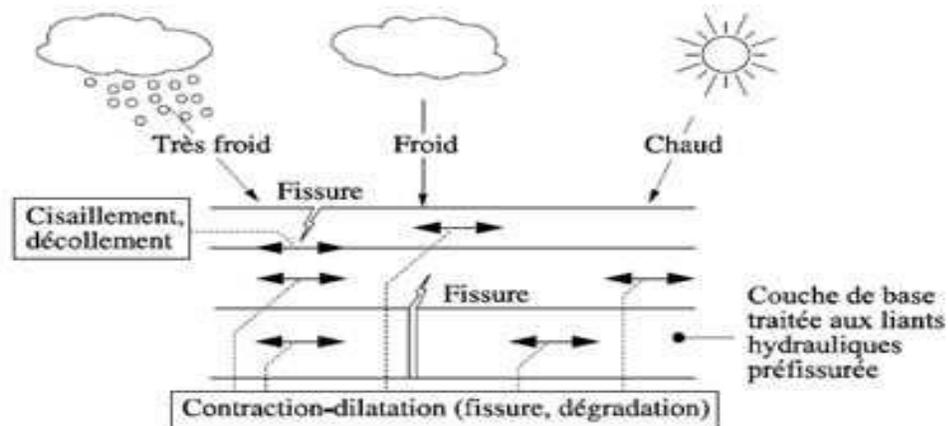


Figure 1-15 Effet de la température sur la structure de chaussée
Source : (HUN, et al., 2012)

b. **L'effet de l'eau** : l'eau est l'ennemi numéro 1 de génie civil il est aussi une des causes les plus importantes de la dégradation des chaussées, par exemple l'action du trafic et l'effet de gel et de dégel provoquent le décollement et l'arrachement du revêtement (HUN, et al., 2012) (Figure 1-16).

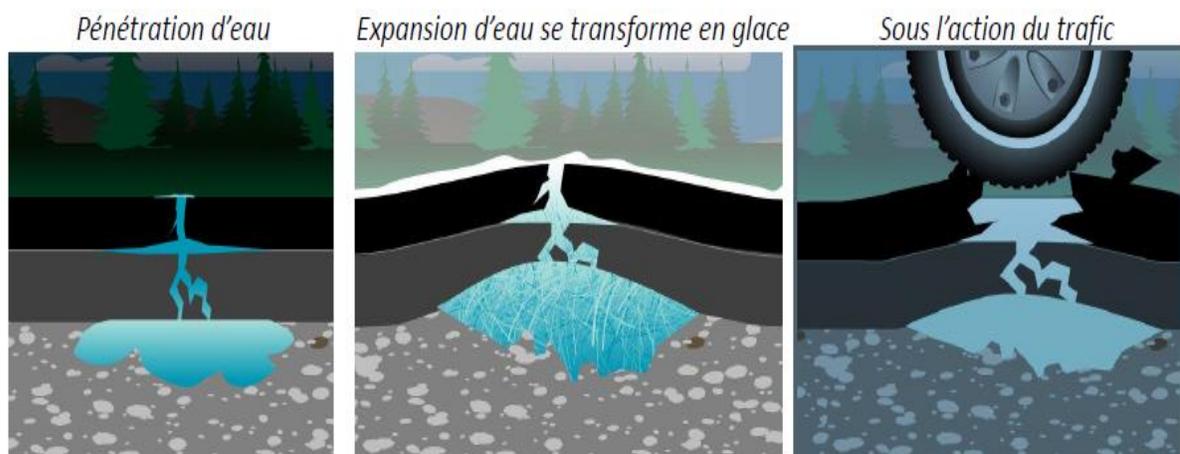


Figure 1-16 Dégradation causée par action du trafic et effet de gel et de dégel
Source : (HUN, et al., 2012)

❖ Les facteurs liés aux matériaux de construction :

Ces facteurs sont généralement liés aux matériaux utilisés dans la construction de la chaussée par exemple le manque de compactage des couches, l'insuffisance ou le surdosage de teneur en liant pour les matériaux bitumineux.

❖ Les facteurs liés à la structure, sa conception et réalisation :

Ces facteurs sont généralement liés à la méthode et les conditions lors de la construction de la chaussée par exemple un sous dimensionnement d'épaisseur des différentes couches peut faciliter et accélérer l'apparition des fissures, des fois le problème du collage entre les couches de roulement se traduit par un travail indépendant de ces couches.

1.3.5 Les différentes familles de dégradation des chaussées

Selon le manuel d'identification des dégradations des chaussées flexibles (BERNARD, et al., 2002) et le DT721 entretien préventif du réseau routier national, les dégradations des chaussées peuvent être regroupées en quatre grandes familles :

- ✓ Les fissures.
- ✓ Les déformations.
- ✓ Les arrachements.
- ✓ Les remontées.

1.3.5.1 Les Fissures

Le vieillissement et la répétition des charges de trafic sur la couche du roulement d'une chaussée souple causent une dégradation sous la forme des fissures d'abord isolées puis évoluant peu à peu vers un nid-de-poule, on distingue :

- 1) **Les fissures transversales** : ce sont des lignes de rupture perpendiculaires à l'axe de la chaussée, survenant sur tout ou une partie de la chaussée soit la couche de roulement et de base.



Figure 1-17 RN 22 allons de la gare routière vers l'entrée de Tlemcen



Figure 1-18 Route à côté de centre pour insuffisants respiratoires vers le plateau de Lalla Setti

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables :

- ✓ Retrait thermique.
- ✓ Fragilisation et vieillissement du bitume.
- ✓ Remontée des fissures après des travaux de resurfaçage.

2) Les fissures longitudinales : pour les fissures longitudinales il existe deux types :

- a. En piste de roue :** ce sont des lignes de rupture parallèles à l'axe de la chaussée et situées dans les bandes des roulements.



Figure 1-19 RN 7 à côté de laboratoire vétérinaire régional de Tlemcen



Figure 1-20 Route de montagne allons vers le plateau de Lalla Setti

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

i. Les causes probables :

- ✓ Fatigue du revêtement (trafic du poids lourd).
- ✓ Insuffisance de la capacité structurale de la chaussée.
- ✓ Une couche granulaire de la chaussée de mauvaise qualité de drainage.

b. Hors-piste de roue : ce sont des lignes de rupture parallèles à l'axe de la chaussée et situées en dehors des bandes de roulement, excluant les fissures de gel.



Figure 1-21 Route à côté de jardin public hartoun

Source et date : Auteur, (Tlemcen le 04/04/2020)



Figure 1-22 RN 7 allons de rond-point de mansourah vers les vestiges de la mansourah
Source et date : Auteur, (Tlemcen le 12/03/2020)

ii. Les causes probables :

- ✓ Ségrégation de l'enrobé à la pose.
- ✓ Vieillessement du revêtement.

3) Les fissures de gel : ce sont des ruptures du revêtement générant une ou plusieurs fissures actives sous l'effet du gel, soit ils sont rectilignes et localisés au centre de la voie, ou ils sont d'apparence lézardée et n'ont pas d'emplacement précis sur la chaussée.



Figure 1-23 RN 22 allons de la gare routière vers l'entrée de Tlemcen



Figure 1-24 Route de montagne à côté de la maison familiale petite perdreau FOSC
Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables :

- ✓ Soulèvements différentiels.
- ✓ Comportement gélif différentiel.
- ✓ Instabilité de remblai de la chaussée.
- ✓ Mauvais drainage.

4) Fissure en carrelage : c'est une rupture du revêtement sur des superficies 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.



Figure 1-25 RN 6 qui relie le nord-ouest au sud-ouest de l'Algérie

Date et Source : 24/04/2018, Google Image.



Figure 1-26 route de montagne à côté de la maison familiale petite perdreau FOSC

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

b. Les causes probables :

- ✓ Fatigue et vieillissement de la chaussée.
- ✓ Capacité portante insuffisante de la chaussée.

5) **Fissure en rive** : il s'agit d'une rupture en ligne droite ou en arc le long de l'accotement ou du bord de la chaussée.



Figure 1-27 Route de montagne vers le plateau de Lalla Setti

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables

- ✓ Manque de support latéral.
- ✓ Discontinuité dans la structure (par exemple élargissement de la chaussée).

1.3.5.2 Les déformations

Ce sont des dégradations qui apportent une transformation de la chaussée donnant à la surface de cette dernière une forme différente et rendant la circulation plus difficile et dangereuse. Ces dégradations commencent généralement dans la couche inférieure de la chaussée ensuite la couche de roulement parmi ces déformations, on a :

1) **L'ornièr**e : c'est une dépression longitudinale simple, double et parfois triple située dans la bande de roulement. Le profil latéral de ces dépressions ressemble généralement à des traces de pneus simples ou jumelés.



Figure 1-28 L'autoroute est-ouest de Lakhdaria vers Bouzegza

Date et Source : 09/07/2019, Google Image.

a. Les causes probables :

- ✓ Stabilité réduite de l'enrobé par temps chaud.
- ✓ Faible résistance de l'enrobé vis-à-vis le trafic du poids lourd.
- ✓ Manque de compactage de l'enrobé lors de la mise en place.
- ✓ Instabilité des matériaux qui constituent la couche de roulement ou la couche de base.
- ✓ Sous-dimensionnement ou fatigue du corps de chaussée.

2) **L'affaissement** : c'est une distorsion du profil généralement localisé près du bord de la chaussée ou près des conduites souterraines.



Figure 1-29 Route de montagne vers le plateau de Lalla Setti

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables

- ✓ Rempli instable et manque de support latéral.
- ✓ Manque de compactage ou présence des matériaux inadéquats.
- ✓ Zone de déblai argileux ou secteurs marécageux.

- ✓ Assèchement du sol support.
- ✓ Réseaux souterrains de mauvais état (dans le milieu urbain).

3) **Désordre du profil** : il s'agit des pentes et géométries inappropriées favorisant l'accumulation des eaux de ruissellement en flaques sur la surface de la chaussée.



Figure 1-30 Route avec désordre du profil

Source : Google Image

a. Les causes probables

- ✓ Points bas non drainés.
- ✓ Affaissement le long des bordures (dans le milieu urbain).

1.3.5.3 Les arrachements

Il s'agit des dégradations qui affectent généralement la couche de roulement. Parmi ces dégradations, on a :

1) **Désenrobage et arrachement** : c'est une érosion et départ du mastic et perte des gros granulats en surface produisant une détérioration progressive du revêtement.



Figure 1-31 Route vers Djanet

Date et Source : 13/12/2018, Google Image.



Figure 1-32 RN 22 allons de la gare routière vers l'entrée de Tlemcen
Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables

- ✓ Un trafic très important.
- ✓ Mauvais enrobage ou sous dosage du bitume.
- ✓ Utilisation d'agrégats hydrophiles ou bitumophobes.
- ✓ Manque de compactage.
- ✓ Vieillissement ou fragilisation de l'enrobé.
- ✓ Zone de freinage.

2) **Pelade** : c'est un arrachement par plaques de l'enrobé de la couche de surface.



Figure 1-33 RN 22 à l'entrée de tlemcen



Figure 1-34 RN 22 à l'entrée de Tlemcen

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables

- ✓ Mauvaise adhérence de la couche de surface (ex. : manque du liant d'accrochage).
- ✓ Sous dimensionnement de la couche de surface.
- ✓ Un trafic très important.

3) **Nid-de-poule** : c'est 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. Les trous peuvent être comblés par du rapiéçage temporaire.



Figure 1-35 Route en France

Source : Google Image

a. Les causes probables

- ✓ Des faiblesses ponctuelles dans la couche de fondation.
- ✓ Sous dimensionnement de la couche de surface.

1.3.5.4 Les remontés

Pour les remontées : on parle de ressuage qui est dû à la remontée de bitume à la surface du revêtement, accentuée dans les pistes des roues.



Figure 1-36 Route en France

Source : Google Image



Figure 1-37 Route en France

Source : Google Image

a. Les causes probables :

- ✓ Surdosage du bitume.
- ✓ Effet combiné de la température élevée du revêtement et des sollicitations du trafic.
- ✓ Excès du liant d'accrochage.
- ✓ Formulation d'enrobé inadapté aux sollicitations.

❖ **Dégradations et défauts en milieu urbain** : on distingue les trois types suivants :

- 1) **Fissuration autour des regards et des puisards** : il s'agit d'une rupture du revêtement selon une trajectoire circulaire et/ou radiale.



Figure 1-38 Route située au Canada

Source : Google Image

a. Les causes probables :

- ✓ Tassement ou consolidation de la chaussée.
- ✓ Chaussée sollicitée à l'effet du gel et de dégel.
- ✓ Influence dynamique.
- ✓ Perte de matériaux autour de la structure.

- 2) **Coupe et tranchée** : c'est des fissurations ou affaissement dans la tranchée ou dans son voisinage.

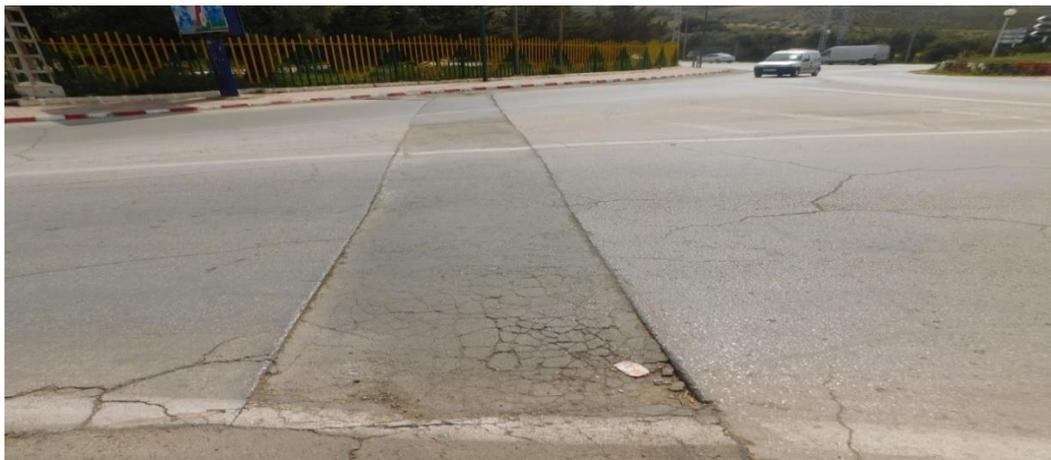


Figure 1-39 RN 7 allons de rond-point de mansourah vers les vestiges de la mansourah

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)



Figure 1-40 Route à côté de la faculté de médecine

Source et date : Auteur, (Tlemcen 12/03/2020)

a. Les causes probables

- ✓ Manque de compactage des matériaux de remblai de la tranchée.
- ✓ Hétérogénéité des matériaux.
- ✓ Remblai insuffisant sous les bords du revêtement.
- ✓ Manque d'étanchéité du joint de coupe.

3) **Dénivellation des regards et des puisards** : ce sont des inégalités entre la surface du revêtement et le dessus d'un puisard ou d'un regard.



Figure 1-41 Route située à birouana

Source et date : Auteur, (Tlemcen 04/04/2020)

a. Les causes probables

- ✓ Tassement ou consolidation de la chaussée.
- ✓ Déformation engendrée par les cycles de gel et de dégel.
- ✓ Impacts dynamiques cumulant des déformations permanentes.

1.3.6 Mécanismes de dégradation des interfaces de chaussées

Comprendre le mécanisme de dégradation des chaussées est une étape très importante pour connaître la meilleure solution à ces problèmes.

La dégradation commence par une fissuration fine et superficielle, qui s'approfondit sous les effets combinés des contraintes climatiques et du trafic. Par conséquent, un décollement se met en place entraînant du faïençage puis une pelade (premier arrachement) lorsque la fissure atteint l'interface au niveau de la couche support. L'évolution des arrachements cause un nid-de-poule qui nécessite une réparation immédiate et rapide (Figure 1-42) (KTARI, et al., 2016).

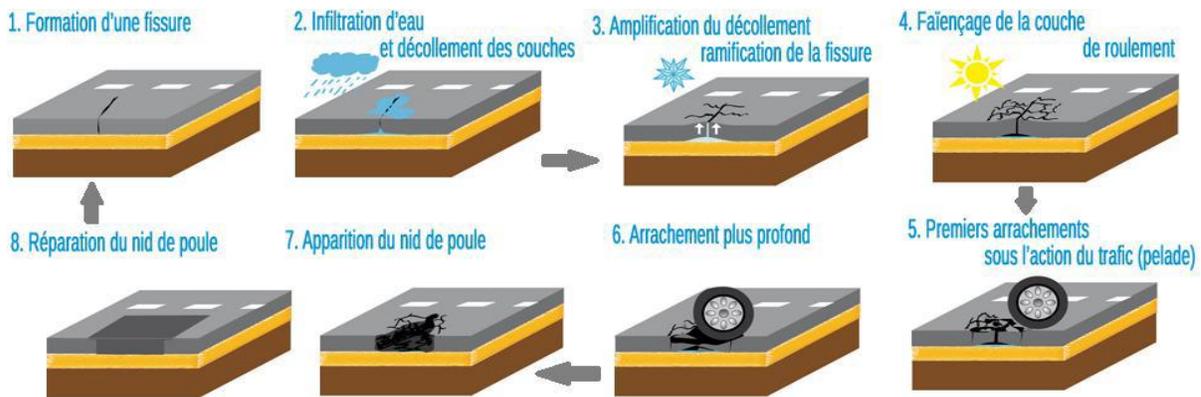


Figure 1-42 Processus de dégradation d'une structure de chaussée
Source : (KTARI, et al., 2016)

Tableau 1-5 Défauts et dégradations des chaussées municipales souples (CERIU, 2012)

<i>Défauts et dégradations en milieu urbain et rural</i>		
<i>Fissure linéaire</i>	1	<i>Fissure transversale</i>
	2	<i>Fissure longitudinale dans les pistes de roues</i>
	3	<i>Fissure longitudinale hors-piste de roues</i>
	4	<i>Fissure en rive</i>
<i>Fissure surfacique</i>	5	<i>Carrelage</i>
<i>Déformation de la surface</i>	6	<i>Ornière à petit rayon</i>
	7	<i>Ornière à grand rayon</i>
	8	<i>Affaissement</i>
	9	<i>Tôle ondulée</i>
<i>Défauts de l'enrobé et perte du revêtement</i>	10	<i>Désenrobage et arrachement</i>
	11	<i>Ressuage</i>
	12	<i>Pelade</i>
	13	<i>Nids-de-poule</i>

<i>Dégradations dues aux effets du gel</i>	14	<i>Fissure lézarde</i>
	15	<i>Soulèvements de petites longueurs d'onde (soulèvement aux fissures)</i>
	16	<i>Soulèvement de grandes longueurs d'onde</i>
<i>Dégradations et défauts en milieu urbain</i>	17	<i>Fissuration autour des accessoires de rue</i>
	18	<i>Dégradation relative à un rapiécage, à une coupe ou à une tranchée</i>
	19	<i>Dénivellation en périphérie des accessoires de rue</i>

1.4 Conclusion

Enfin, ce chapitre nous a permis de montrer l'importance du réseau routier en Algérie qui est l'un des plus grands réseaux routiers en Afrique, puis on a présenté les différents types de structure de chaussée et les matériaux qui constituent leurs différentes couches, après on a passé vers les différents facteurs et familles de dégradation qui influent sur la chaussée et causent sa dégradation. Malheureusement la majorité des chaussées en Algérie sont dégradées (pleines de fissures et de déformations). Il est donc très important de penser à des solutions économiques et durables pour les réduire, et même éliminer ses différentes pathologies. Pourquoi pas l'utilisation des produits géosynthétiques qui offrent des solutions alternatives, techniquement efficaces rentables et respectueuses de l'environnement.

Chapitre 2 :
Notions sur les géosynthétiques

2.1 Introduction

Le terme « géosynthétique » comporte deux parties : le préfixe « géo », qui fait référence à une utilisation finale associée à l'amélioration de la performance des travaux de génie civil impliquant de la terre, sol, roche, et le suffixe « synthétique », qui fait référence au fait que les matériaux sont presque exclusivement des produits fabriqués par l'homme, les matériaux utilisés dans la fabrication des géosynthétiques sont principalement des polymères synthétiques généralement dérivés de pétrole brut, bien que d'autres matériaux tels que le caoutchouc, la fibre de verre et les bitumes soient parfois aussi utilisés pour la fabrication des géosynthétiques (SHUKLA, 2016).

Durant ces dernières années les produits géosynthétiques ont bien révolutionné plusieurs domaines en particulier le domaine de génie civil, c'est pour cela les ingénieurs s'intéressent de plus en plus à ces produits pour résoudre de nombreux problèmes et en même temps protéger l'environnement.

Dans ce chapitre, on va donner quelques définitions des produits géosynthétiques leurs différents types, fonctions, propriétés, avantages, les normes et les essais européens applicables sur ces produits géosynthétiques.

2.2 Définition

Un géosynthétique est défini par le comité D35 des géosynthétiques de la société américaine pour les essais des matériaux (ASTM) comme un produit plan fabriqué à partir d'un matériau polymère utilisé avec le sol, la roche, la terre ou tout autre matériau lié à l'ingénierie comme partie intégrante d'un projet, d'une structure ou d'un système créé par l'homme (tec_textile).

Les géosynthétiques sont utilisés dans toutes les facettes de l'industrie des transports, y compris les routes, les aéroports, les chemins de fer et les voies navigables.

2.3 Fonction des géosynthétiques

Les géosynthétiques ont de nombreux domaines d'application dans le génie civil. Ils permettent toujours une ou plusieurs des fonctions principales suivantes : séparation, filtration, drainage, renforcement, protection et Étanchéité, lutte contre l'érosion et anti-fissuration.

2.3.1 Séparation

La fonction de séparation a pour but d'empêcher le mélange de deux couches adjacentes de matériaux granulaires différents sous l'effet de sollicitations mécaniques comme le trafic. Dans une structure de chaussée le géosynthétique séparateur sert à éviter le phénomène de contamination qui est à l'origine de la diminution de la capacité de transmission hydraulique de structure de chaussée, de sa résistance à supporter les charges sans déformation, et de l'augmentation de sa susceptibilité au gel (présence de fines particules et d'eau en suspension) (Figure 2-1) (CMG).

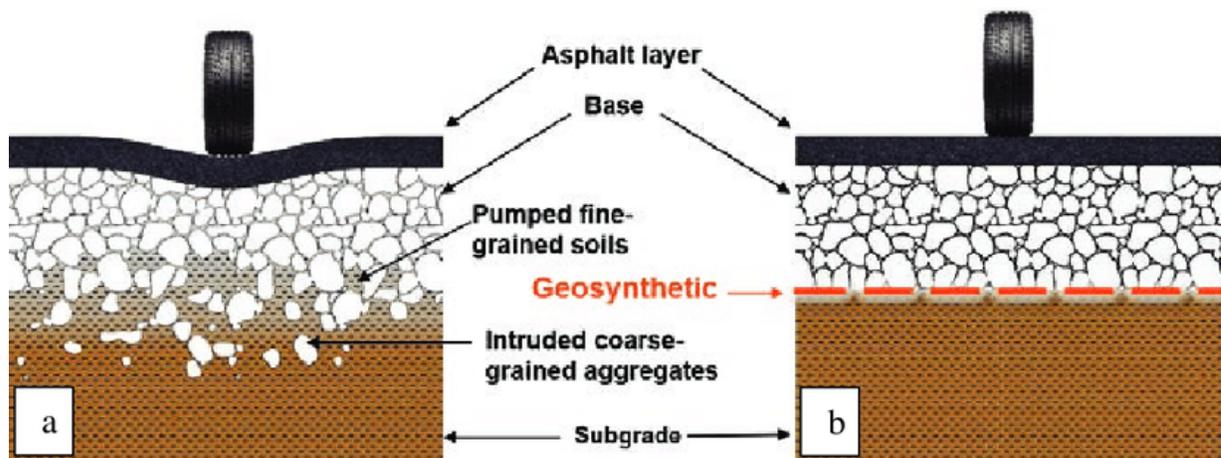


Figure 2-1 Géosynthétique pour la fonction de séparation

Source : (ZORNBERG, 2017)

2.3.2 Filtration

La fonction de filtration réside dans sa capacité à laisser passer l'eau tout en retenant les particules de sols pour éviter une contamination des matériaux voisins. Il s'agit ici de maintenir les particules du sol soumises à des forces hydrodynamiques tout en assurant l'écoulement du fluide (Figure 1-2) (CMG).

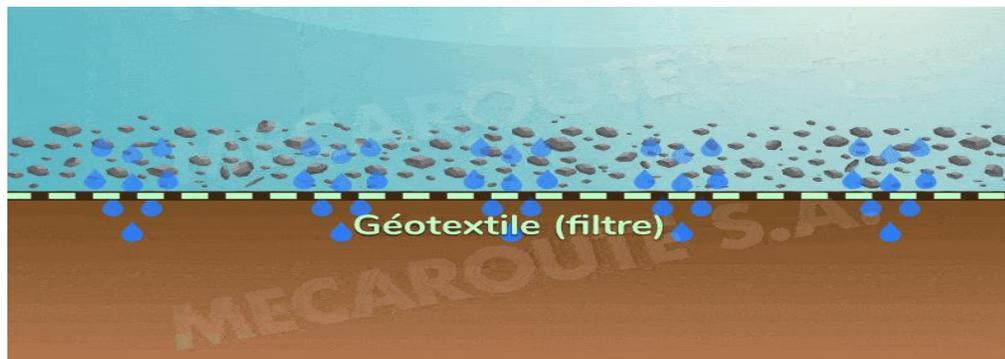


Figure 1-2 Géosynthétique pour la fonction de filtration

Source : Google Image

2.3.3 Drainage

La fonction de drainage a pour but de faciliter l'évacuation rapide des eaux pluviales et souterraines et d'autres fluides dans une structure (Figure 1-3) (CMG).

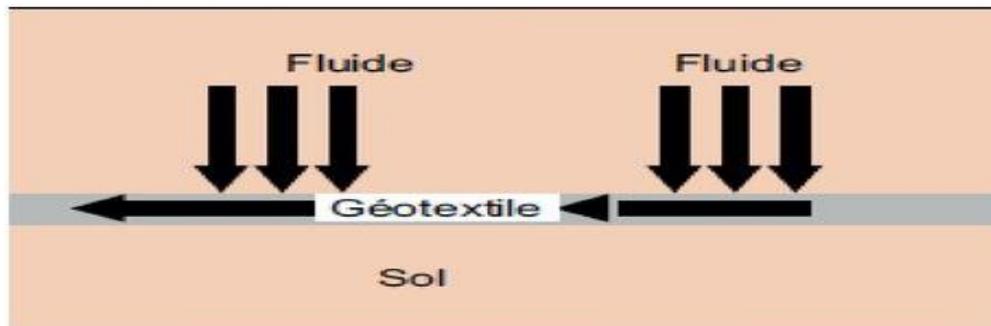


Figure 1-3 Géosynthétique pour la fonction de drainage

Source : (Géo_BTP)

2.3.4 Renforcement

Le géosynthétique peut être utilisé comme un élément de renforcement lorsqu'il est combiné avec le sol. Cet alliage produit un composite ayant des propriétés en résistance et déformation améliorées par rapport à un sol non renforcé (Figure 1-4) (BATHURST).

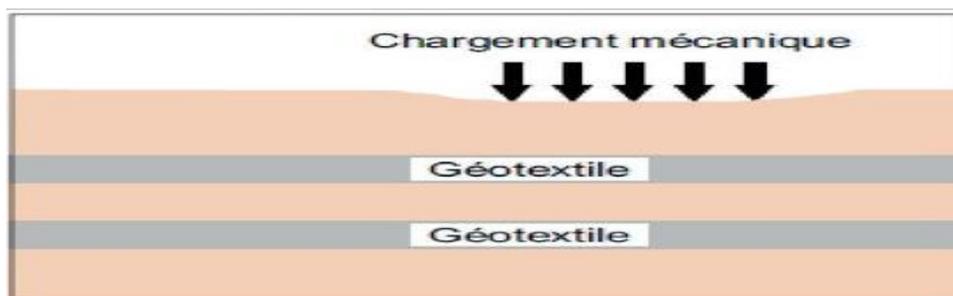


Figure 1-4 Géosynthétique pour la fonction de renforcement

Source : (Géo_BTP)

2.3.5 Protection et Étanchéité

Le géosynthétique limite ou empêche le désordre localisé dans les ouvrages. Par exemple utilisation de géotextile entre une géomembrane et le sol, pour qu'il absorbe les contraintes localisées et protège la géomembrane d'éventuelles perforations. Sa résistance au poinçonnement et son uniformité (répartition des charges) sont la solution idéale pour ce genre de pathologie (CMG).

L'imperméabilisation (étanchéité) consiste à installer des géosynthétiques pour empêcher les écoulements d'eau et des produits polluants vers les sols bassins contigus aux routes. Ce qui nous offre un gain en matériaux utilisés et nous facilite l'installation du système, en le rendant ainsi très approprié à de nombreux chantiers (bassins de rétention, réservoirs...) (Figure 1-5) (CMG).

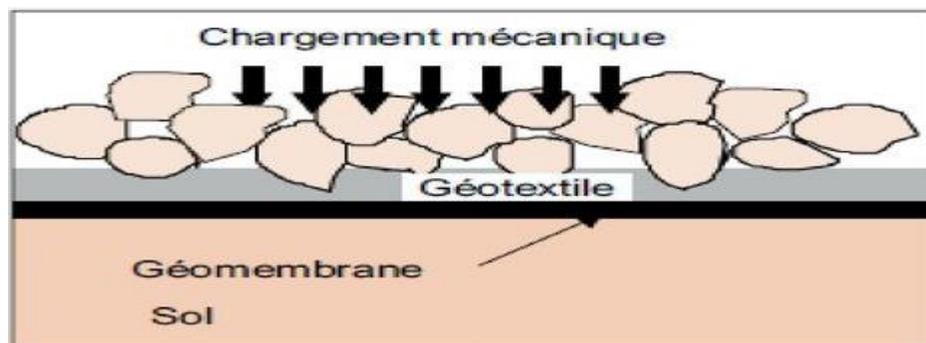


Figure 1-5 Géosynthétique pour la protection et l'étanchéité

Source : (Géo_BTP)

2.3.6 Lutte contre l'érosion

Il empêche, les différentes formes d'érosion de se développer ou bien minimise leurs conséquences sur les structures (Figure 1-6).

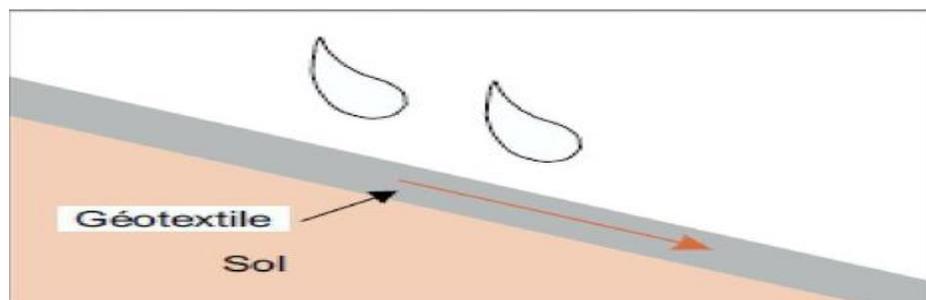


Figure 1-6 Géosynthétique lutte contre l'érosion

Source : (Géo_BTP)

2.3.7 Anti-fissuration

Depuis plusieurs dizaines d'années, les géotextiles sont également utilisés pour ralentir les remontées des fissures. Par exemple l'utilisation de fibres de verre dans les géotextiles dans la couche de roulement a permis de renforcer plus efficacement les chaussées, et ralentir les remontées des fissures soit dans la construction ou en rénovation de la chaussée. Une norme s'applique à ce domaine (NF EN 15 381) (Figure 1-7) (ZORNBERG, 2017).

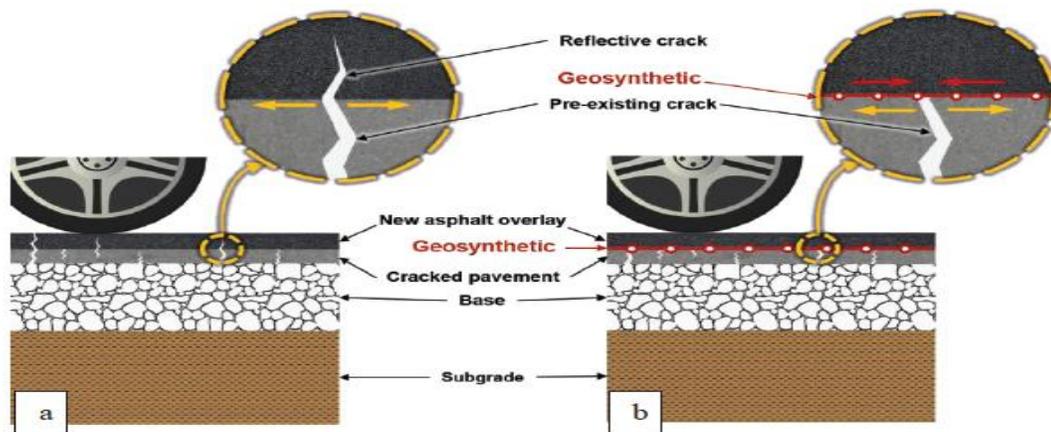


Figure 1-7 Géosynthétique pour ralentir les remontées des fissures

Source : (ZORNBERG, 2017)

2.4 Les Caractéristiques fondamentales des géosynthétiques

L'importance des géosynthétiques peut également être vue à partir de sa capacité à remplacer partiellement ou complètement le gravier, le sable, l'argile bentonitique et d'autres ressources naturelles. En effet, les géosynthétiques peuvent être utilisés pour améliorer la durabilité, l'esthétique et l'environnement des projets de génie civil grâce à leurs nombreuses caractéristiques :

- ✓ La non-corrosivité.
- ✓ La très grande résistance à la dégradation biologique et chimique.
- ✓ La durabilité à long terme sous la couverture du sol.
- ✓ La haute flexibilité.
- ✓ La légèreté.

- ✓ La simplicité de stockage, transport et d'installation.
- ✓ L'accélération du processus de construction.
- ✓ Solution économique qui peut servir à protéger l'environnement.
- ✓ Ils donnent un bon aspect esthétique aux structures.

2.5 Propriétés des géosynthétiques

Les géosynthétiques couvrent un large éventail de matériaux, ils peuvent être utilisés dans plusieurs applications de construction et peuvent servir à protéger l'environnement, donc il est très important d'évaluer les propriétés d'une géosynthétique pour être sûre qu'il remplit sa fonction prévue dans le projet.

2.5.1 Propriétés physiques

Les propriétés physiques des géosynthétiques qui sont d'un intérêt primordial, la masse par unité de surface, l'épaisseur et la rigidité. Il existe d'autres propriétés physiques, qui ne sont importantes que dans le cas des géogrilles et des géonets. Les propriétés physiques des géosynthétiques dépendent de la température et de l'humidité que celles des sols et des roches. Afin d'obtenir des résultats cohérents en laboratoire, il est donc important d'assurer un bon contrôle de l'environnement pendant les essais.

2.5.2 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques sont importantes dans les applications où un géosynthétique doit jouer un rôle structurel sous les charges appliquées, ou lorsqu'il doit survivre aux dommages de l'installation et aux contraintes localisées. Il existe plusieurs propriétés mécaniques des géosynthétiques, mais certaines d'entre elles sont importantes telles que (la compressibilité, les propriétés de traction et les propriétés de l'interface sol-géosynthétique).

2.5.3 Propriétés d'endurance et de dégradation

Les propriétés d'endurance et de dégradation (par exemple le comportement au fluage, la résistance à l'abrasion, la capacité d'écoulement à long terme, la durabilité), des géosynthétiques sont liées à leur comportement dans les conditions de service, y compris la durée d'utilisation.

2.5.4 Propriétés hydrauliques

Les propriétés hydrauliques des géosynthétiques influencent leur capacité à fonctionner comme des filtres et drains. Contrairement aux essais mécaniques sur les géosynthétique, les essais hydrauliques sont entièrement basés sur des nouveaux concepts, méthodes, dispositifs, interprétations et bases de données originales. Les propriétés hydrauliques les plus importantes des géosynthétiques sont la porosité, perméabilité et la transmissibilité, principalement de géotextile, de géonet et des nombreux géocomposites, qui sont utilisés dans des applications de filtration et de drainage.

2.6 Types des géosynthétiques

Il existe un certain nombre de géosynthétique différent. Les caractéristiques de ces matériaux varient considérablement, principalement en raison de la méthode de fabrication et des types et quantités de polymères utilisés pour leurs productions.

2.6.1 Géotextile

Le géotextile est un matériau textile synthétique flexible et perméable utilisé pour améliorer les propriétés du sol. Lorsqu'il est utilisé avec le sol, il a la capacité de séparer, filtrer, renforcer, protéger et drainer. Les géotextiles sont des matériaux idéaux pour de nombreux travaux d'infrastructure tels que les routes, les ports, les structures de drainage et autres projets civils et ils constituent le plus grand groupe de géosynthétiques en matière de volume (Textile).

2.6.1.1 Géotextile non-tissé

C'est un géotextile produit à partir de fibres orientées de manière directionnelle ou aléatoire les fibres en une nappe lâche par collage avec fusion partielle, aiguilletage, ou des liants chimiques. Il est très utile pour les applications de drainage et de contrôle de l'érosion ainsi que pour la stabilisation des routes sur les sols sensibles à l'humidité (Figure 1-8) (SHUKLA, 2016).

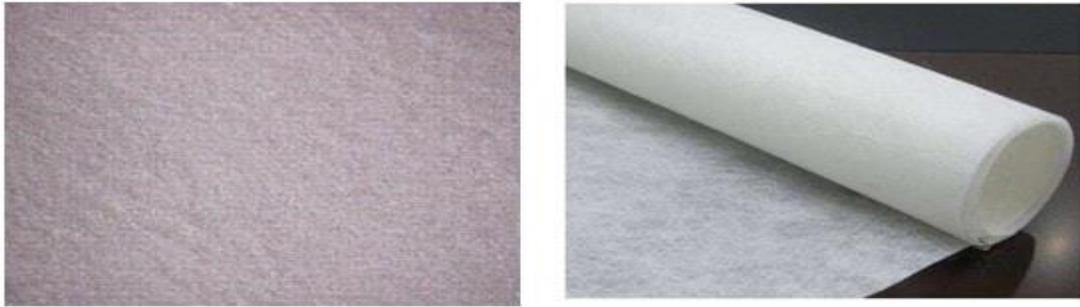


Figure 1-8 Géotextile non-tissé

Source : (Textile)

2.6.1.2 Géotextile tissé

C'est un géotextile produit par l'entrelacement, généralement à angle droit, de deux ou plusieurs ensembles de fils (constitués d'une ou de plusieurs fibres) ou d'autres éléments selon un procédé de tissage classique sur un métier à tisser (Figure 1-9) (SHUKLA, 2016).

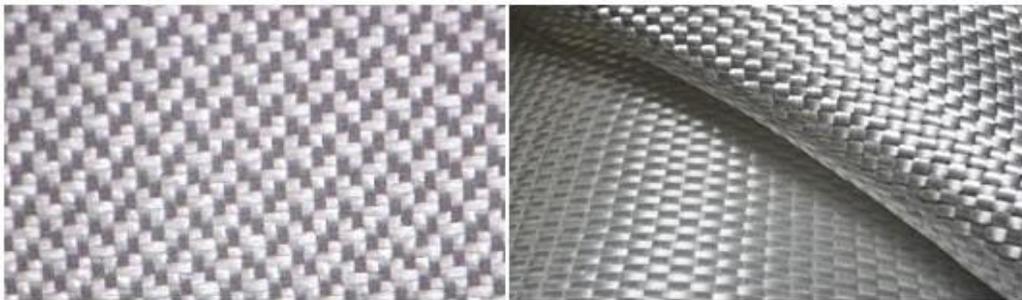


Figure 1-9 Géotextile tissé

Source : (Textile)

2.6.1.3 Géotextile tricoté

C'est un géotextile produit par l'entrelacement d'un ou de plusieurs fils (ou autres éléments) avec un métier à tricoter, au lieu d'un métier à tisser (Figure 1-10) (SHUKLA, 2016).

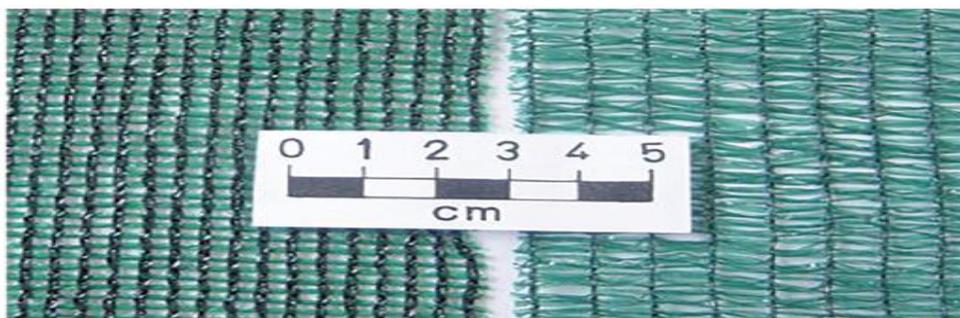


Figure 1-10 Géotextile tricoté

Source : (SHUKLA, 2016)

2.6.1.4 Géotextile cousu

Le géotextile cousu est un géotextile dans lequel se trouvent des fibres ou des fils ou les deux sont entrelacés/collés par couture ou par piquage (Figure 1-11) (SHUKLA, 2016).



Figure 1-11 Géotextile cousu

Source : (SHUKLA, 2016)

2.6.2 Géogrille

Il s'agit d'un produit polymère plan, constitué d'une maille ou d'un filet un réseau ouvert régulier d'éléments résistant à la traction qui se croise entre eux et favorisent l'interaction avec le sol ou les agrégats. Cette résistance à la traction et la rigidité élevées des géogrilles les rendent particulièrement très efficaces pour les applications du renforcement de sol (Figure 1-12) (SHUKLA, 2016).



Figure 1-12 Géogrille

Source : (Textile)

2.6.2.1 Géogrille uniaxiale

C'est une géogrille produite par l'étirement longitudinal d'un réseau de feuille de polymère perforée, et donc elle possède une résistance à la traction beaucoup plus élevée dans le sens longitudinal que la résistance à la traction dans le sens transversal (Figure 1-13) (SHUKLA, 2016).

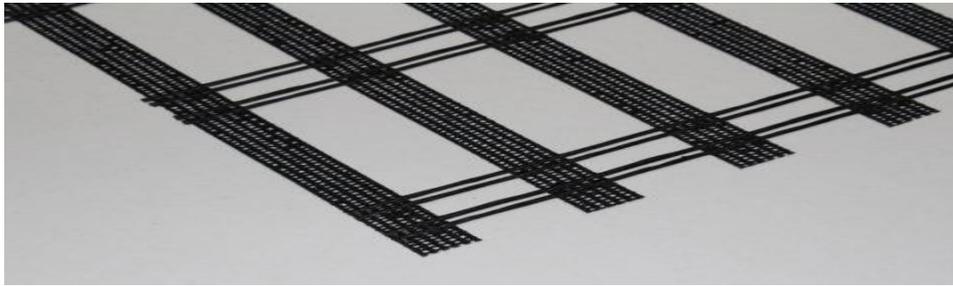


Figure 1-13 Géogrille uniaxiale

Source : (Innovex)

2.6.2.2 Géogrille biaxiale

C'est une géogrille produite par étirement dans les directions longitudinale et transversale d'une feuille de polymère régulièrement perforée, et qui possède donc une résistance à la traction égale dans les directions longitudinale et transversale (Figure 1-14) (SHUKLA, 2016).



Figure 1-14 Géogrille biaxiale

Source : (Innovex)

2.6.2.3 Géogrille triaxiale

C'est une géogrille produite pour avoir une résistance à la traction égale dans plusieurs directions, c'est-à-dire les mêmes propriétés de traction de presque 360° (Figure 1-15) (SHUKLA, 2016).



Figure 1-15 Géogrille triaxiale

Source : (SHUKLA, 2016)

2.6.3 Géonet

Il s'agit d'un produit polymère planaire constitué d'un réseau dense et régulier d'ensemble des nervures parallèles intégralement connectées et recouvrant des ensembles similaires sous différents angles (Figure 1-16) (SHUKLA, 2016).

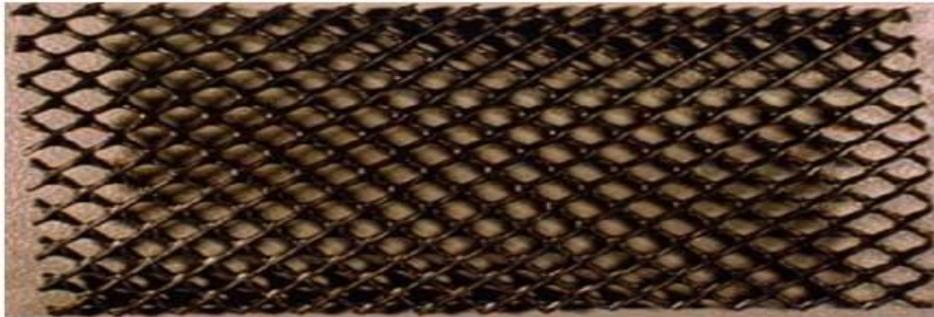


Figure 1-16 Géonet

Source : (Textile)

2.6.4 Géomembrane

Il s'agit d'une feuille synthétique plane, relativement imperméable, fabriquée à partir de matériaux de faible perméabilité pour contrôler la migration des fluides dans un projet comme barrière lorsque la géomembrane est utilisée dans la masse de la terre ou revêtement aux cas où la géomembrane est utilisée comme interface ou comme revêtement de surface (Figure 1-17) (SHUKLA, 2016).

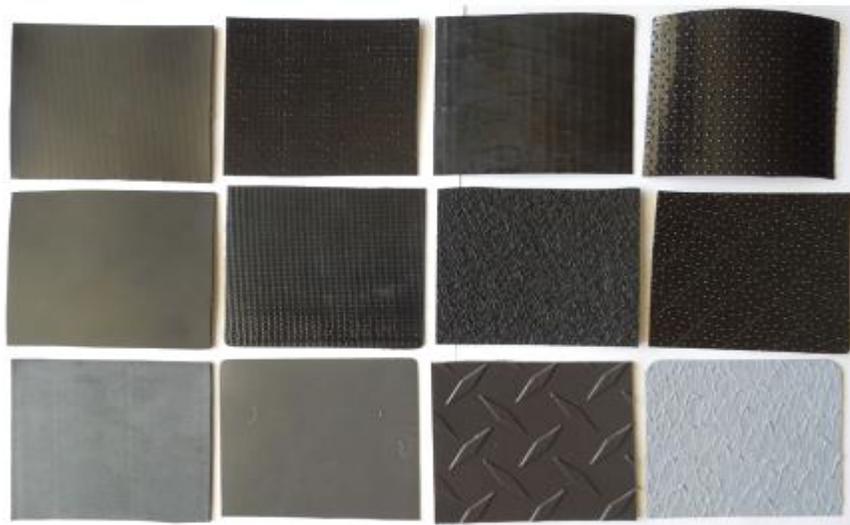


Figure 1-17 Les géomembranes

Source : (SHUKLA, 2016).

2.6.5 Revêtement d'argile géosynthétique (GCL)

Les revêtements d'argile géosynthétique (GCL) comprennent une fine couche d'argile de bentonite finement broyée. Lorsqu'elle est mouillée, l'argile gonfle et devient une barrière hydraulique très efficace (Figure 1-18) (Textile).



Figure 1-18 Géosynthetic clay liners

Source : (Textile)

2.6.6 Géocellule

Les géocellules sont des structures tridimensionnelles en forme de nid d'abeilles remplies de terre, de roche ou de béton. La structure GCS, souvent appelée géocellules, est constituée de bandes de feuilles de polymère ou de géotextile reliées en des points décalés de sorte que, lorsque les bandes sont écartées, un grand tapis en nid d'abeilles se forme (Figure 1-19) (Textile).



Figure 1-19 Géocellule

Source : Google Image

2.6.7 Géofaom

Il s'agit d'un produit léger sous forme de dalle ou de bloc avec une forte teneur en vide, et qui a des applications principalement en tant que remblai léger, isolant thermique et canal de drainage. Il est fabriqué par l'application du polymère sous forme semi-liquide grâce à l'utilisation d'un agent moussant (Figure 1-20) (SHUKLA, 2016).



Figure 1-20 Géofaom

Source : Google Image

2.6.8 Géocomposite

Il s'agit d'un terme appliqué au produit qui est assemblé ou fabriqué sous forme laminée ou composite à partir de deux ou plusieurs matériaux, dont un est au moins un géosynthétique (géogrille, géotextile, géomembrane, géonet ou tout autre type). La Figure 1-21 montre quelques types de géocomposites (SHUKLA, 2016).

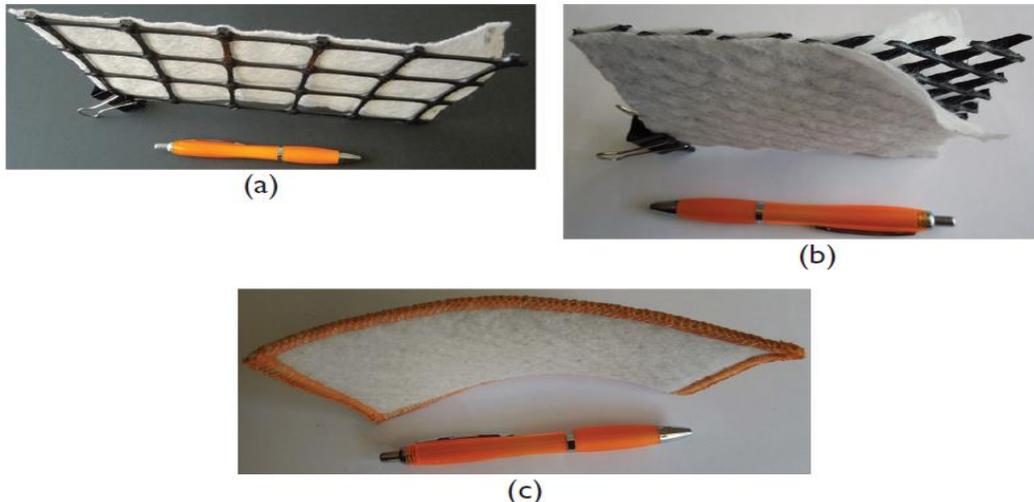


Figure 1-21 (a) Séparateur de drainage et de renforcement ; (b) Composite de drainage ; (c) Revêtement d'argile géosynthétique

Source : (SHUKLA, 2016)

2.7 Norme et essais sur les géosynthétiques

Depuis que les produits géosynthétiques ont été développés par l'industrie, leurs performances ont d'abord été mesurées par des tests traditionnels. Il est vite devenu évident que ces tests n'étaient pas liés au comportement spécifique des géosynthétiques, lorsqu'ils étaient en contact direct avec le sol. Pour cela, les instituts de recherche de différents pays ont mis au point des nouveaux équipements et méthodes d'essais plus adaptés à l'utilisation finale des produits géosynthétiques, voici quelques normes et essais sur ces produits :

❖ Détermination de la masse par unité de surface :

D'après la norme (EN ISO 9864, 2005) la masse est déterminée par le poids des petits échantillons de taille connue qui ont été sélectionnés en tenant compte de leur pleine largeur et longueur.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de faciliter le contrôle sur chantier et déterminer la masse surfacique des géotextiles et produits apparentés.
- ✓ **Méthodologie** : on découpe des éprouvettes de 100 cm², puis on les pèse à l'aide d'une balance de précision 10 mg. L'unité de mesure est le g/m².



Figure 1-22 Essai de détermination de la masse surfacique

Source : (Mecaroute)

❖ Détermination de l'épaisseur à des pressions spécifiées :

D'après la norme (EN ISO 9863-1, 2016) L'épaisseur du géotextile est déterminée à des pressions de 2 kPa à 200 kPa, que simule le géotextile en cours d'utilisation.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de déterminer l'épaisseur des produits géosynthétiques à des pressions spécifiées.
- ✓ **Méthodologie** : L'épaisseur d'échantillon est mesurée entre 2 plaques sur lesquelles est appliquée une pression définie pendant 30 secondes. Et à l'aide d'un comparateur on mesure l'épaisseur. L'unité de mesure est le mm.

❖ Essai de traction des bandes larges :

D'après la norme (EN ISO 10319, 2015) qui décrit l'essai de traction qui est applicable à la plupart des produits géosynthétiques sur des éprouvettes de 200 mm.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de déterminer les propriétés mécaniques en traction des géosynthétiques.
- ✓ **Méthodologie** : une éprouvette de 200 mm de largeur est tenue sur toute sa largeur entre deux mors d'une machine de traction travaillant à une vitesse de déformation constante et appliquant une force longitudinale, jusqu'à la rupture de l'éprouvette (Mecaroute). On mesure la résistance à la traction et l'allongement à la force maximale.

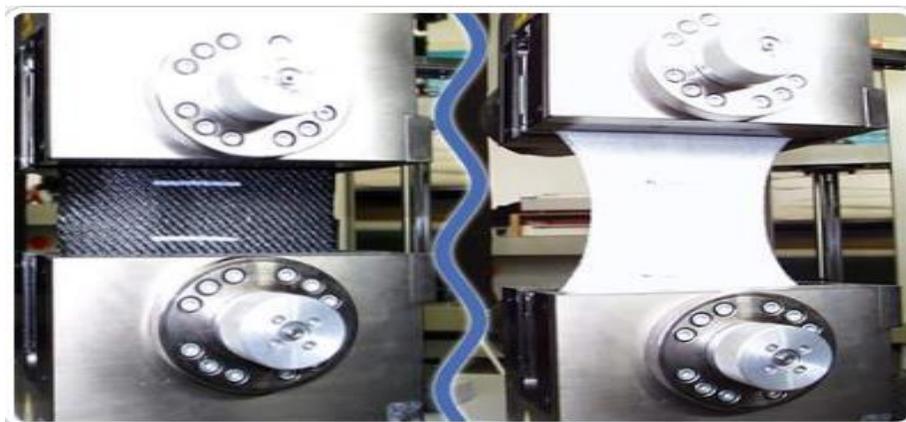


Figure 1-23 Essai de traction des bandes larges

Source : (Mecaroute)

❖ Essai de traction des joints/coutures :

D'après la norme (EN ISO 10321, 2008) qui décrit une méthode d'essai de référence pour la détermination des propriétés mécaniques en traction des joints et coutures des géosynthétiques, à l'aide d'une bande de grande largeur.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de déterminer les propriétés mécaniques en traction des joints et coutures des géosynthétiques.
- ✓ **Méthodologie** : Une éprouvette de géosynthétique d'une largeur de 200 mm contenant un joint / une couture est serrée sur toute sa largeur dans les pinces d'une machine d'essai de traction fonctionnant à une vitesse de déformation prédéterminée et soumise à une force longitudinale (perpendiculaire à l'axe de la couture) jusqu'à ce que le joint / la couture du géosynthétique soit déchirée.

❖ **Détermination de l'efficacité de protection d'un géosynthétique contre l'effet d'un impact :**

D'après la norme (EN ISO 13425, 2005) qui décrit un essai de caractérisation permettant de déterminer l'efficacité de la protection offerte par un produit géosynthétique sur une surface dure, soumis à l'impact d'un objet hémisphérique.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de déterminer l'efficacité de la protection offerte par un produit géosynthétique
- ✓ **Méthodologie** : Un échantillon de test géosynthétique est soumis à une charge d'impact causée par une tête d'essai rigide à tête hémisphérique. La tête d'essai frappe l'échantillon avec une énergie connue.

❖ **Essai de perforation statique (CBR) :**

D'après la norme (EN ISO 12236, 2006) un piston d'acier (50 mm de diamètre) est poussé à une vitesse constante vers le centre d'un échantillon, qui est attaché entre deux bagues d'acier, jusqu'à ce qu'il le transperce. La force d'enfoncement et le déplacement sont mesurés.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif d'étudier et de comprendre les efforts subis par le géotextile lors de sa mise en œuvre, ou en service.
- ✓ **Méthodologie** : un poinçon cylindrique plat est appliqué, à une vitesse de déplacement constante de 50 mm/min, sur le centre d'une éprouvette et perpendiculairement à celle-ci. Durant cette opération, on trace la courbe de résistance au poinçonnement / l'enfoncement (Mecaroute). La valeur indiquée

sur la fiche technique du produit est la valeur à la rupture. L'unité de mesure est le kN.



Figure 1-24 Essai de perforation statique (CBR)

Source : (Mecaroute)

❖ Essai de perforation dynamique (test de chute du cône) :

D'après la norme (EN ISO 13433, 2006) un cône d'acier est lâché d'une hauteur déterminée, le degré de pénétration constitue une indication sur le comportement du géosynthétique lors de la chute de pierres anguleuses sur sa surface.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de déterminer la résistance de géosynthétiques à la pénétration par un cône.
- ✓ **Méthodologie** : L'échantillon d'essai est serré horizontalement entre deux anneaux d'acier. On fait tomber un cône en acier inoxydable, la pointe en premier, d'une hauteur de 50 cm sur le centre de l'échantillon à tester. Le degré de pénétration est mesuré en insérant un cône de mesure à angle aigu dans le trou.

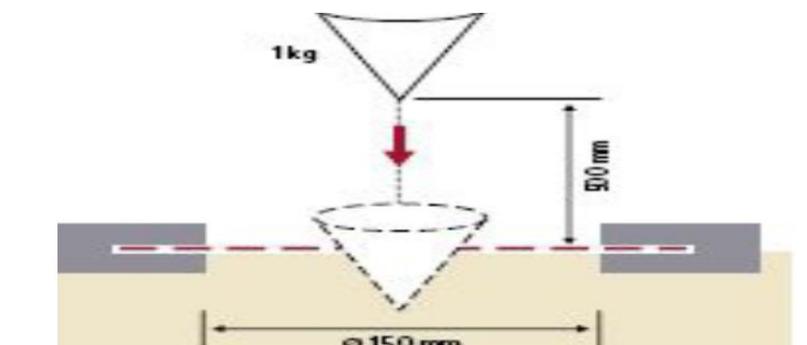


Figure 1-25 Essai de perforation dynamique

Source : (dup20)

❖ Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau sous charge :

D'après la norme (EN ISO 10776, 2012) qui décrit une méthode de détermination de la perméabilité à l'eau des géotextiles ou des produits apparentés, perpendiculairement à leur plan, lorsqu'ils sont soumis à des charges spécifiques de compression.

- ✓ **Objectif** : cet essai a pour objectif de déterminer la perméabilité à l'eau d'une couche d'un géotextile ou produit apparenté sous charge.
- ✓ **Méthodologie** : On mesure le débit d'eau normale sur le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté à une série de niveaux de pression constants sous des contraintes de compression de 2 kPa, 20 kPa et 200 kPa.

2.8 Marché des géosynthétiques

L'utilisation croissante des géosynthétiques dans les activités de construction devrait stimuler le développement durable et contribuer de manière significative à la réduction de l'empreinte carbone. En outre, la pénétration des géotextiles, des géonets et des géogrilles dans la construction des routes, des chemins de fer et les aérodromes contribuent à réduire le coût global d'installation de ces infrastructures de transport.

2.8.1 Aperçu sur les Géotextiles et les géogrilles

Les géotextiles représentaient 48,9 % de la part des revenus mondiaux en 2018 en raison de la pénétration croissante des produits pour le renforcement des étangs, des rues, des remblais et des pipelines. En outre, les géotextiles sont utilisés pour le développement des réseaux ferroviaires en raison de leur capacité à faciliter la séparation des couches de sol du sous-sol sans entraver la circulation des eaux souterraines (Market_size).

Les géogrilles sont principalement utilisées dans la construction de route et de chemin de fer pour renforcer la base de la structure sur les sols mous en raison de la grande capacité portante du produit. En outre, ces grilles sont utilisées dans les murs de soutènement pour le renforcement. Dans le futur prochain le marché mondial des géogrilles devrait connaître une croissance substantielle en raison de leur application croissante dans l'industrie des infrastructures.

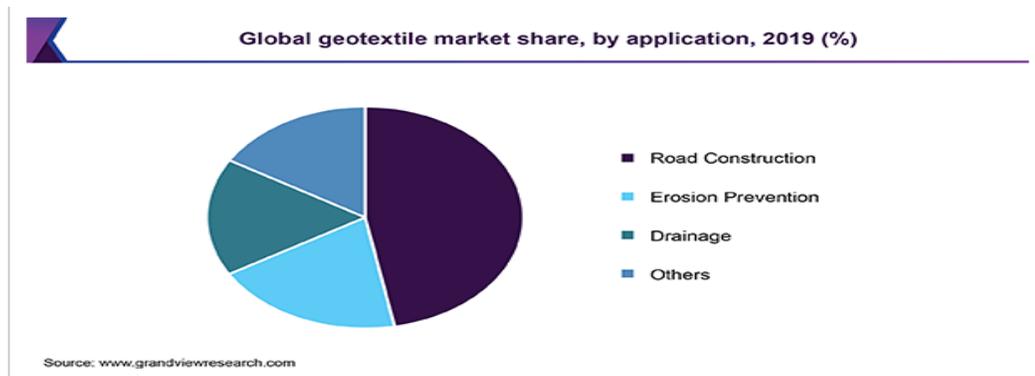


Figure 1-26 Marché des géotextiles par application

Source : (Market_size)

L'Afrique devrait être l'un des marchés émergents pour les géosynthétiques dans les prochaines années. L'augmentation des activités de construction civile et commerciale dans la région devrait avoir un impact sur la demande de matériaux de construction composites, y compris les géosynthétiques.

2.9 Les géosynthétiques et le développement durable

L'utilisation des matériaux géosynthétiques permet en effet de préserver les ressources naturelles, par exemple en réduisant les quantités de matériaux prélevés du milieu naturel (granulat, sable, argile), en remplaçant ces derniers par des produits géosynthétiques (une couche granulaire par un géocomposite de drainage, un filtre granulaire par un géotextile de filtration, ou bien une couche d'argile par des géomembranes et géosynthétique bentonitique). Les géosynthétiques sont utilisés aussi pour la protection des ressources en eau de la pollution (CFG, 2015).

Enfin, les matériaux géosynthétiques sont utilisés pour l'amélioration du cadre de vie, notamment pour l'aménagement, la préservation et la réhabilitation des paysages et des écosystèmes dégradés, dans les bassins d'agrément, en tant que support de végétalisation des talus, berges de cours d'eau et côtes (CFG, 2015).

2.10 Conclusion

Pour conclure, ce chapitre nous a donné quelques informations sur les produits géosynthétiques, leurs différents types, fonctions et domaines d'application qui est très vaste et toujours en progrès grâce aux nombreux travaux de recherche menés ces dernières années. Donc il est devenu nécessaire d'intégrer l'utilisation des produits géosynthétiques dans le domaine du génie civil en Algérie, car ils représentent une solution très efficace qui peut résoudre de très nombreuses problématiques, et en mêmes temps offrent d'autres avantages notamment le gain de temps, la réduction des coûts de construction, ainsi que la protection des ressources naturelles et de l'environnement. Comme est déjà évoqué dans ce chapitre les matériaux utilisés dans la fabrication des géosynthétiques sont principalement des polymères synthétiques généralement dérivés du pétrole brut et notre pays est producteur du pétrole. Alors pourquoi ne pas profiter de ces produits par exemple dans la stabilisation et le renforcement des corps de chaussée pour diminuer leur dégradation.

Chapitre 3 :
Utilisation des géosynthétiques dans le domaine
routier

3.1 Introduction

L'amélioration des sols était à la fois une science et un art, avec les évolutions observées au cours de l'histoire ancienne. De l'utilisation de la paille comme un mélange des matériaux de remplissage avec des sols pour une plus grande solidité pendant l'antiquité jusqu'aux cinq dernières décennies, où il y avait un progrès significatif dans les techniques d'amélioration de sol (BUDDHIMA, et al., 2015), qui est une partie intégrante de tous les projets du génie civil en particulier les routes qui sont généralement de très grande longueur et souvent doivent être construites sur des sols de faible portance et compressible.

La première utilisation de tissus pour renforcer les routes a été tentée par le département des routes de Caroline du Sud en 1926. Un lourd tissu de coton a été placé sur une couche de fondation de sol apprêtée, de l'asphalte chaud a été appliqué sur le tissu, et une fine couche de sable a été placée sur l'asphalte. En 1935, les résultats de ces travaux ont été publiés, décrivant huit expériences de terrain distinctes. Jusqu'à la détérioration des routes, les résultats ont montré que les routes étaient en bon état avec une diminution de fissures (KOERNER, 2005).

Aujourd'hui les produits géosynthétiques sont devenus plus utilisés pour la construction et l'amélioration des corps de chaussée suite à leurs différentes fonctions et avantages déjà présentés dans le chapitre 2. Ce chapitre présente les détails des applications des géosynthétiques dans le domaine routier en passant par les mécanismes de renforcement et la méthode de dimensionnement des chaussées renforcées par géosynthétiques.

3.2 Choix de la fonction de géosynthétique

En raison du large éventail d'application et de la grande variété de géosynthétique disponible, la sélection d'un géosynthétique particulier ayant des propriétés spécifiques est une décision cruciale, elle se fait généralement en gardant à l'esprit d'objectif général de son utilisation. Par exemple, si le géosynthétique sélectionné est utilisé pour fonctionner comme un renforcement, il devra augmenter la stabilité du sol et de réduire sa déformation.

3.3 Renforcement des chaussées à l'aide des géosynthétiques

On s'intéresse à l'action de renforcement des géosynthétiques dans les chaussées souples. En effet, les bénéfices dus à l'utilisation des géosynthétiques sont moins marqués dans le cas d'une chaussée rigide. Les chaussées souples se déforment facilement et permettent d'observer plus clairement la capacité de renforcement d'un géotextile ou d'une géogrille.

3.3.1 Comportement mécanique lors du passage des roues

Il y a comme un « gonflement » du sol autour des roues, or avec la mise en place du géotextile, ce dernier qui a été étiré lors de son installation dans la chaussée se déforme également. Avec la contrainte exercée par les roues, le géotextile prend une forme arrondie et sa face concave reprend plus d'effort à la verticale du passage des roues par conséquent la couche d'agrégats reprend moins d'efforts (Figure 3-1) (GUILBAUD, 2011).

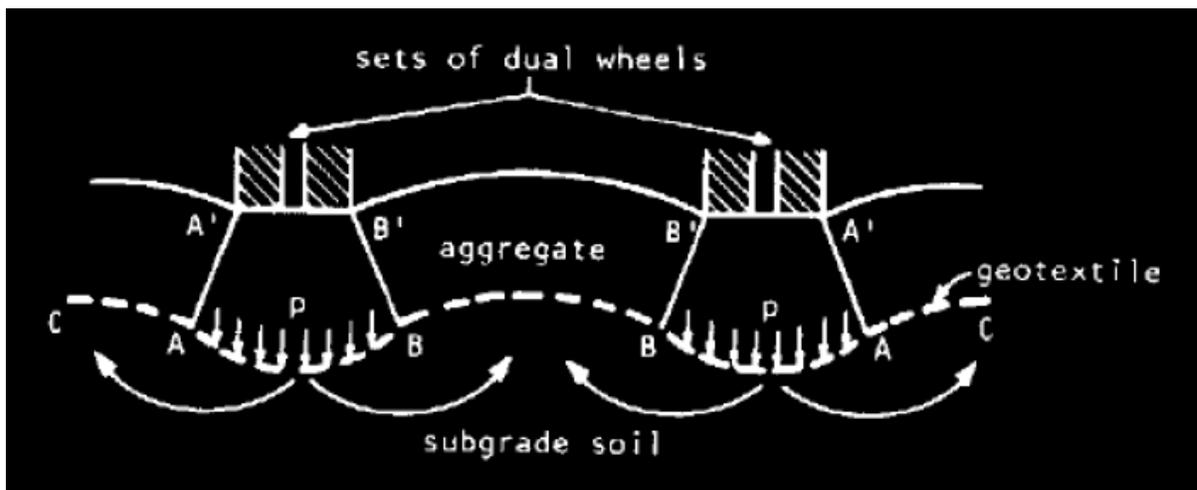


Figure 3-1 Comportement mécanique lors du passage des roues

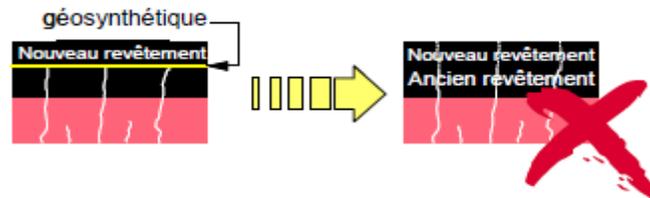
Source : (GUILBAUD, 2011)

3.3.2 But et avantage du renforcement par géosynthétique

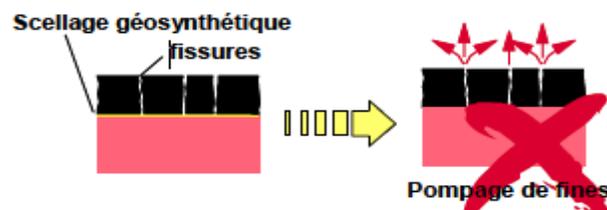
Les géosynthétiques sont utilisés pour le but d'augmenter la durée de vie de la chaussée vis-à-vis de la fatigue, de réduire l'orniérage de surface, augmenter la capacité portante et la résistance aux fissures dues au gel, réduire l'utilisation des matériaux

minéraux et les coûts de maintenance, et supprimer ou limiter les remontées de fissures (LODEN, 2003).

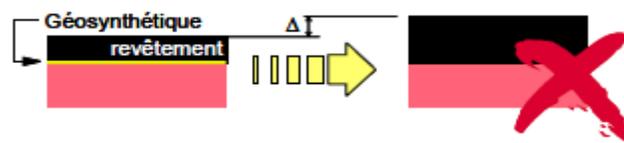
- ✓ Réduire ou éviter la remontée des fissures.



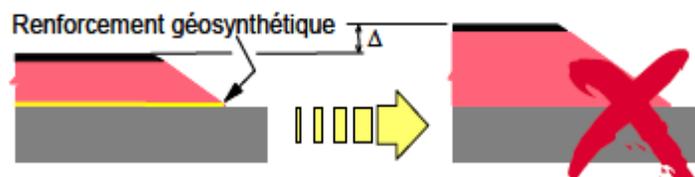
- ✓ Fonctionner comme barrière pour éviter le pompage des fines du sol.



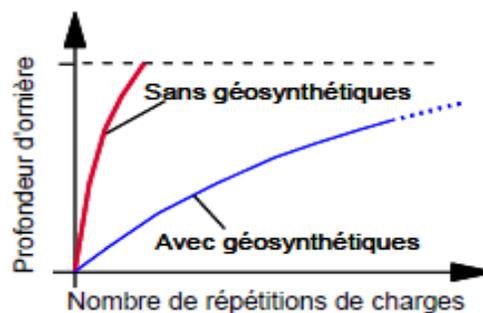
- ✓ Réduire l'épaisseur du revêtement bitumineux.



- ✓ Réduire l'épaisseur de la chaussée.



- ✓ Augmenter la durée de vie de la chaussée.



3.3.3 Mécanismes de renforcement

Trois mécanismes de renforcement fondamentaux ont été identifiés, impliquant l'utilisation des géogrilles pour renforcer les matériaux qui constituent la structure de la chaussée : contrainte latérale, augmentation de la capacité portance, et l'effet de membrane tendue.

3.3.3.1 Contrainte latérale

Désigne l'effet de confinement des granulats pendant le chargement, qui limite l'écoulement latéral des matériaux sous la charge. Sous l'action de charge de trafic l'agrégat a tendance de se déplacer latéralement et le géosynthétique limite et empêche ce mouvement par frottement ou verrouillage (Figure 3-2) (GUILBAUD, 2011).

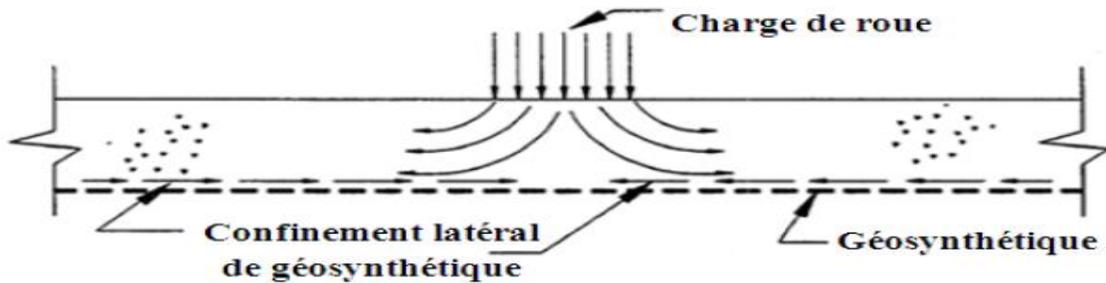


Figure 3-2 Mécanisme de renforcement contrainte latérale

Source : (GUILBAUD, 2011)

3.3.3.2 Augmentation de la capacité portance

L'augmentation de la capacité portance est obtenue en déplaçant l'enveloppe de défaillance du système de chaussée, de la couche de fondation relativement faible à la couche de base relativement solide (Figure 3-3) (GUILBAUD, 2011).

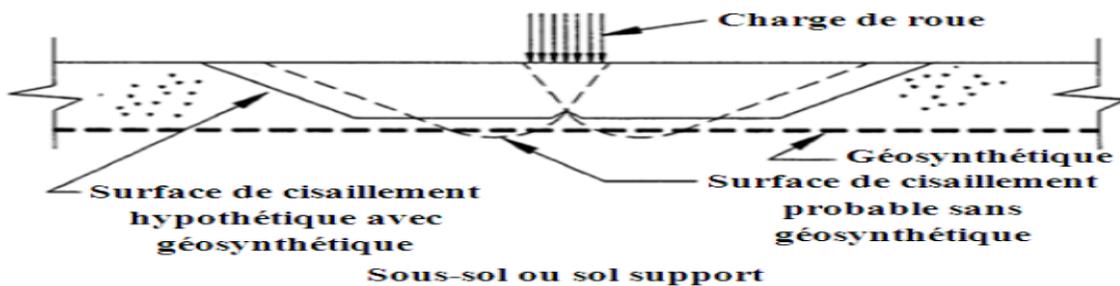


Figure 3-3 Mécanisme de renforcement augmentation de la capacité portance

Source : (GUILBAUD, 2011)

3.3.3.3 L'effet de membrane tendue

Une fois le géosynthétique est tendu il peut agir comme une membrane supportant les charges de trafic. Dans ce cas le renforcement prend la forme d'une réaction verticale au chargement et la tension développée dans le géosynthétique contribue à soutenir la charge par roue et réduit la contrainte verticale (Figure 3-4) (GUILBAUD, 2011).

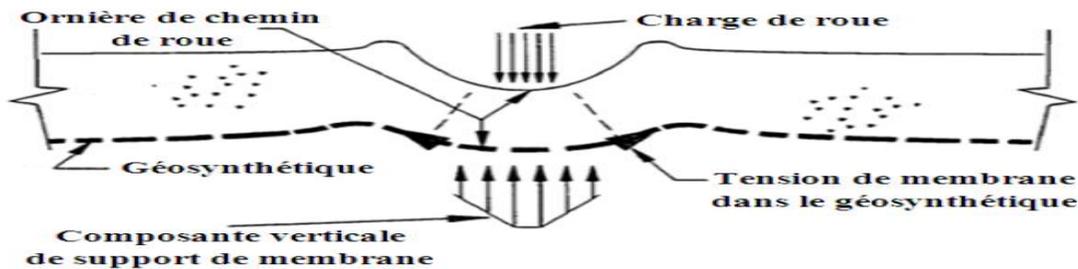


Figure 3-4 Mécanisme de renforcement effet de membrane tendue

Source : (GUILBAUD, 2011)

3.3.4 Structure de chaussée renforcée avec géosynthétique

La façon dont est utilisé le renforcement par géosynthétique dépend en grande partie des conditions du sol support, le type de matériaux granulaires, le type de couche de roulement, l'eau, la température et les conditions de trafic. Tous ces facteurs ont une influence sur la conception de la structure, le type de renfort a utilisé ainsi que les effets atteints, dans le paragraphe suivant on va présenter la méthode de dimensionnement des chaussées souples renforcées avec géosynthétique AASHTO 1993 modifiée.

❖ **Méthodes AASHTO (1993) modifiée** : La méthode AASHTO utilise des équations empiriques basées sur la théorie élastique multicouche pour modéliser la section transversale de la chaussée. La structure est caractérisée par un nombre (SN) qui reflète la capacité structurelle combinée de la chaussée souple pour supporter une charge de trafic prédéfinie (SUNDARAM, et al., 2019). La valeur SN requise est déterminée en résolvant l'équation de performance suivante :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Avec :

W_{18} : nombre d'applications de charge à un essieu de 80 kN sur la durée de vie nominale de la chaussée.

Z_R : écart normal standard.

S_0 : l'erreur type combinée de la prédiction de trafic et de la prédiction de performance.

ΔPSI : Perte d'aptitude au service, elle est égale à $(P_i - P_t)$ où P_i est l'indice de service de conception initiale et P_t est l'indice de service terminal.

SN : Nombre structural.

M_R : module de résilience (psi)

La SN requise doit être obtenue en additionnant la contribution de toutes les couches de la chaussée, selon l'équation :

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Avec :

a_1 , a_2 et a_3 : coefficients de couche de surface, de base et de fondation, respectivement (résistance relative de la couche).

D_1 , D_2 et D_3 : épaisseurs de la couche de surface, de la couche de base et de la couche de fondation respectivement.

m_2 et m_3 = coefficients de drainage de la couche de base et de la fondation.

Remarque : le coefficient m_i juste pour les couches qui ne sont pas traitées au bitume.

La contribution structurelle des géosynthétiques, à la capacité structurelle globale de la structure de la chaussée peut être incluse dans la conception grâce aux trois facteurs suivants :

Rapport de portance du trafic (TBR) : c'est le rapport entre le nombre d'applications de charge de la section stabilisée par des géosynthétiques et le nombre d'applications de charge de la section non stabilisée avec la même géométrie, le même matériau et le même état de défaillance défini, les valeurs typiques du TBR vont de 1,5 à 10 pour les géotextiles et de 1,5-70 pour les géogrilles (SUNDARAM, et al., 2019).

Facteur de réduction de la couche de base (BCR) : c'est le pourcentage de réduction de l'épaisseur de la couche de base renforcée par géosynthétique par rapport à une couche

non renforcée, les économies d'épaisseur typique de la couche se situent entre 20 et 30 % pour les géotextiles et 30 à 50 % pour les géogrilles, ce qui donne un BCR = 0,2 à 0,3 pour les géotextiles et un BCR = 0,3 à 0,5 pour les géogrilles (SUNDARAM, et al., 2019).

Rapport des coefficients de couche (LCR) : c'est le rapport de coefficient de couche stabilisée par géosynthétiques sur le coefficient de la couche non stabilisée telle que :

$$\text{LCR} = \frac{1}{1 - \text{BCR}}$$

a. Paramètres de conception :

- ✓ Le Trafic et le pourcentage d'accroissement annuel.
- ✓ Nombre de voie.
- ✓ Durée de vie de la chaussée.
- ✓ L'erreur type combinée de la prédiction de trafic et de la prédiction de performance (S_0).
- ✓ Niveau de fiabilité (R).
- ✓ l'indice de service terminal (P_t).

Les Étapes de conception de la méthode AASHTO 1993 :

Sans renforcement :

- 1) On suppose une valeur de SN.
- 2) Calcul de W_{18} :
 - ✓ L'estimation du trafic de la première année = Trafic prévu x le facteur d'équivalence de la charge à l'essieu.

D'où : Le facteur d'équivalence de la charge à l'essieu est déterminé à partir **d'annexe D** (AASHTO, 1993), ce facteur est en fonction de la charge à l'essieu, le nombre de structure (SN) et l'indice de service terminal (P_t).

- ✓ Après le calcul w'_{18} tel que : $w'_{18} =$ Facteur de croissance du trafic x Estimation du trafic pour la première année.

Tableau 3-1 Facteur de croissance du trafic (AASHTO, 1993)

Analyse période (années)	Facteur de croissance du trafic							
	Taux de croissance annuel, en pourcentage							
	Pas de croissance	2	4	5	6	7	8	10
15	15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
20	20	24,30	29,78	33,07	36,79	41,00	45,76	57,27
25	25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	30	40,57	56,06	66,44	79,06	94,46	113,28	164,49
35	35	49,99	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02

- ✓ Puis on calcule w_{18} où : $w_{18} = D_D \times D_L \times w'_{18}$.
Avec : D_D : Le facteur de distribution directionnelle égal (0,5).
 D_L : Le facteur de distribution des voies à partir du Tableau 3-2.

Tableau 3-2 Facteur de distribution des voies, DL (AASHTO, 1993)

Nombre de voies dans chaque direction	Pourcentage d'ESAL dans la voie de conception (DL)
1	100
2	80 à 100
3	60 à 80
4	50 à 75

- ✓ Enfin on calcule de W_{18} finale ou $W_{18} = w_{18} \times F_R$

Avec :

$$F_R : \text{Facteur de fiabilité telle que } F_R = 10^{(-Z_R \times S_0)}$$

Il convient de choisir S_0 qui soit représentatif des conditions locales, les valeurs de S_0 dépendent de l'erreur attendue dans la prévision du trafic et de

la période de performance. Cependant, l'erreur de prévision de performance développée lors de l'essai routier était entre 0,3 à 0,4 pour la chaussée rigide et de 0,4 à 0,5 pour la chaussée souple.

Pour le niveau de fiabilité (R) il dépend de la classification fonctionnelle de la route

Tableau 3-3.

Tableau 3-3 Les niveaux de fiabilité suggérés pour diverses classifications fonctionnelles (AASHTO, 1993)

<i>Classification fonctionnelle</i>	<i>Niveau de fiabilité recommandé (R)</i>	
	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>
<i>Routes nationales et autres autoroutes</i>	85-99.9	80-99.9
<i>Principales routes aériennes</i>	80-99	75-95
<i>Collectionneur</i>	80-95	75-95
<i>Locale</i>	50-80	50-80

Écart normal standard Z_R est déterminé à partir du Tableau 3-4.

Tableau 3-4 Écart normal standard Z_R pour différentes valeurs de fiabilité, R (AASHTO, 1993)

<i>Reliability (R)%</i>	Z_R	<i>Reliability (R)%</i>	Z_R
50	-0	93	-1,476
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327
91	-1,340	99,9	-3,090
92	-1,405	99,99	-3,750

3) Détermination de Perte d'aptitude au service (ΔPSI) :

L'état des chaussées est évalué à l'aide d'un indice de fiabilité actuel (PSI) allant de 5 (état parfait) à 0 (impossible à parcourir).

P_0 est l'indice de service de conception initiale immédiatement après l'ouverture de la chaussée. Les valeurs de l'AASHTO sont de 4,5 pour les chaussées rigides et de 4,2 pour les chaussées souples.

P_t est l'indice de service terminal représente le niveau acceptable le plus bas avant que la réhabilitation ou la reconstruction devienne nécessaire.

- ✓ $P_t = 2,00$ pour les routes secondaires, les rues résidentielles locales.
- ✓ $P_t = 2,25$ pour les petits collectionneurs, les rues industrielles et commerciales.
- ✓ $P_t = 2,50$ pour les grands collectionneurs et toutes les artères.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

4) Détermination de module de résilience de l'infrastructure M_R : elle est généralement estimée directement en laboratoire à l'aide des tests triaxiaux de charge répétée, sinon par corrélation avec d'autres tests standards comme la valeur CBR.

Pour des valeurs de CBR > 10% :

- ✓ $M_R = 17,6 \times CBR^{0,64}$ (MPa).
- ✓ $M_R = 2555 \times CBR^{0,64}$ (Psi).

Pour des valeurs de 2% < CBR ≤ 10% :

- ✓ $M_R = 10,3 \times CBR$ (MPa).
- ✓ $M_R = 1500 \times CBR$ (Psi).

5) Détermination de SN :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

6) Calcul des épaisseurs de différente couche de la chaussée :

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

✓ Calcul des coefficients a_1 , a_2 et a_3 :

1. Le coefficient a_1 est déterminé de la Figure 3-5 :

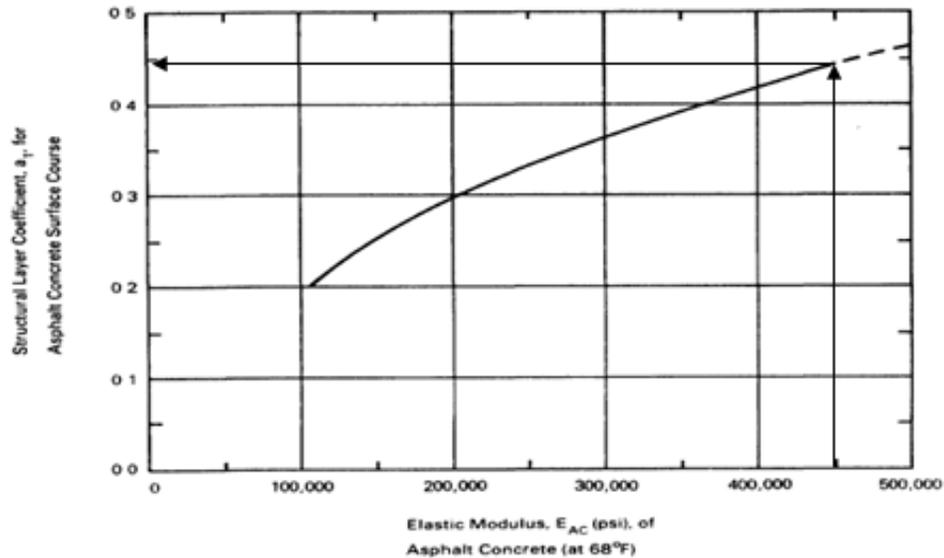


Figure 3-5 Pour l'estimation du coefficient de la couche structurale du béton bitumineux dense sur la base du module élastique (module de résilience)

Source : (AASHTO, 1993)

2. Le coefficient a_2 est déterminé de la Figure 3-6 ou Figure 3-7 ou Figure 3-8:

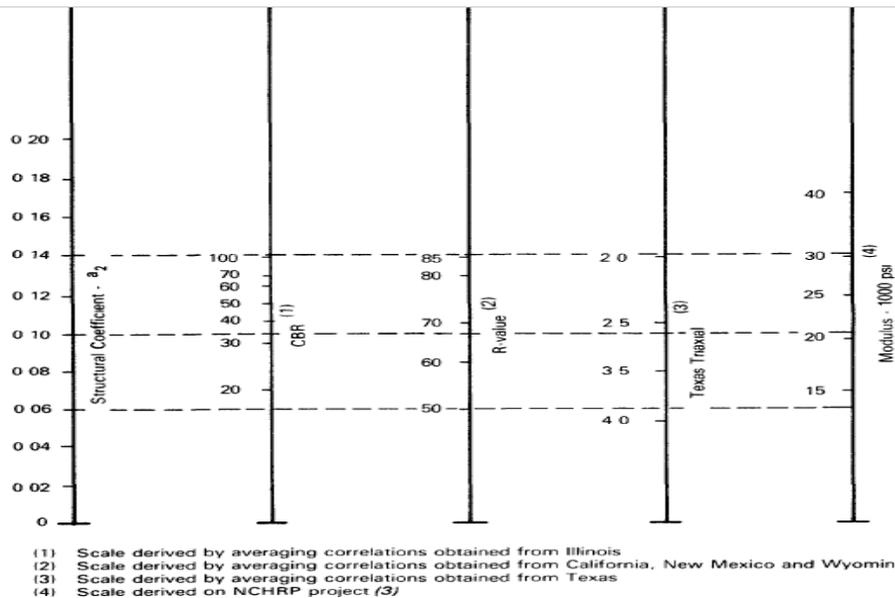


Figure 3-6 Variation de coefficient a_2 pour une couche de base granulaire avec divers paramètres de résistance de base

Source : (AASHTO, 1993)

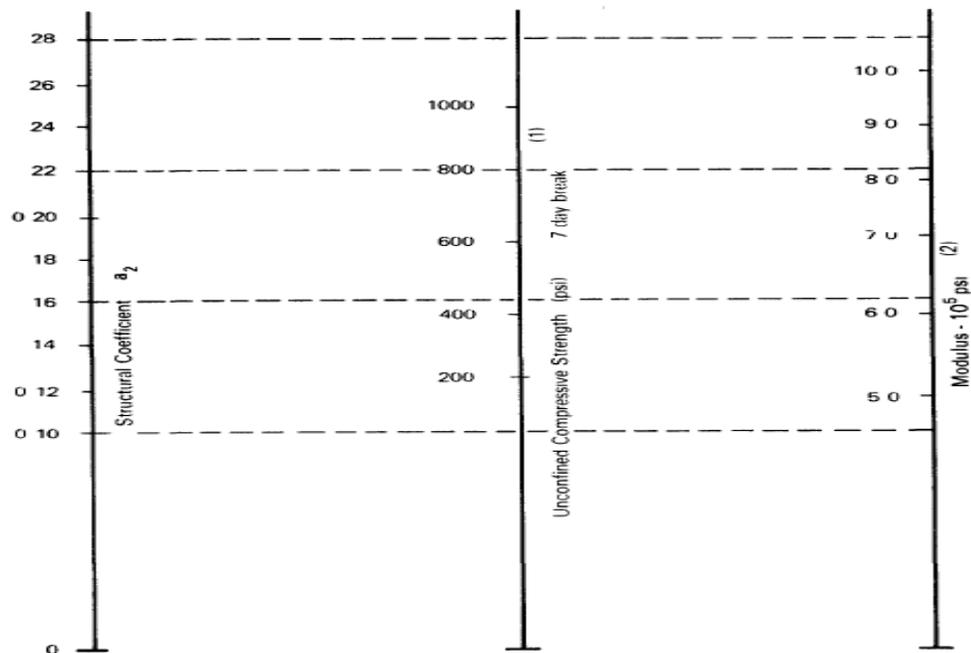


Figure 3-7 Variation en a_2 pour une couche de base traitée au ciment avec des paramètres de résistance de base

Source : (AASHTO, 1993)

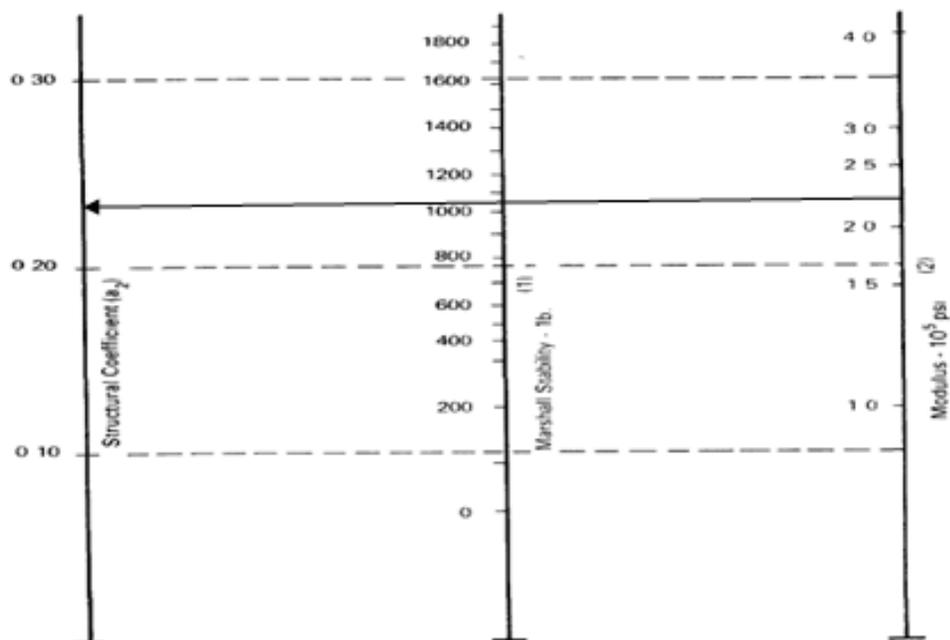


Figure 3-8 Variation de a_2 pour une couche de base traitée au bitume avec des paramètres de résistance de base

Source : (AASHTO, 1993)

3. Le coefficient a_3 est déterminé de la Figure 3-9 :

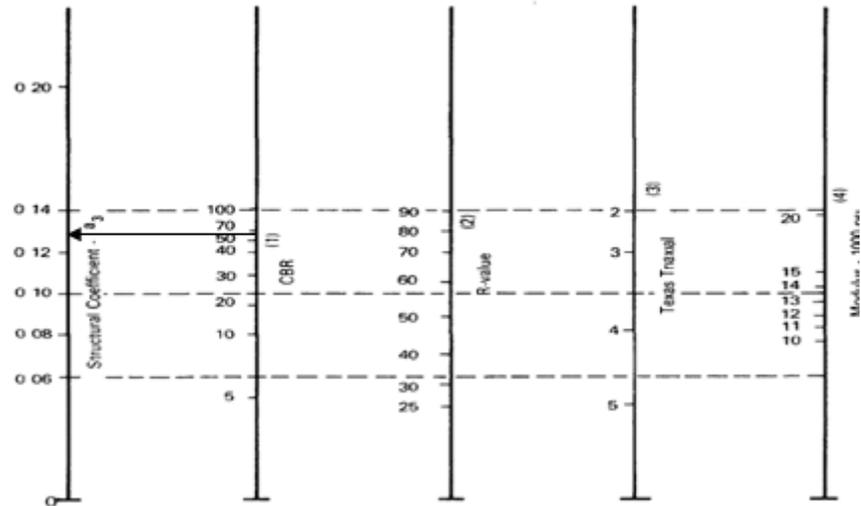


Figure 3-9 Variation de coefficient a_3 pour une couche de fondation granulaire avec divers paramètres de résistance de base

Source : (AASHTO, 1993)

Sinon on peut avoir les coefficients directement du Tableau 3-5 suivant :

Tableau 3-5 structural layer coefficients (a_i) for flexible pavement design

<i>Component</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Minimum Thickness</i>
<i>Surface/Intermediate Course</i>		
<i>Hot Mix Asphalt with Type A Aggregate</i>	0.44	2
<i>Hot Mix Asphalt with Type B Aggregate</i>	0.40	2
<i>Base course</i>		
<i>Type B Hot Mix Asphalt</i>	0.40	2
<i>Asphalt Treated Base Class I</i>	0.34	4
<i>Bituminous Treated Aggregate Base</i>	0.23	6
<i>Asphalt Treated Base Class II</i>	0.26	4
<i>Cold-Laid Bituminous Concrete Base</i>	0.23	6

<i>Cement Treated Granular (Aggregate) Base</i>	0.20	6
<i>Soil-Cement Base</i>	0.15	6
<i>Crushed (Graded) Stone Base</i>	0.14	6
<i>Macadam Stone Base</i>	0.12	6
<i>Portland Cement Concrete Base (New)</i>	0.50	/
<i>Old Portland Cement Concrete</i>	0.40	/
<i>Crack and Seated PCC</i>	0.25 – 0.30	/
<i>Rubblized PCC</i>	0.20	/
<i>Cold in Place Recycled</i>	0.22 – 0.27	/
Subbase Course		
<i>Soil-Cement Subbase</i>	0.10	6
<i>Soil-Lime Subbase</i>	0.10	6
<i>Granular Subbase</i>	0.10	4
<i>Soil-Aggregate Subbase</i>	0.05	4

- ✓ Calcul des coefficients de drainage m_2 et m_3 :

Les définitions suivantes sont utilisées à titre indicatif :

Excellent drainage - Matériau drainé à 50 % de sa saturation en 2 heures.

Bon drainage - Matériau drainé à 50 % de sa saturation en 1 jour.

Drainage moyen - Matériau drainé à 50 % de sa saturation en 7 jours.

Mauvais drainage - Matériau drainé à 50 % de sa saturation en 1 mois.

Très mauvais drainage - Le matériau ne se draine pas.

Tableau 3-6 Conditions de drainage (AASHTO, 1993)

<i>Qualité de drainage</i>	<i>Durée d'évacuation de l'eau</i>
<i>Excellent</i>	<i>2 heures</i>
<i>Bon</i>	<i>1 jour</i>
<i>moyen</i>	<i>7 jours</i>
<i>Mauvais</i>	<i>1 mois</i>
<i>Très mauvais</i>	<i>L'eau ne se draine pas</i>

Tableau 3-7 Valeurs (m_i) recommandées (AASHTO, 1993)

<i>Pourcentage de temps où la structure de la chaussée est exposée à des niveaux d'humidité proches de la saturation</i>				
<i>Qualité de drainage</i>	<i>< 1%</i>	<i>1-5%</i>	<i>5-25%</i>	<i>>25%</i>
<i>Excellent</i>	<i>1.40 – 1.35</i>	<i>1.35 – 1.30</i>	<i>1.30 – 1.20</i>	<i>1.20</i>
Bon	<i>1.35 – 1.25</i>	1.25 – 1.15	<i>1.15 – 1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Moyen</i>	<i>1.25 – 1.15</i>	<i>1.15 – 1.05</i>	<i>1.00 – 0.80</i>	<i>0.80</i>
Mauvais	<i>1.15 – 1.05</i>	1.05 – 0.80	<i>0.80 – 0.60</i>	<i>0.60</i>
<i>Très mauvais</i>	<i>1.05 – 0.95</i>	<i>0.95 – 0.75</i>	<i>0.75 – 0.40</i>	<i>0.40</i>

- ✓ Calcul des épaisseurs D_1 , D_2 et D_3 de la couche de surface, de la couche de base et de la couche de fondation respectivement. Les valeurs D_i en (pouce).

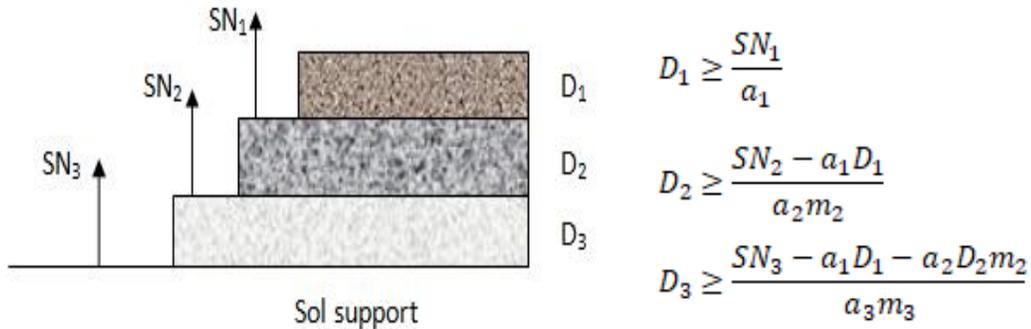


Tableau 3-8 Épaisseur minimale en pouce (IN) (AASHTO, 1993)

<i>Trafic, ESAL</i>	<i>Béton bitumineux</i>	<i>Base d'agrégats</i>
<i>Moin de 50000</i>	<i>1</i>	<i>4</i>
<i>50001-150000</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>150001-500000</i>	<i>2,5</i>	<i>4</i>
<i>500001- 2000000</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>2000001-7000000</i>	<i>3,5</i>	<i>6</i>
<i>Plus de 7000000</i>	<i>4</i>	<i>6</i>

Avec renforcement :

- 1) Détermination de LCR : en utilisant la Figure 4-8 sinon la formule suivante si on a la valeur de BCR de géogrille utilisé.

$$LCR = \frac{1}{1 - BCR}$$

$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + (LCR).a_3.D_3.m_3$$

- 2) Calcul de la nouvelle épaisseur D_3

3.3.5 Utilisation des géosynthétiques pour les chemins de fer

Les géosynthétiques peuvent être utilisés sous ou dans le ballast en pierre et/ou les couches de sous-ballast pour la construction ou la réhabilitation de voie ferrée. Pour les chemins de fer les produits géosynthétiques les plus utilisés sont : les géotextiles, les géogrilles, les géocellules et les géocomposites, ils peuvent être utilisés pour : Séparation, Filtration, Drainage, Renforcement.

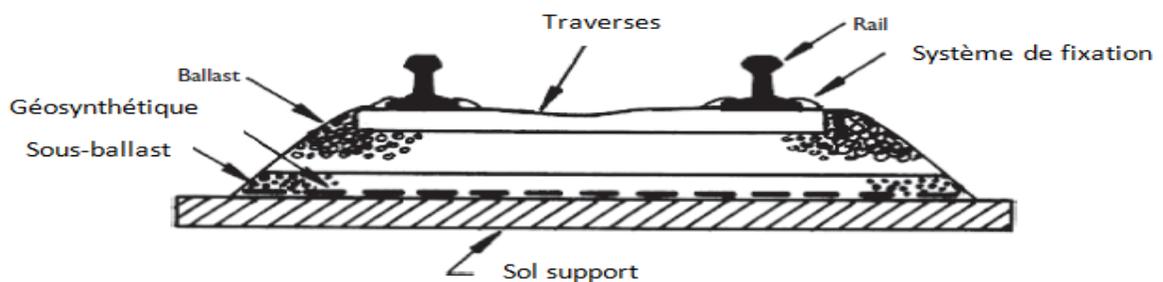


Figure 3-10 Les composants d'une structure de voie ferrée

Source : (SHUKLA, 2016)

- ✓ Le renforcement géosynthétique assure également un confinement latéral. Il est très flexible et se déforme en raison de la charge dynamique exercée sur le ballast en pierre par les traverses de chemin de fer.
- ✓ Il ne forme pas la surface de glissement.
- ✓ Le frottement mobilisé entre les ballasts en pierre et le géosynthétique. Peut maintenir les pierres de ballast en place.
- ✓ Le géosynthétique peut augmenter la capacité de charge par une meilleure répartition des contraintes et réduire le tassement.

3.3.6 Méthodes de conception pour les chaussées souples des aérodromes renforcés par des matériaux géosynthétiques

Les produits géosynthétiques sont utilisés même pour la construction des pistes d'aérodrome grâce à leurs nombreuses fonctions qui sont déjà présentées dans le chapitre 2, dans le paragraphe suivant on va présenter quelques méthodes concernant le renforcement des pistes d'aérodrome par géosynthétiques.

3.3.6.1 Méthode de conception de l'administration fédérale de l'aviation (FAA)

L'épaisseur des différents éléments de la chaussée est déterminée sur la base du California Bearing Ratio (C.B.R.) (MANDAL, 2018) à l'aide de l'équation suivante :

$$t = \alpha \times \sqrt{A \times \left[\frac{17.9 \times p_e}{\text{CBR}} - \frac{1}{\pi} \right]}$$

Avec :

t : épaisseur de la couche d'agrégats (cm)

A : surface de contact d'un pneu (cm²)

CBR : California Bearing Ratio (pourcentage)

P_e : pression des pneus d'une charge de roue unique (SWL) ou d'une charge de roue unique équivalente (ESWL) = SWL/A ou ESWL/A

α : facteur de répétition de la charge en fonction du nombre de répétitions de la charge et de la configuration du chariot.

a. Paramètres de conception

- ✓ Surface de contact d'un pneu (A).
- ✓ Nombre de départs annuels (N).
- ✓ Type d'avion.
- ✓ Poids brut de l'avion.
- ✓ Nombre de roues d'atterrissage.

b. Étapes de conception de la méthode :

ÉTAPE 1 : détermination de taux de couverture qui est le rapport entre le nombre de départs annuels et le nombre équivalent de départs ou bien directement Tableau 3-9.

Tableau 3-9 Le taux de couverture pour le revêtement souple des aérodromes (MANDAL, 2018)

<i>Type d'avion</i>	<i>Taux de couverture</i>
<i>Roue simple</i>	<i>5,18</i>
<i>Roue double</i>	<i>3,48</i>
<i>Tandem double</i>	<i>1,84</i>
<i>B-747</i>	<i>1,85</i>
<i>DC 10-10</i>	<i>1,81</i>
<i>DC 10-30</i>	<i>1,69</i>
<i>L - 1011</i>	<i>1,81</i>

ÉTAPE 2 : détermination de couverture qui est le rapport entre le nombre de départs annuels au taux de couverture multiplié par la période de dimensionnement.

ÉTAPE 3 : calcul de facteur de répétition α à l'aide de la Figure 3-11.

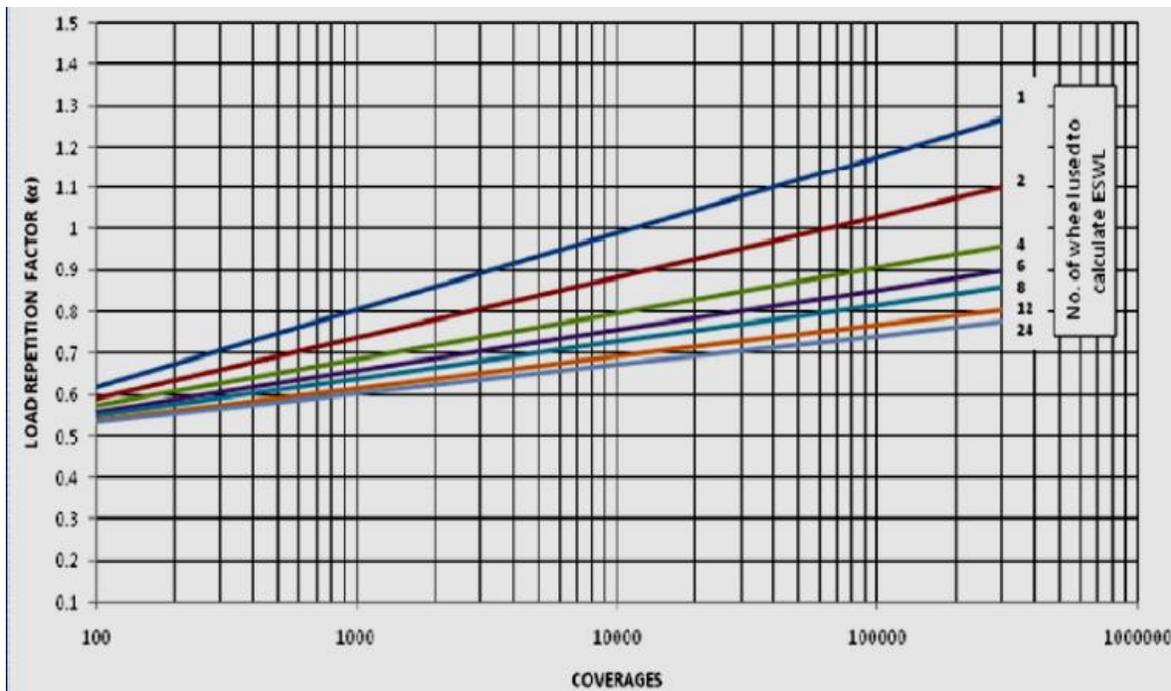


Figure 3-11 Facteur de répétition de la charge modifié (α) en fonction des couvertures, durée de vie nominale 20 ans

Source : (MANDAL, 2018)

ÉTAPE 4 : Pourcentage du poids brut de l’avion pris par le train d’atterrissage principal de divers avions (méthode modifiée).

Tableau 3-10 Pourcentage du poids brut de l’avion pris par le train d’atterrissage principal de divers avions (MANDAL, 2018)

<i>Type d’avion</i>	<i>Pourcentage présumé de la valeur brute poids supporté par les principaux trains d’atterrissage</i>
<i>Engrenage à deux roues</i>	<i>100</i>
<i>Roue tandem à double engrenage</i>	<i>105</i>
<i>DC 10-10, 10C, F</i>	<i>105</i>
<i>A300-B2, B4</i>	<i>105</i>
<i>B747-100, SR, 200B, C, F</i>	<i>135</i>
<i>B747 SP</i>	<i>135</i>

ÉTAPE 5 : $ESWL = (\text{Poids brut de l’avion} \times \text{Pourcentage du poids brut de l’avion pris par le train d’atterrissage}) / \text{nombre de roues}$.

ÉTAPE 6 : calcul de $P_e = ESWL / A$ puis en calcule l’épaisseur t .

3.3.6.2 Combinaisons de la méthode de conception de barenberg et de la méthode (FAA) modifiée

Dans cette méthode, l’épaisseur de la couche d’agrégats pour diverses valeurs CBR est déterminée à l’aide de l’équation de conception donnée par Yoder et Witczak (1975) en tenant compte de toutes les modifications (MANDAL, 2018).

Les valeurs de C.B.R. peuvent être converties en valeurs de cohésion non drainées,

$$C_u = 30 \times CBR ;$$

Avec : C_u : cohésion non drainée (kPa)

$$\sigma_z = N_c \times C_u$$

Avec : σ_z : contrainte admissible sur la fondation.

Si la capacité de charge est fournie, nous pouvons facilement déterminer la valeur C.B.R. en utilisant la relation ci-dessus et mentionnée Équation de Barenberg. Le facteur de capacité de charge approprié, N_c , doit être considéré comme renforcé (6,0) et non renforcé (3,3).

Tableau 3-11 différents types d'avions, poids brut et nombre de départs annuels (MANDAL, 2018)

<i>Types d'avions</i>	<i>Poids brut (Kg)</i>	<i>Nombre de départs annuels</i>
<i>Single wheel</i>	<i>13600-34000</i>	<i>1200-25000</i>
<i>Dual wheel</i>	<i>22700-90700</i>	<i>1200-25000</i>
<i>Dual-tandem wheel</i>	<i>45000-181400</i>	<i>1200-25000</i>
<i>B747-100,SR,200B,C,F</i>	<i>136080-385560</i>	<i>1200-25000</i>
<i>B747 SP</i>	<i>136080-317520</i>	<i>1200-25000</i>
<i>DC 10-10,10CF</i>	<i>90720-204120</i>	<i>1200-25000</i>
<i>A300-B2,4</i>	<i>142000-157000</i>	<i>1200-25000</i>

Des cartes de conception sont préparées pour différents types d'avions, poids bruts et nombre de départs annuels.

L'axe X représente la valeur CBR et l'axe Y représente la valeur de l'épaisseur.

Pour les cas non renforcés, l'épaisseur sera directement obtenue à partir de la Figure 3-12 de conception. Pour les cas renforcés, l'épaisseur correspondra à la valeur CBR deux fois supérieure à celle des cas non renforcés.

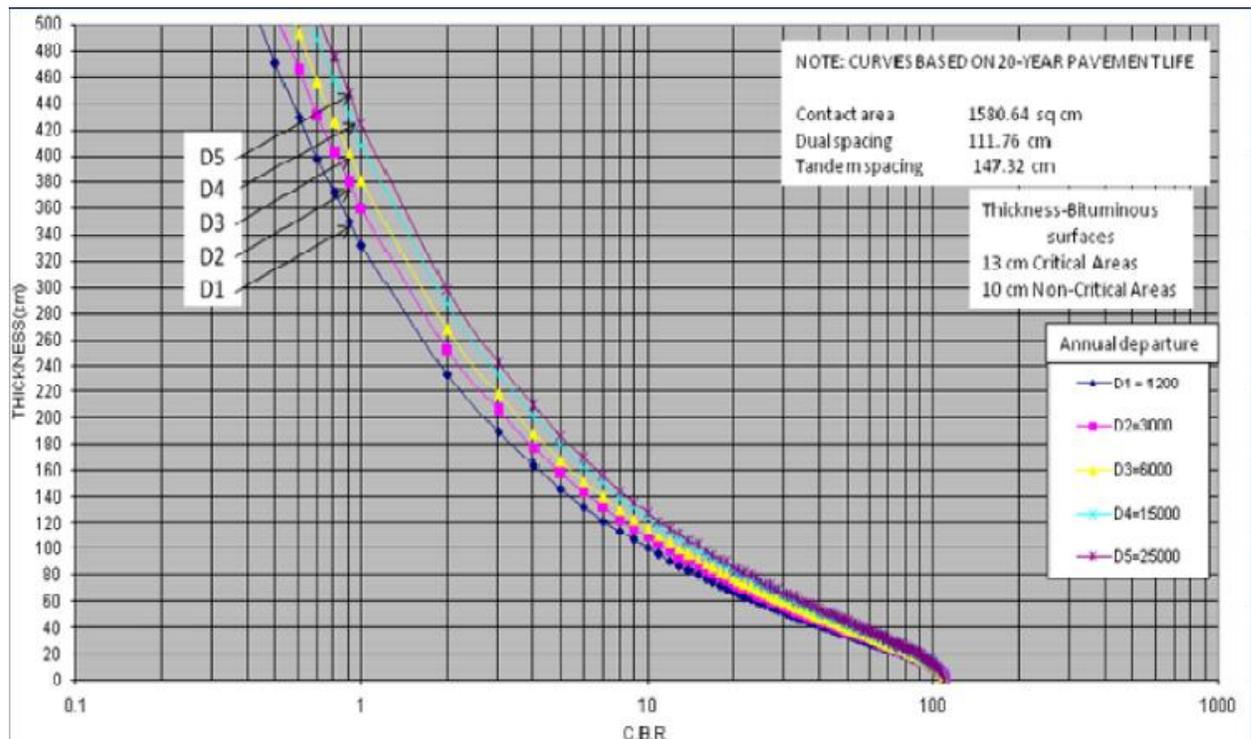


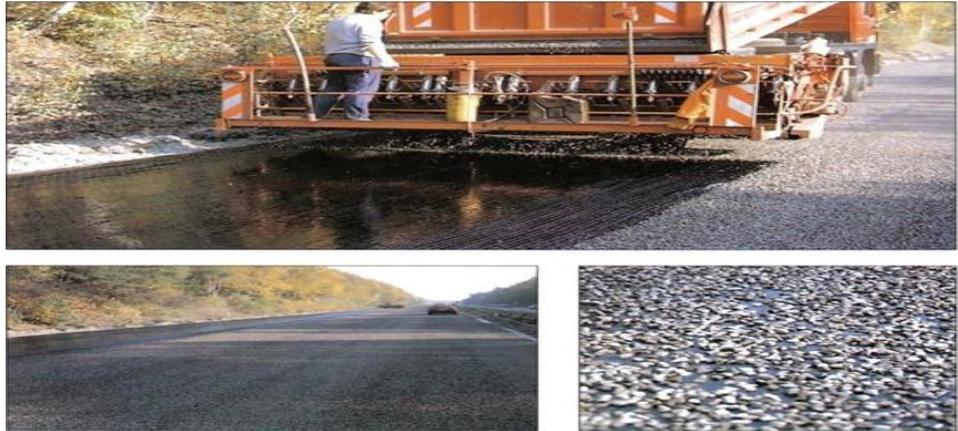
Figure 3-12 Courbe de conception de chaussée flexible pour les zones critiques, B747-100, SR, 200 B,C,F pour un poids brut de 385 560 KG

Source : (MANDAL, 2018)

3.4 Exemples d'application des géosynthétiques dans les chaussées

Voici quelques exemples d'application des géosynthétiques dans le secteur du transport :

- 1) BAB 13, Route de 10 km Dresde-Berlin Sur dalle de béton, Le renforcement géosynthétique a été appliqué en 1990.



La Figure suivant représente la même route en avril 2005



Source : (AKIN, 2016)

- 2) Pour exemple de chemin de fer Figure 0-2.
- 3) Application de renforcement géosynthétique dans un aéroport de Vilnius Lituanie les différentes étapes faites :
 - ✓ Amélioration de la piste d'avion (45000 m²)
 - ✓ Grattage de 5 cm de la couche de surface existante,
 - ✓ Pulvérisation d'émulsion,
 - ✓ Application de renforcement géosynthétique,
 - ✓ Pose d'asphalte de 5 cm (refroidissement rapide),

- ✓ Test de qualité (ex : compression),
- ✓ Prendre la décision d'ouvrir la piste (ou de ne pas l'ouvrir)
- ✓ L'application est complète sans aucun problème.



Source : (AKIN, 2016)

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre on vient de montrer le but et les différents avantages d'utilisation des produits géosynthétiques pour la fonction de renforcement, puis on a expliqué les trois mécanismes de renforcement des chaussées par géogridde (contrainte latérale, augmentation de la capacité portance, et l'effet de membrane tendue) et enfin on a présenté la méthode de dimensionnement des chaussées souples renforcées par géosynthétiques dans le cas des chaussées pour voitures et les aéroports.

Chapitre 4 :

Etude de cas

4.1 Introduction

Après la phase théorique dans le chapitre 3, où on a présenté toutes les différentes méthodes pour le dimensionnement et l'intégration des produits géosynthétiques dans les chaussées revêtues et dans les pistes d'aérodrome, on passe vers une étude de cas dans laquelle on va dimensionner une chaussée revêtue sans et avec renforcement en géogrid.

Dans ce chapitre, on va faire un dimensionnement d'une structure de chaussée souple en utilisant la méthode AASHTOO 1993 modifiée avec et sans renforcement en géogrid, en variant quelques paramètres de dimensionnement comme le trafic, le coefficient de drainage et voir l'impact de cette variation sur la structure de chaussée, puis on va faire une estimation du prix pour un tronçon de la chaussée sans et avec renforcement en géogrid.

4.2 Présentation du cas étudié

Suite à la demande de la Direction des Travaux Publics (DTP) de la wilaya de Tlemcen, sollicitant le LTPO de Tlemcen pour une expertise du CW 45 au PK 30+600 où se sont produit plusieurs affaissements assez localisés au niveau des bords de la chaussée. Il s'agit d'un tronçon de route à deux voies à double sens qui passe au niveau du bas du versant de la colline de nature argilo-limoneuse qui surplombe du côté ouest le village d'Amieur.

L'examen détaillé des lieux a permis d'observer cinq surfaces d'affaissement bien distinctes sur les deux bords de la chaussée présentant des fonds de déformations concaves de : 8 à 17cm d'enfoncements, d'une largeur de 1.20 à 3.20m et d'une longueur de 9 à 17.30m où le revêtement bitumineux se trouve craquelé en genre de mosaïque. Ces surfaces d'affaissement s'étendent en bonne partie aussi sur les accotements. Ce qui gêne et rend la circulation plus lente et difficile à ce niveau.

1) Les investigations géotechniques :

Dans le cadre de la recherche des causes principales des dégradations de la structure de chaussée, il a été programmé le creusement d'un puits de reconnaissance au milieu de chacun des cinq affaissements produits en chaussée, en vue de la

connaissance des corps de chaussées aux cinq affaissements ainsi que les paramètres géotechniques des sols supports et des matériaux des corps de chaussée existants en place.

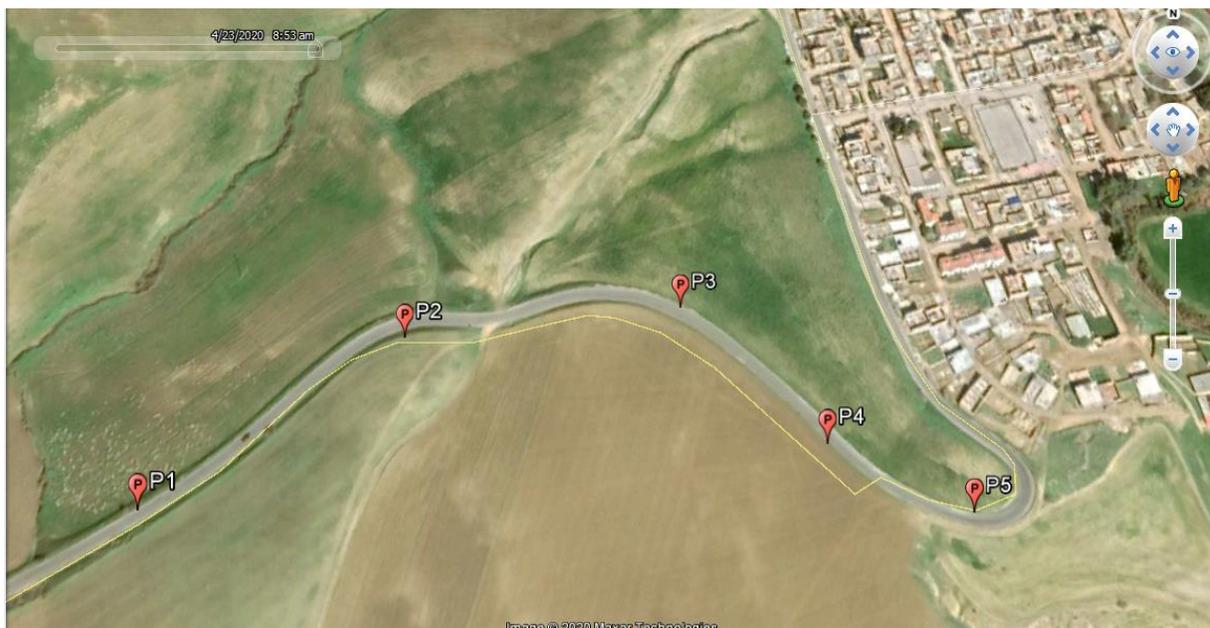


Figure 4-1 situation géographique de la route et l'implantation des puits de reconnaissance

Concernant le sol support de la chaussée du tronçon dégradé, les cinq puits de reconnaissance ont permis de constater un sol de nature argilo-sablo-graveleuse de couleur marron à marron verdâtre et jaunâtre selon les puits.

Les paramètres géotechniques enregistrés à travers les essais de laboratoire sont comme suit :

- ✓ Masse volumique sèche (γ_d KN/m³) : 19,73 à 19,82.
- ✓ Indice de plasticité (IP %) : 24 à 36.
- ✓ Cohésion non drainée (C_u Kpa) : 8 à 21.
- ✓ Angle de frottement non drainé (ϕ_u °) : 14,04 à 17,22.
- ✓ CBR (%) : 3,50 à 3,60.

S'agissant donc d'un sol fin avec la présence de sable et gravier qui peut s'imbiber facilement des eaux qui lui arrivent. Ce qui fait augmenter sa plasticité et diminuer sa résistance de portance.

En matière de constat des structures des corps de chaussée existantes en place, il a été recensé à travers les cinq puits creusés les épaisseurs suivantes : $P_1 = 51.0$ cm, $P_2 = 19.0$ cm, $P_3 = 53.0$ cm, $P_4 = 31.0$ cm, $P_5 = 26.0$ cm, où on constate l'existence d'un corps de chaussée initial de la route (tuf + revêtement) qui a été surmontée par la suite de couches de grave concassée, grave bitume et béton bitumineux dans la majeure des parties qui ont dû connaître les mêmes problèmes antécédemment.



Figure 4-2 corps de chaussée en puits n°1



Figure 4-3 corps de chaussée en puits n°2



Figure 4-4 corps de chaussée en puits n°3



Figure 4-5 corps de chaussée en puits n°4



Figure 4-6 corps de chaussée en puits n°5

4.2.1 Dimensionnement de corps de chaussé par la méthode AASHTOO 1993 modifier

Pour le tronçon situé au niveau de puits N°05

On va dimensionner une structure de chaussée sur une durée de vie de 20 ans avec un taux d'accroissement annuel de 2%, la chaussée sera constituée des couches suivantes : une couche de roulement en béton bitumineux de module d'élasticité $E = 450\,000$ (psi), une couche de base en grave bitume de module de résilience $M_R = 225\,000$ (psi) et d'une couche de fondation en grave concassée d'un CBR =62%.

Le trafic est de 80000 véhicules par an , d'une charge par essieu de 80 KN, le sol support est une argile verdâtre humide d'un CBR =3,5% ; un indice de service terminal égal à 2,5 et que la zone a une bonne qualité de drainage avec 3% du temps d'exploitation du niveau d'humidité proche de saturation, avec une fiabilité R de 95%.

1) Sans renforcement :

- ❖ On suppose que SN égale à 6.
- ❖ Calcul de la charge équivalente à l'essieu W_{18} : tout d'abord on doit calculer l'estimation du trafic pour la première année avec :
 - ✓ L'estimation du trafic de la première année = Trafic prévu x le facteur d'équivalence de la charge à l'essieu.

On a une charge par essieu de 80 KN en doit la convertir en kips.

1 kips = 4,4482 KN donc la charge sera égale $(80/4,4482) = 17,98 \approx 18$ kips.

A partir de tableaux D4 de guide (AASHTO, 1993) en trouve un facteur de 1 donc :

Table D.4. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0004	0004	0003	0002	0002	0002
4	003	004	004	003	002	002
6	011	017	017	013	010	009
8	032	047	051	041	034	031
10	078	102	118	102	088	080
12	168	198	229	.213	189	176
14	328	358	399	388	360	342
16	591	613	646	645	623	606
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	>1 00

L'estimation du trafic de la première année = $80000 * 1 = 80000$

Après on multiplie l'estimation du trafic de la première année par le facteur de croissance annuelle du trafic pour obtenir w'_{18} .

- ✓ Pour notre cas on va dimensionner une chaussée d'une durée de vie de 20 ans avec une croissance annuelle de 2%, à partir du

Tableau 3-1 le facteur de croissance annuelle du trafic sera 24,3.

$$\text{Donc : } w'_{18} = 24,3 * 80000 = 1944000$$

Après on multiplie la valeur obtenue de w'_{18} par le facteur de distribution directionnelle (D_D) et le facteur de distribution des voies (D_L).

Le facteur de distribution directionnelle $D_D = 0,5$.

Et à partir du Tableau 3-2 on prendre $D_L=0,8$ car notre chaussée à 2 voies dans chaque direction, Donc :

$$w_{18} = 0,5 * 0,8 * 1944000 = 777600$$

Enfin on calcule la charge équivalente à l'essieu W_{18} qui égale w_{18} multiplié par le facteur de fiabilité F_R . avec : $F_R = 10^{(-Z_R \times S_0)}$

Pour le calcul de facteur de fiabilité F_R nous avons besoin de l'erreur type combinée de la prédiction de trafic et de la prédiction de performance (S_0) et l'écart normal standard Z_R .

Pour toutes les chaussées souples $0,4 \leq S_0 \leq 0,5$, on prend $S_0 = 0,45$.

D'après les données on a une fiabilité $R=95\%$, à partir du Tableau 3-4 on trouve : $Z_R = -1,645$.

$$F_R = 10^{(1,645 \times 0,45)} = 5,489.$$

Donc : $W_{18} = 777600 * 5,489 = 4268247$ ESAL

❖ Détermination de Perte d'aptitude au service (ΔPSI) :

- ✓ L'indice de service de conception initiale $P_0 = 4,2$ car c'est une chaussée souple et l'indice de service terminal $P_t = 2,5$ d'après les données donc :

$$\Delta PSI = P_0 - P_t = 4,2 - 2,5 = 1,7.$$

❖ Détermination de module de résilience de l'infrastructure M_R :

- ✓ On a un $CBR=3,5\%$ nous somme dans le deuxième cas ou le $2\% < CBR \leq 10\%$:

$$M_R = 1500 \times \text{CBR} = 1500 \times 3,5 = 5250 \text{ (Psi)}.$$

❖ Détermination de SN :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

✓ Après calcul on trouve SN = 5,213.

❖ Calcul des épaisseurs et les différents coefficients des couches de la chaussée :

SN sera égale à : $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 m_3$ pour notre cas, car la 2^{ème} couche est traitée aux bitume.

✓ Calcul des coefficients a_1 , a_2 et a_3 :

À partir de la Figure 3-5 pour un béton bitumineux de $E = 450000$ psi on trouve $a_1 = 0,44$.

À partir de la Figure 3-8 pour une couche de base de grave bitume de $M_R = 225000$ psi on trouve $a_2 = 0,23$.

Et à partir de la Figure 3-9 pour une valeur de CBR = 62 on trouve $a_3 = 0,13$.

✓ Calcul de coefficients de drainage m_3 :

Notre chaussée se trouve dans une zone de bonne qualité de drainage avec 3% du temps d'exploitation du niveau d'humidité proche de saturation donc à partir du Tableau 3-7 on prend $m_3 = 1,2$.

✓ Calcul des épaisseurs D_1 , D_2 et D_3 :

Pour calculer l'épaisseur D_1 tout d'abord on doit calculer SN_1 en utilisant l'équation suivante et en remplaçant M_R de la deuxième couche (couche de base).

✓ Calcul de SN_1 :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Après calcul on trouve $SN_1 = 1,216$.

$D_1 \geq (SN_1/a_1)$ donc $D_1 = (1,216/0,44) = 2,76 < 3,5$ on prend $D_1 = 3,54$ (in)

De même façon comme on a calculé SN_1 , mais cette fois on remplace M_R de la troisième couche (couche de fondation).

✓ Calcul de SN_2 :

La couche de fondation a une CBR =62 donc $M_R = 35853$ psi

Calcul de SN_2 :

Après calcul on trouve $SN_2 = 2,578$.

$$D_2 \geq (SN_2 - a_1 D_1) / a_2 \text{ donc } D_2 \geq (2,578 - 0,44 * 3,54) / 0,23 = 4,44 \quad D_2 = 6,29 \text{ (in)}$$

✓ Calcul de D_3 car SN_3 est déjà calculé $SN_3 = 5,213$.

$$D_3 \geq (SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2) / a_3 \text{ donc}$$

$$D_3 \geq (5,213 - 0,44 * 3,54 - 0,23 * 6,29) / 0,13 * 1,2 = 14,15 \text{ donc } D_3 = 14,17 \text{ (in)}$$

2) Avec renforcement :

❖ Calcul de coefficient LCR :

On va utiliser un renforcement par géogridde MACGRID EG 30S de caractéristique suivant :

MACGRID EG			15S	20S	30S	40S
Mechanical Properties						
Minimum Average Tensile Strength Longitudinal direction	EN ISO 10319 ASTM D 6637	kN/m	15.0	20.0	30.0	40.0
Tensile strength at 2% strain Longitudinal		kN/m	5.0	7.0	10.5	14.0
Tensile strength at 5% strain Longitudinal		kN/m	7.0	14.0	21.0	28.0
Typical strain at M.A.T.S. - Longitudinal		%	13	13	13	13
Minimum Average Tensile Strength Transverse direction		kN/m	15.0	20.0	30.0	40.0
Tensile strength at 2% strain - Transverse		kN/m	5.0	7.0	10.5	14.0
Tensile strength at 5% strain - Transverse		kN/m	7.0	14.0	21.0	28.0
Typical strain at M.A.T.S. - Transverse		%	10	10	10	10
Typical junction strength efficiency Typical value	GRI GG2/GG1	%	95	95	95	95
Physical - Chemical Properties						
Grid Structure			Extruded bi-axial			
Polymer			100% stabilized UV polypropylene			
Carbon Black content		%	≥ 2			
Color			Black			
Mesh Opening size nominal value ⁽¹⁾		mm	38x38	38x38	38x38	38x38
Roll Length		m	50			
Roll Width		m	3.95			



(1) The mesh size refers to length x transverse directions. Aperture tolerance ± 3mm. Larger openings as 65x65 are available on request.

Figure 4-7 Les caractéristiques de MACGRID EG

Source : (Maccaferri)

Les valeurs de LCR sont déterminées directement à partir de la Figure 4-8.

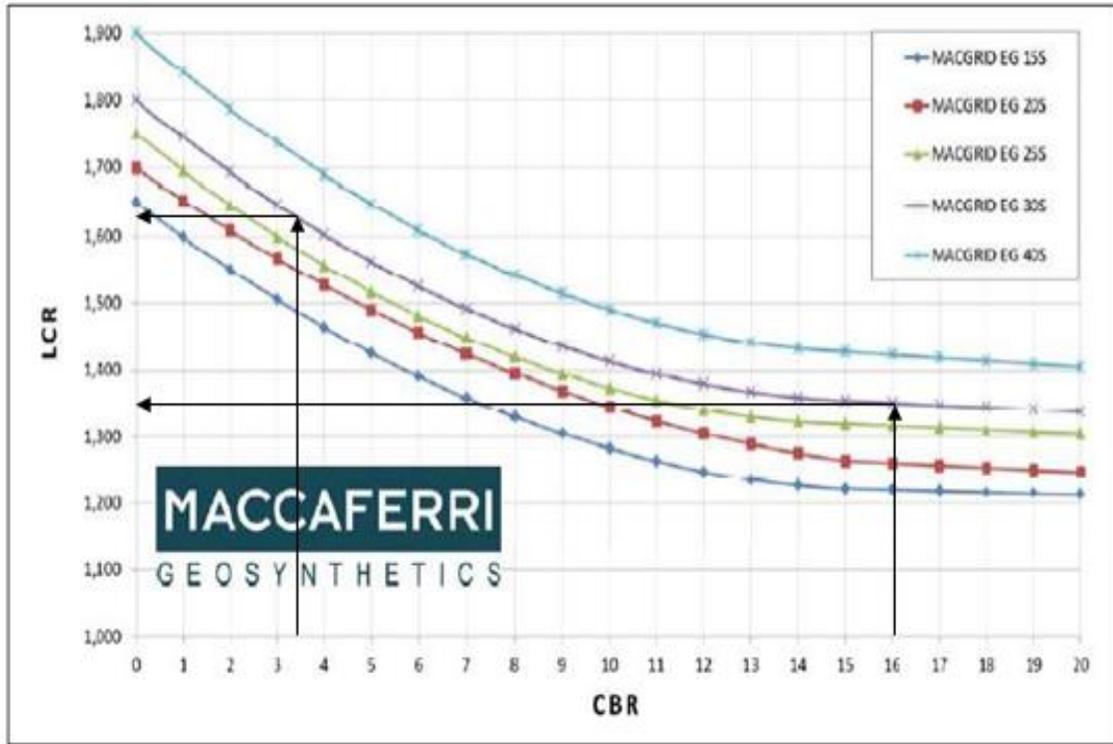


Figure 4-8 la valeur de LCR en fonction de CBR

Source : (Maccaferri)

- ✓ Le sol support à une CBR= 3,5 donc on trouve un LCR = 1,64.
- ❖ Calcul de nouveau l'épaisseur D_3 :

$$D_3 \geq (5,213 - 0,44 \cdot 3,54 - 0,23 \cdot 6,29) / 0,13 \cdot 1,2 \cdot 1,64 = 8,63 \quad D_3 = 8,66 \text{ (in).}$$
- ❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = 100 \cdot (\text{Épaisseur de la couche sans renforcement} - \text{Épaisseur de la couche avec renforcement}) / \text{Épaisseur de la couche sans renforcement}.$$

$$\text{Économie (\%)} = (100 \cdot (14,17 - 8,66)) / 14,17 = 38,88 \text{ \%}.$$

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; LCR=1,64 ; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3=0,13$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
4268247	1,216	9	2,578	16	5,213	36	22

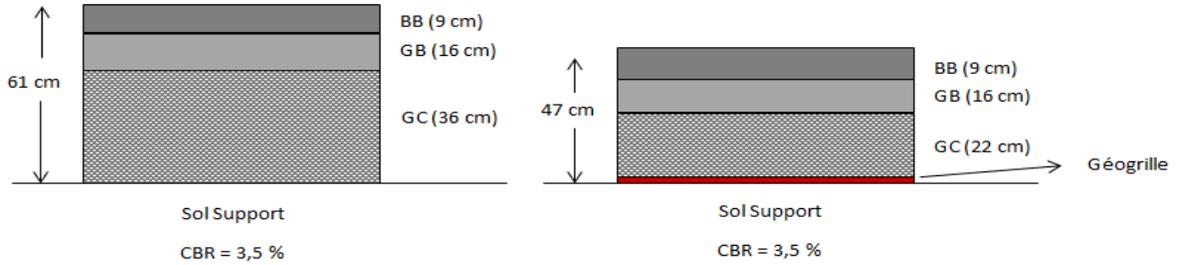


Figure 4-9 Structure de chaussée avec et sans géogrille $W_{18} = 4,3$ millions ESAL

1.1 Pour ce deuxième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, mais cette fois pour une charge à l'essieu 115 KN en garde les mêmes paramètres.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,64$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3=0,13$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
19121744	1,61	11	3,305	16	6,378	50	31

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (19,68 - 12,2)) / 19,68 = 38 \%$$

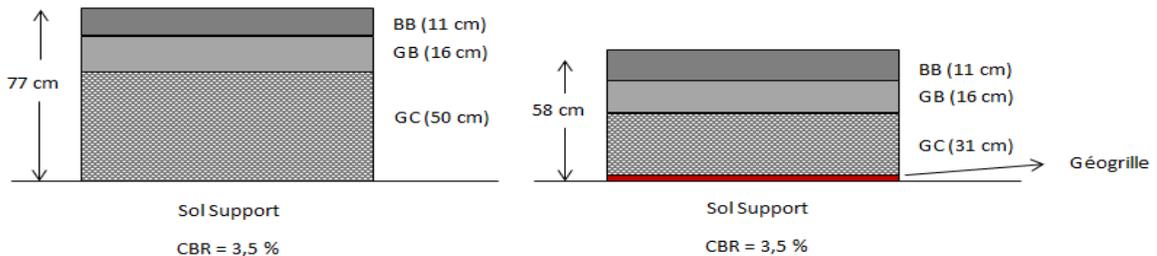


Figure 4-10 structure de chaussée avec et sans géogrille $W_{18} = 19,1$ millions ESAL

2.1 Pour ce troisième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, mais cette fois pour une charge à l'essieu de 115 KN et un trafic de 50000 véhicules par an.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,64$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3=0,13$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
11951090	1,479	11	3,058	16	5,997	44	27

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (17,32 - 10,62)) / 17,32 = 38,68 \%$$

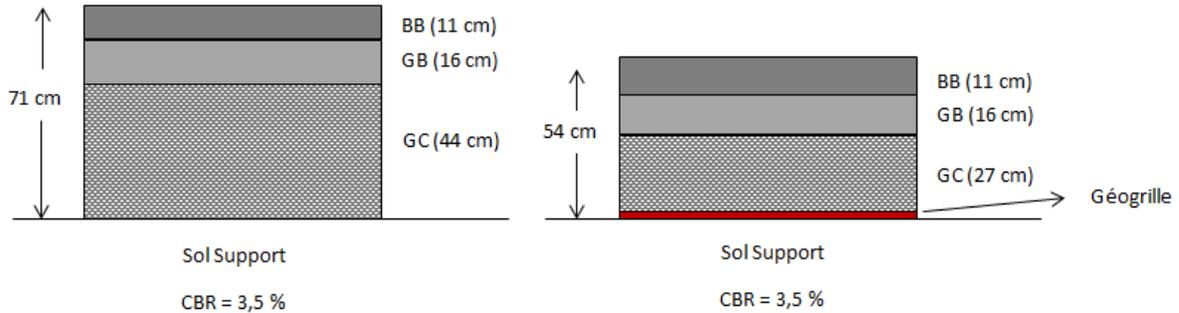


Figure 4-11 Structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 11,9$ millions ESAL

3.1 Pour ce quatrième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, mais cette fois pour un essieu de charge 115 KN et pour un trafic de 100000 véhicules par an.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,64$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3=0,13$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
23902180	1,675	11	3,427	17	6,558	51	31

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (20,07 - 12,59)) / 20,07 = 37,27 \%$$

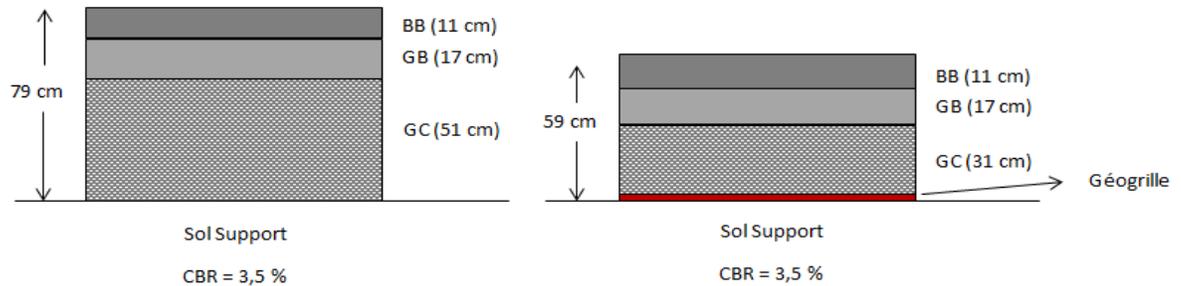


Figure 4-12 structure de chaussée avec et sans géogridde $W_{18} = 23,9$ millions ESAL

4.1 Pour ce cinquième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, pour un trafic de 50000 véhicules par an, une charge de 115 KN à l'essieu et on suppose que la zone a une faible qualité drainage avec 3% du temps d'exploitation du niveau d'humidité proche de saturation.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=0,8$; $LCR=1,64$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3=0,13$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
11951090	1,479	11	3,058	16	5,997	65	40

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (25,59 - 15,74)) / 25,59 = 38,49 \%$$

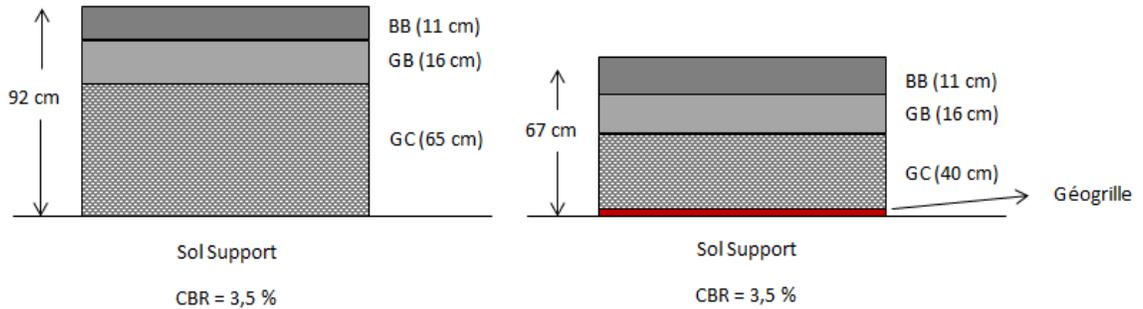


Figure 4-13 Structure de chaussée avec et sans géogrid $W_{18} = 11,9$ million ESAL et $m_3=0,8$

Remarque 1 : Toutes les épaisseurs de différentes couches sont prises en respectant le minimum prévu dans le Tableau 3-8 , Tableau 3-5 et aussi pour avoir des valeurs faciles à réaliser en convertissant les valeurs en pouces (in) au centimètre avec :

$$1 \text{ (in)} = 2,54 \text{ cm.}$$

$$1 \text{ (psi)} = 0.00689476 \text{ Mpa}$$

Pour faire une comparaison et voir l'utilité de géogrid en renforcement on a décidé de dimensionner une autre chaussée. Le cas étudié est une chaussée souple dans la wilaya de Tlemcen, le chemin de wilaya 111 (CW) reliant Tagma à Tizi expertisé par le laboratoire de travaux publics de l'ouest (LTPO), sous l'autorisation de la Direction des Travaux publics (DTP) de la wilaya de Tlemcen.

1) Les investigations géotechniques :

Afin de connaître les propriétés et les caractéristiques des matériaux qui constituent ce corps de chaussée ainsi que le sol support, cinq puits ont été réalisés pour savoir les types des matériaux et les épaisseurs de chaque couche qui constituent cette chaussée.

- ✓ Puits N° 01 : d'une profondeur de 1,5 m.
- ✓ Puits N° 02 : d'une profondeur de 1,19 m.
- ✓ Puits N° 03 : d'une profondeur de 0,3 m.
- ✓ Puits N° 04 : d'une profondeur de 0,7 m.
- ✓ Puits N° 05 : d'une profondeur de 0,85 m.

Pour le tronçon situé au niveau de puits N° 04.

On va dimensionner une structure de chaussée sur une durée de vie de 20 ans avec un taux d'accroissement annuel de 2%, la chaussée sera constituée des couches suivantes : une couche de roulement en béton bitumineux de module d'élasticité $E = 450\,000$ (psi), une couche de base en grave bitume de module de résilience $M_R = 225\,000$ (psi) et d'une couche de fondation en grave concassée d'un CBR =84%.

Le trafic est de 80000 véhicules par an, d'une charge par essieu de 80 KN, le sol support est une argile limoneuse rougeâtre d'un CBR =16% ; un indice de service terminal égal à 2,5 et que la zone a une bonne qualité de drainage avec 3% du temps d'exploitation du niveau d'humidité proche de saturation, avec une fiabilité R de 95%.

3) Sans renforcement :

- ❖ On suppose que SN égale à 6.
- ❖ Calcul de la charge équivalente à l'essieu W_{18} : tout d'abord on doit calculer l'estimation du trafic pour la première année avec :
 - ✓ L'estimation du trafic de la première année = Trafic prévu x le facteur d'équivalence de la charge à l'essieu.

On a une charge par essieu de 80 KN on doit la convertir en kips.

$$1 \text{ kips} = 4,4482 \text{ KN donc la charge sera égale } (80/4,4482) = 17,98 \approx 18 \text{ kips.}$$

A partir de tableaux D4 de guide (AASHTO, 1993) on trouve un facteur de 1 donc :

Table D.4. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0004	0004	0003	0002	0002	0002
4	003	004	004	003	002	002
6	011	017	017	013	010	009
8	032	047	051	041	034	031
10	078	102	118	102	088	080
12	168	198	229	.213	189	176
14	328	358	399	388	360	342
16	591	613	646	645	623	606
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	→ 1 00

L'estimation du trafic de la première année = $80000 \times 1 = 80000$

Après on multiplie l'estimation du trafic de la première année par le facteur de croissance annuelle du trafic pour obtenir w'_{18} .

- ✓ Pour notre cas on va dimensionnée une chaussée d'une durée de vie de 20 ans avec une croissance annuelle de 2%, à partir du

Tableau 3-1 le facteur de croissance annuelle du trafic sera 24,3.

$$\text{Donc : } w'_{18} = 24,3 \times 80000 = 1944000$$

Après on multiplie la valeur obtenue de w'_{18} par Le facteur de distribution directionnelle (D_D) et Le facteur de distribution des voies (D_L).

Le facteur de distribution directionnelle $D_D = 0,5$.

Et à partir du Tableau 3-2 en prendre $D_L=1$ car notre chaussée à 1 voie dans chaque direction, Donc :

$$w_{18} = 0,5 \times 1 \times 1944000 = 972000$$

Enfin on calcule la charge équivalente à l'essieu W_{18} qui égale w_{18} multiplie par le facteur de fiabilité F_R . avec : $F_R = 10^{(-Z_R \times S_0)}$

Pour calculer de facteur de fiabilité F_R nous avons besoin de l'erreur type combinée de la prédiction de trafic et de la prédiction de performance (S_0) et l'écart normal standard Z_R .

Pour toutes les chaussées souples $0,4 \leq S_0 \leq 0,5$, on prend $S_0 = 0,45$.

D'après les données on a une fiabilité $R=95\%$, à partir du Tableau 3-4 en trouve : $Z_R = -1,645$.

$$F_R = 10^{(1,645 \times 0,45)} = 5,489.$$

Donc : $W_{18} = 972000 * 5,489 = 5335308$ ESAL

- ❖ Détermination de Perte d'aptitude au service (ΔPSI) :
 - ✓ L'indice de service de conception initiale $P_0 = 4,2$ car c'est une chaussée souple et l'indice de service terminal $P_t = 2,5$ d'après les données donc :

$$\Delta PSI = P_0 - P_t = 4,2 - 2,5 = 1,7.$$

- ❖ Détermination de module de résilience de l'infrastructure M_R :

- ✓ On a un CBR=16 nous dans le premier cas CBR > 10% :

$$M_R = 2555 \times CBR^{0,64} = 2555 \times 16^{0,64} = 15068 \text{ (Psi)}.$$

- ❖ Détermination de SN :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

- ✓ Après calcul on trouve SN = 3,727.

- ❖ Calcul des épaisseurs et les différents coefficients des couches de la chaussée :

SN sera égale à : $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 m_3$ pour notre cas car la 2^{ème} couche est traitée aux bitume.

- ✓ Calcul des coefficients a_1 , a_2 et a_3 :

À partir de la Figure 3-5 pour un béton bitumineux de $E = 450000$ psi on trouve $a_1 = 0,44$.

À partir de la Figure 3-8 pour une couche de base de grave bitume de $M_R = 225000$ psi on trouve $a_2 = 0,23$.

À partir de la Figure 3-9 pour une valeur de CBR = 84 on trouve $a_3 = 0,134$.

- ✓ Calcul de coefficients de drainage m_3 :

Notre chaussée se trouve dans une zone bonne qualité de drainage avec 25% du temps d'exploitation du niveau d'humidité proche de saturation donc à partir du Tableau 3-7 on prend $m_3 = 1,2$.

- ✓ Calcul des épaisseurs D_1 , D_2 et D_3 :

Pour calculer l'épaisseur D_1 tout d'abord on doit calculer SN_1 en utilisant l'équation suivante et en remplaçant M_R de la deuxième couche (couche de base).

- ✓ Calcul de SN_1 :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Après calcul on trouve $SN_1 = 1,271$.

$$D_1 \geq (SN_1/a_1) \text{ donc } D_1 = (1,032/0,44) = 2,88 \quad D_1 = 4,33 \text{ (in)}$$

De même façon comme on a calculé SN_1 , mais cette fois on remplace M_R de la troisième couche (couche de fondation).

- ✓ Calcul de SN_2 :

La couche de fondation a une CBR = 84 donc $M_R = 43545$ psi

Calcul de SN_2 :

Après calcul on trouve $SN_2 = 2,482$.

$$D_2 \geq (SN_2 - a_1 D_1)/a_2 \text{ donc } D_2 \geq (2,482 - 0,44 * 4,33)/0,23 = 2,5 \quad D_2 = 6,29 \text{ (in)}$$

- ✓ Calcul de D_3 car SN_3 est déjà calculé $SN_3 = 3,727$.

$$D_3 \geq (SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2)/a_3 m_3 \text{ donc}$$

$$D_3 \geq (3,727 - 0,44 * 4,33 - 0,23 * 6,29)/0,134 * 1,2 = 2,33 \text{ donc } D_3 = 7,08 \text{ (in).}$$

1) Avec renforcement :

- ❖ Calcul de coefficient LCR :

Pour cette structure de chaussée on va utiliser un renforcement par géogridde MACGRID EG 30S :

Les valeurs de LCR sont déterminées directement à partir de la Figure 4-8.

- ✓ Le sol support à une CBR = 16 donc on trouve un LCR = 1,36.

- ❖ Calcul de nouveau l'épaisseur D_3 :

$$D_3 \geq (3,727 - 0,44 * 4,33 - 0,23 * 6,29)/0,134 * 1,2 * 1,36 = 1,72 \quad D_3 = 5,51 \text{ (in).}$$

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,36$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3 =0,134$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
5335308	1,271	11	2,482	16	3,727	18	14

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

Économie (%) = $100 * (\text{Épaisseur de la couche sans renforcement} - \text{Épaisseur de la couche avec renforcement}) / \text{Épaisseur de la couche sans renforcement}$.

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (7,08 - 5,51)) / 7,08 = 22,17 \%$$

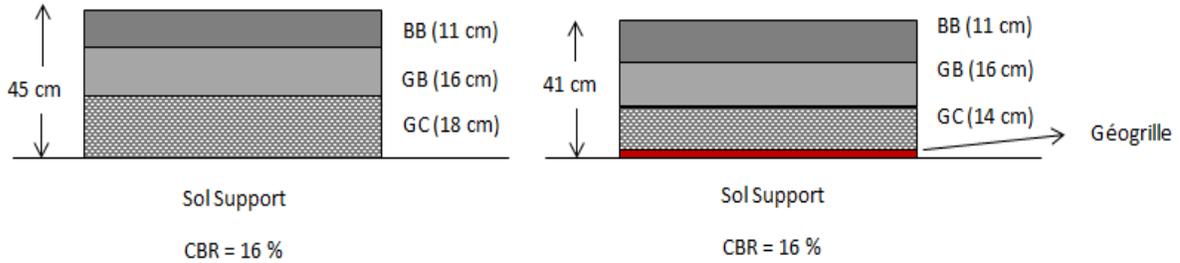


Figure 4-14 Structure de chaussée avec et sans géogrid $W_{18} = 5,3$ millions ESAL

5.1 Pour ce deuxième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, mais cette fois pour une charge à l'essieu 115 kN en gardant les mêmes paramètres.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,36$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3 =0,134$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
23902180	1,675	11	3,184	16	4,699	22	16

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (8,66 - 6,29)) / 8,66 = 27,37 \%$$

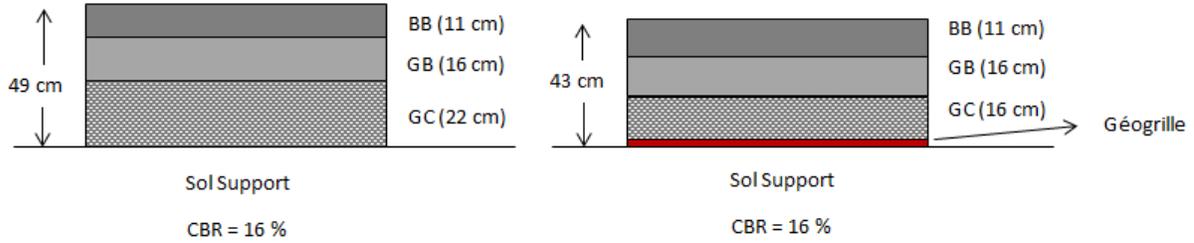


Figure 4-15 Structure de chaussée avec et sans géogrid $W_{18} = 23,9$ millions ESAL

6.1 Pour ce troisième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, mais cette fois pour une charge à l'essieu de 115 kN et un trafic de 50000 véhicules par an.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,36$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3 =0,134$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
14938863	1,541	11	2,945	16	4,369	17	12

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (6,69 - 4,72)) / 6,69 = 29,44 \%$$

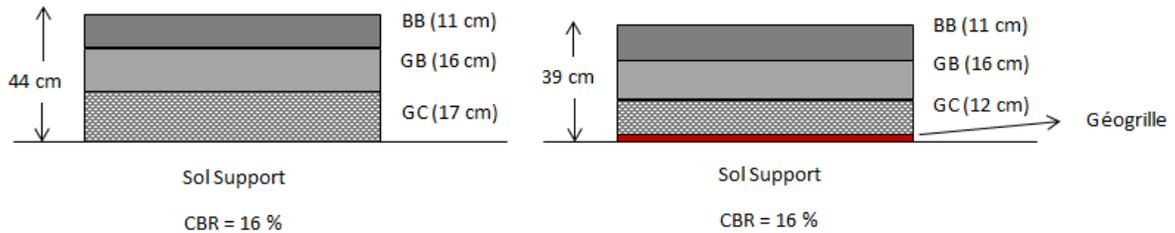


Figure 4-16 Structure de chaussée avec et sans géogrid $W_{18} = 14,9$ millions ESAL

7.1 Pour ce quatrième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, mais cette fois pour un essieu de charge 115 kN et pour un trafic de 100000 véhicules par an.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=1,2$; $LCR=1,36$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3 =0,134$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
29877725	1,742	11	3,303	16	4,854	24	18

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :

$$\text{Économie (\%)} = (100 * (9,44 - 7,08)) / 9,44 = 25 \%$$

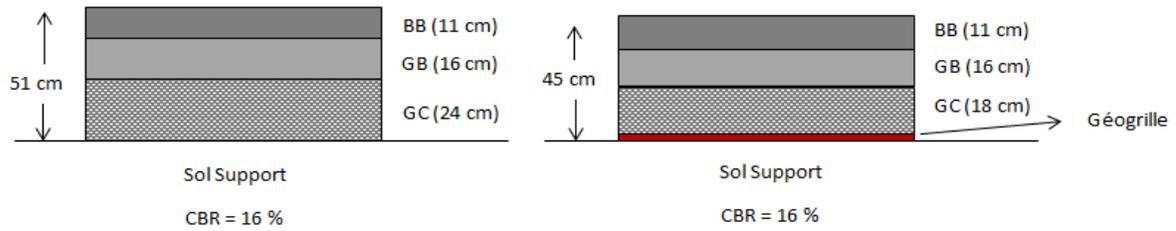


Figure 4-17 Structure de chaussée avec et sans géogrid $W_{18} = 29,8$ millions ESAL

8.1 Pour ce cinquième cas on va dimensionner la même structure de chaussée, pour un trafic de 50000 véhicules par an, une charge de 115 KN à l'essieu et on suppose que la zone a une faible qualité de drainage avec 3% du temps d'exploitation du niveau d'humidité proche de saturation.

Trafic W_{18} ESAL	Coefficient de drainage $m_3=0,8$; $LCR=1,36$; $a_1=0,44$; $a_2=0,23$ et $a_3=0,134$						
	SN_1	D_1 (cm)	SN_2	D_2 (cm)	SN_3	Sans renforcement D_3 (cm)	Avec renforcement D_3 (cm)
14938863	1,541	11	2,945	16	4,369	25	18

❖ Pourcentage d'économie dans la couche de fondation :
 Économie (%) = $(100 * (9,84 - 7,08)) / 9,84 = 28,05$ %.

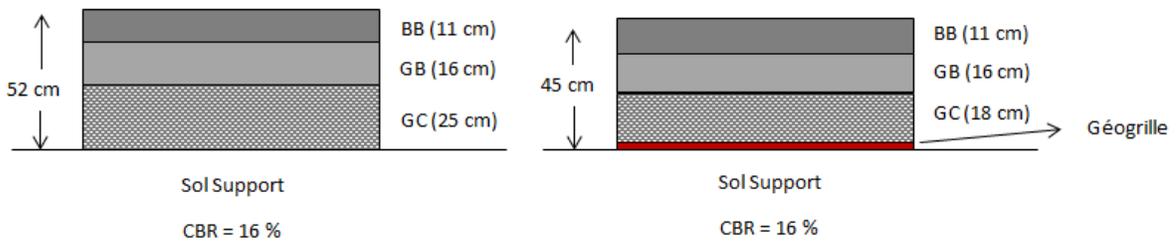


Figure 4-18 structure de chaussée avec et sans géogrid $W_{18} = 14,9$ millions ESAL et $m_3=0,8$

4.2.1.1 Interprétation des résultats

- ✓ Pour les deux cas étudiés on remarque que l'augmentation de trafic implique une augmentation des épaisseurs de différentes couches et l'inverse est vrai.
- ✓ La diminution de coefficient du drainage m_3 implique une augmentation significative dans l'épaisseur de couche de fondation (ex : cas 1 : de 44 cm jusqu'à 65 cm et pour

le cas 2 : de 17 cm jusqu'à 25 cm) ce qui montre l'importance de drainage dans la structure de la chaussée dans le cas des matériaux de mauvaise qualité de drainage.

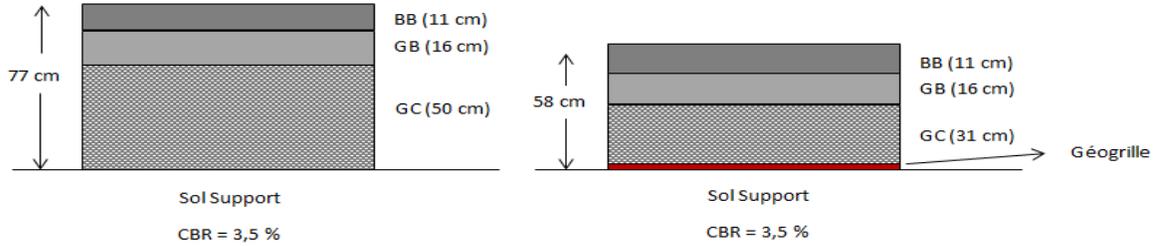
- ✓ Dans tous les cas étudiés on remarque une diminution dans l'épaisseur de la couche renforcée par géogridde.
 - pour le premier cas, on a une réduction de 38,26 % en moyenne, car la couche renforcée par géogridde à un CBR=62% avec un sol support d'un CBR= 3,5%, c'est pour ça on a une couche de fondation plus épaisse et par conséquent la réduction sera plus importante après le renforcement par géogridde.
 - pour le deuxième cas, on a une réduction de 26,41 % en moyenne, car la couche renforcée par géogridde à un CBR=84% avec un sol support d'un CBR= 16%, c'est pour ça on a les épaisseurs des couches de fondation petites par rapport au premier cas ce qui implique une réduction moins importante par rapport au premier cas.
- ✓ Donc le renforcement en géogridde est très utile pour le cas des sols de faible capacité portante.

4.2.2 Comparaison des devis quantitatifs et estimatifs

On va faire un devis quantitatif et estimatif pour un tronçon de 7 m² de notre chaussée.

- ✓ Pour la couche de béton bitumineux, le prix unitaire est de 4500 DA par tonne de masse volumique de 2,3 t/m³.
- ✓ Pour la couche de grave bitume, le prix unitaire est de 3500 DA par tonne de masse volumique de 2,4 t/m³.
- ✓ Pour la couche de Grave concassée, le prix unitaire est de 2000 DA par m³.
- ✓ Pour la couche de Géogridde le prix unitaire est de 131,14 DA par m².

1.1 Devis quantitatifs pour la chaussée CW45 le cas N°1 :



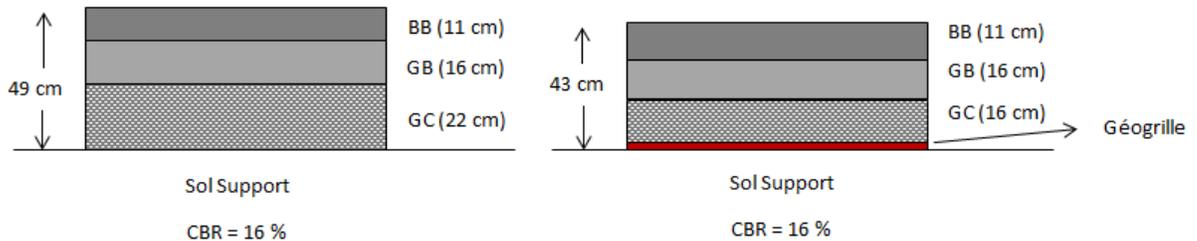
Sans renforcement :

<i>La couche</i>	<i>U</i>	<i>Q</i>	<i>P.U « DA »</i>	<i>Montant « DA »</i>
<i>BB</i>	<i>T</i>	1,771	4500	7969,5
<i>GB</i>	<i>T</i>	2,688	3500	9408
<i>GC</i>	<i>m³</i>	3,5	2000	7000
<i>Montant</i>				24377,5

Avec renforcement :

<i>La couche</i>	<i>U</i>	<i>Q</i>	<i>P.U « DA »</i>	<i>Montant « DA »</i>
<i>BB</i>	<i>T</i>	1,771	4500	7969,5
<i>GB</i>	<i>T</i>	2,688	3500	9408
<i>GC</i>	<i>m³</i>	2,17	2000	4340
<i>Géogrille</i>	<i>m²</i>	7	131,14	917,98
<i>Montant</i>				22635,48

1.1 Devis quantitatifs pour la chaussée CW111 le cas N°1 :



Sans renforcement :

<i>La couche</i>	<i>U</i>	<i>Q</i>	<i>P.U « DA »</i>	<i>Montant « DA »</i>
<i>BB</i>	<i>T</i>	<i>1,771</i>	<i>4500</i>	<i>7969,5</i>
<i>GB</i>	<i>T</i>	<i>2,688</i>	<i>3500</i>	<i>9408</i>
<i>GC</i>	<i>m³</i>	<i>1,54</i>	<i>2000</i>	<i>3080</i>
<i>Montant</i>				<i>20457,5</i>

Avec renforcement :

<i>La couche</i>	<i>U</i>	<i>Q</i>	<i>P.U « DA »</i>	<i>Montant « DA »</i>
<i>BB</i>	<i>T</i>	<i>1,771</i>	<i>4500</i>	<i>7969,5</i>
<i>GB</i>	<i>T</i>	<i>2,688</i>	<i>3500</i>	<i>9408</i>
<i>GC</i>	<i>m³</i>	<i>1,12</i>	<i>2000</i>	<i>2240</i>
<i>Géogrille</i>	<i>m²</i>	<i>7</i>	<i>131,14</i>	<i>917,98</i>
<i>Montant</i>				<i>20535,48</i>

4.2.2.1 Interprétation des devis quantitatifs et estimatifs

D'après les deux devis quantitatifs et estimatifs il est très clair que la chaussée renforcée par géogrille dans le cas des sols à faible capacité portante est très économique par rapport à la chaussée non renforcée. Mais pour le deuxième cas où on a un sol d'une bonne capacité portante par rapport au premier cas la chaussée non renforcée est plus économique par rapport à la chaussée renforcée.

4.3 Conclusion

L'utilisation des produits géosynthétiques pour le renforcement des chaussées souples est largement utilisée dans les pays développés grâce aux plusieurs avantages apportés par ces produits tels que la facilité et la rapidité de mise en œuvre, la grande résistance aux charges dues au trafic et leur contribution dans le développement durable et la protection des ressources naturelles.

Dans ce chapitre, nous venons de dimensionner une structure de chaussée souple à l'aide de la méthode de dimensionnement aashto 1993 modifiée sans et avec renforcement en géogrid, cette méthode nous offre une réduction dans l'épaisseur globale de la chaussée, et par conséquent une réduction des coûts d'exécution du projet.

Donc on peut dire que le géosynthétique est vraiment une solution très efficace, économique et qui peut résoudre les problèmes de stabilité des corps des chaussées soit dans leur construction ou leur réhabilitation tout ça à condition de choisir le meilleur type de renforcement pour avoir le meilleur comportement entre le sol et le géosynthétique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Pour conclure, ce mémoire avait pour objectif d'étudier la stabilisation et le renforcement de corps de chaussée par utilisation des géosynthétiques.

Tout d'abord, on a commencé notre travail par des notions générales sur la route et la chaussée pour montrer l'importance du réseau routier en Algérie et comprendre quels sont les différents facteurs et familles de dégradations qui influent et causent la dégradation des chaussées souples.

Après, une étude bibliographie pour mieux connaître les produits géosynthétiques, leurs différents types, fonctions, caractéristiques, essais et normes applicables dans ce grand secteur et aussi les nombreux avantages apportés par ces derniers dans le secteur de génie civil.

Ensuite, une partie théorique pour décrire les différents mécanismes de renforcement et la méthode de dimensionnement des chaussées souples renforcées par géosynthétique (la méthode AASHTO 1993 modifiée). Puis on a passé aux méthodes de conception pour les pistes d'aérodrome (méthode de l'administration fédérale de l'aviation (FAA) et la combinaison de la méthode de barenberg et de la méthode (FAA)).

Après, on a appliqué la méthode d'AASHTO 1993 modifié pour le dimensionnement d'une chaussée sans et avec renforcement géogrille. Cette étude que nous avons fait nous a permis de monter l'utilité et les avantages de l'association des produits géosynthétiques dans la structure de chaussée où nous avons eu une réduction de l'épaisseur de la structure de chaussée et d'après les recherches déjà faites, on sait que le renforcement par géosynthétiques apporte une diminution des contraintes qui se produisent à l'intérieur de la structure de chaussée, il augmente aussi sa stabilité et il réduit les fissures et les déformations. Tout ça va nous servir à augmenter la durée de vie de nos chaussées et par conséquent réduire les coûts de maintenance.

Enfin, on peut dire que le secteur des produits géosynthétiques est un secteur très vaste et représente le futur du domaine de génie civil, donc il est devenu très nécessaire de commencer à approfondir et investir dans ce grand secteur afin que nous puissions atteindre les pays leaders dans ce secteur.

Annexe A : Tableau synoptique des dégradations

NIVEAU DE SÉVÉRITÉ

DÉGRADATION	Faible	Moyen	Majeur
Fissure transversale	Bords francs, fissure simple et intermittente, ouverture < 5 mm	Bords érodés, fissure continue simple ou multiple, ouverture totale de 5 à 20 mm	Bords érodés et affaissés, fissure multiple ou ouverture totale > 20 mm
Fissure en piste de roue	Bords francs, fissure simple et intermittente, ouverture < 5 mm	Bords érodés, fissure continue simple ou multiple, ouverture totale de 5 à 20 mm	Bords érodés et affaissés, fissure multiple ou ouverture totale > 20 mm
Fissure longitudinale hors piste de roue	Bords francs, fissure simple et intermittente, ouverture < 5 mm	Bords érodés, fissure continue simple ou multiple, ouverture totale de 5 à 20 mm	Bords érodés et affaissés, fissure multiple ou ouverture totale > 20 mm
Fissure de gel (lézarde)	Bords francs, fissure simple et intermittente, ouverture < 10 mm	Bords érodés, fissure continue simple ou multiple, ouverture totale de 10 à 25 mm	Bords érodés et affaissés, fissure multiple ou ouverture totale > 25 mm
Fissure en carrelage	Maillage en formation, fissures simples aux bords francs	Maillage bien formé de fissures simples aux bords un peu érodés	Maillage serré et bien formé de fissures simples aux bords érodés
Fissure en rive	Bords francs, fissure simple et intermittente, ouverture < 5 mm	Bords érodés, fissure continue simple ou multiple, ouverture totale de 5 à 20 mm	Bords érodés et affaissés, fissure multiple ou ouverture totale > 20 mm
Ornière à faible rayon	h < 10 mm	10 < h < 20 mm	h > 20 mm
Ornière à grand rayon	h < 10 mm	10 < h < 20 mm	h > 20 mm
Affaissement	h < 20 mm	20 < h < 40 mm	h > 40 mm
Souèvement différentiel	h < 50 mm	50 < h < 100 mm	h > 100 mm
Désordre du profil	h < 20 mm	20 < h < 40 mm	h > 40 mm
Désenrobage et arrachement	Peu apparent, 25 % de la surface affectée	Apparent, 50 % de la surface affectée	Très apparent, la majorité de la surface affectée
Ressuage	Intermittent et moins de 25 % de la surface dans les pistes de roues est affectée	Continu et moins de 50 % de la surface dans les pistes de roues est affectée	Continu, 100 % de la surface dans les pistes de roues est affectée
Pelade	De moins de 0,5 m ²	De 0,5 à 1,0 m ²	De plus de 1,0 m ² ou plus
Nid-de-poule	Diamètre de moins de 200 mm	Diamètre de 200 à 300 mm	Diamètre de plus de 300 mm
Dénivellation des regards et des puisards	h < 20 mm	20 < h < 40 mm	h > 40 mm
Fissuration autour des regards et des puisards	Bords francs, fissure simple et intermittente, ouverture < 5 mm	Bords érodés, fissure continue simple ou multiple, ouverture totale < 20 mm	Bords érodés et affaissés, fissure multiple ou ouverture totale > 20 mm
Coupe et tranchée	h < 20 mm	20 < h < 40 mm	h > 40 mm

Annexe B : Réseau routier à Tlemcen et son état d'après le DTP

Tableau récapitulatif du réseau routier

1-Etat du réseau routier Revetu

Nbre de Voies	Routes Nationales (Km)			Chemins de Wilaya (Km)			Chemins Communaux (Km)			Total (,RN,CIT et CC)				
	Bon	Moyen	Manvais	Bon	Moyen	Manvais	Total	Bon	Moyen	Manvais	Total	Bon	Moyen	Manvais
2X3 Voies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2X2 Voies	69,170		6,000				75,170	-	-	-	-	69,170	-	6,000
4 Voies	3,015		-				3,015	-	-	-	-	3,015	-	-
3 Voies	34,758		-				34,758	1,420			1,420	36,178		-
2 Voies	657,458		-				651,458	1116,629			75,600	1778,219		325,600
Total	764,401		-				764,401	1118,049			75,600	1778,219		331,600

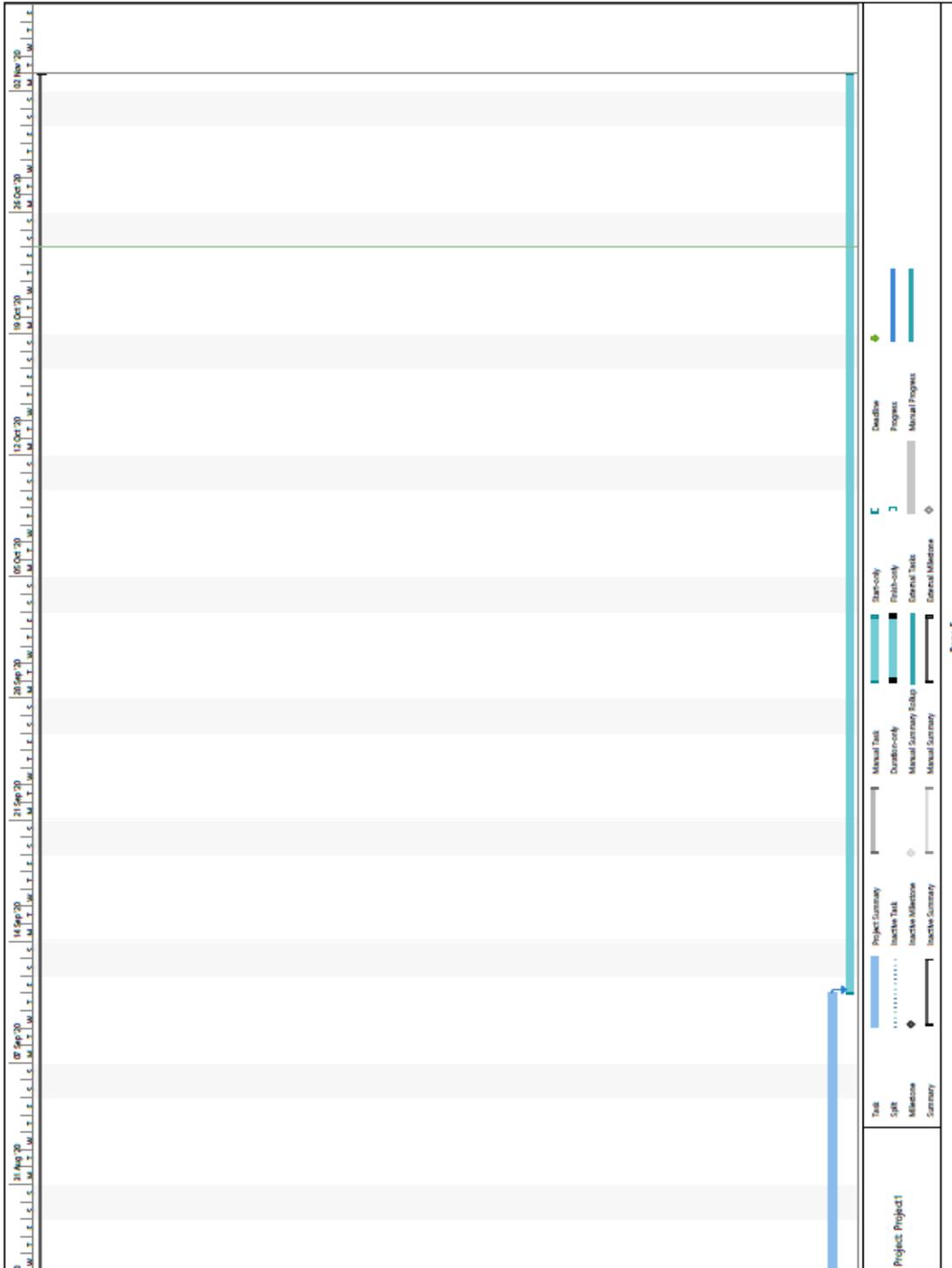
2-Etat du réseau routier non revetu (Piste)

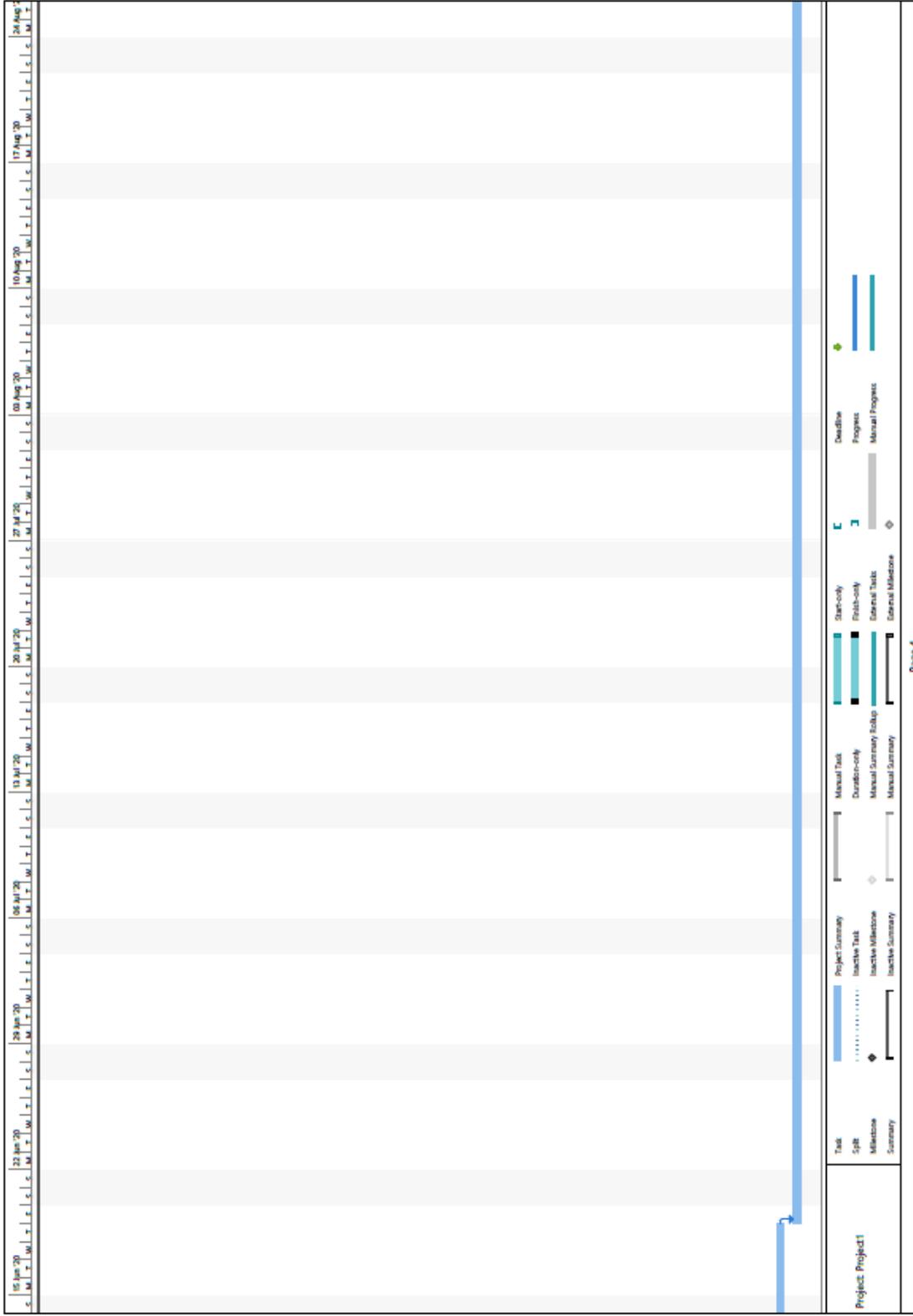
Nbre de Voies	Routes Nationales (Km)			Chemins de Wilaya (Km)			Chemins Communaux (Km)			Total (,RN,CIT et CC)				
	Bon	Moyen	Manvais	Bon	Moyen	Manvais	Total	Bon	Moyen	Manvais	Total	Bon	Moyen	Manvais
Route Piste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250,000	-	-	250,000
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250,000	-	-	250,000

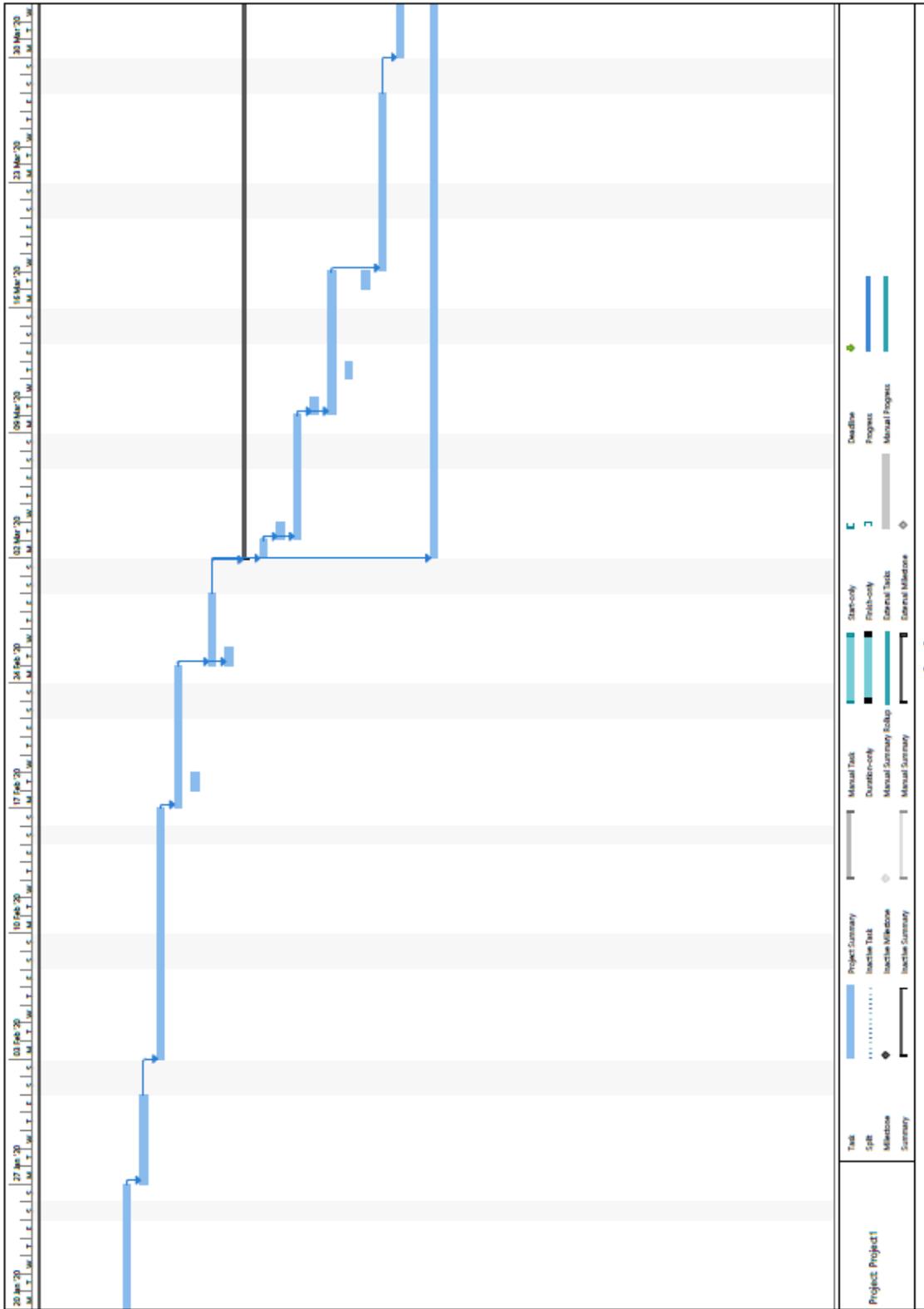
Le tableau récapitulatif du réseau routier Tlemcen

Nbre de Voies	Autoroute Est/Ouest	Routes Nationales			Chemins de Wilaya			Chemins Communaux			Total (Autoroute ,RN,CIT et CC)			
		Revenus	Piste	Total	Revenus	Piste	Total	Revenus	Piste	Total	Revenus	Piste	Total	
2X3 Voies	98,496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,496	-	98,496
2X2 Voies		75,170	-	75,170	-	-	-	-	-	-	-	75,170	-	75,170
4 Voies		3,015	-	3,015	-	-	-	-	-	-	-	3,015	-	3,015
3 Voies		34,758	-	34,758	1,420	-	1,420	-	-	-	-	36,178	-	36,178
2 Voies		651,458	-	651,458	1116,629	75,600	1778,219	250,000	2038,219	3,546,306	325,600	3871,906		3871,906
Total	98,496	764,401	-	764,401	1118,049	75,600	1778,219	250,000	2038,219	3759,165	325,600	4084,765		4084,765

Annexe C : Planning prévisionnel de l'organisation du PFE







ID	WBS	Task Name	Description	Start	Finish	Predecessors
1	1	Mon projet	239 days	Tue 10/12/19	Mon 02/11/20	
2	1.1	Choix de thème	6 days	Tue 10/12/19	Tue 17/12/19	
3	1.2	Validation de thème	2 days	Wed 18/12/19	Thu 19/12/19	2
4	1.3	Rencontre avec le	2 days	Wed 18/12/19	Thu 19/12/19	2
5	1.4	Vacances de S1	14 days	Wed 18/12/19	Sun 05/01/20	2
6	1.5	Constitution de S1	16 days	Mon 06/01/20	Sun 26/01/20	5
7	1.6	Examen S1	5 days	Mon 27/01/20	Fri 31/01/20	6
8	1.7	Etudes bibliographie	11 days	Mon 05/02/20	Sun 16/02/20	7
9	1.8	Proposal de PFE	6 days	Mon 17/02/20	Mon 24/02/20	8
10	1.9	cours de Management	1 day	Tue 18/02/20	Tue 18/02/20	
11	1.10	Amélioration de	4 days	Tue 25/02/20	Fri 28/02/20	9
12	1.11	cours Management	1 day	Tue 25/02/20	Tue 25/02/20	9
13	1.12	Chapitre 1	30 days	Mon 02/03/20	Fri 10/04/20	11
14	1.12.1	introduction	1 day	Mon 02/03/20	Mon 02/03/20	11
15	1.12.2	cours de	1 day	Tue 03/03/20	Tue 03/03/20	14
16	1.12.3	Les rois	5 days	Tue 03/03/20	Mon 09/03/20	14
17	1.12.4	cours de	1 day	Tue 10/03/20	Tue 10/03/20	16
18	1.12.5	Les chausées	6 days	Tue 10/03/20	Tue 17/03/20	16
19	1.12.6	Journées pour les	1 day	Thu 12/03/20	Thu 12/03/20	
20	1.12.7	cours de	1 day	Tue 17/03/20	Tue 17/03/20	
21	1.12.8	Dégradation des	8 days	Wed 18/03/20	Fri 27/03/20	18
22	1.12.9	Arrête a cause de	8 days	Mon 30/03/20	Wed 08/04/20	21
23	1.12.10	conclusion	0 days	Wed 08/04/20	Wed 08/04/20	22
24	1.12.11	Rédaction de chapitre	30 days	Mon 02/03/20	Fri 10/04/20	11
25	1.13	Chapitre 2	20 days	Sat 11/04/20	Thu 07/05/20	24
26	1.13.1	introduction	1 day	Sat 11/04/20	Sat 11/04/20	24
27	1.13.2	Function des	4 days	Mon 13/04/20	Thu 16/04/20	26
28	1.13.3	Types des	6 days	Fri 17/04/20	Fri 24/04/20	27
29	1.13.4	conclusion	0 days	Fri 24/04/20	Fri 24/04/20	28
30	1.13.5	Rédaction de chapitre	20 days	Sat 11/04/20	Thu 07/05/20	24
31	1.14	Chapitre 3	7 days	Fri 08/05/20	Mon 18/05/20	30
32	1.14.1	introduction	1 day	Fri 08/05/20	Fri 08/05/20	30
33	1.14.2	Mécanisme de	3 days	Mon 11/05/20	Wed 13/05/20	32
34	1.14.3	Méthodes de	3 days	Thu 14/05/20	Mon 18/05/20	33
35	1.14.4	conclusion	0 days	Mon 18/05/20	Mon 18/05/20	34
36	1.14.5	Rédaction de chapitre	7 days	Fri 08/05/20	Mon 18/05/20	30
37	1.15	Chapitre4	13 days	Tue 19/05/20	Thu 04/06/20	36
38	1.15.1	introduction	1 day	Tue 19/05/20	Tue 19/05/20	36
39	1.15.2	Etudes d'un cas	3 days	Wed 20/05/20	Fri 22/05/20	38
40	1.15.3	simulation	1 day	Mon 25/05/20	Mon 25/05/20	39
41	1.15.4	interprétation des	1 day	Tue 26/05/20	Tue 26/05/20	40
42	1.15.5	conclusion générale	1 day	Wed 27/05/20	Wed 27/05/20	41
43	1.15.6	Rédaction de chapitre	13 days	Tue 19/05/20	Thu 04/06/20	36
44	1.16	Réviser le PFE par mot et	5 days	Fri 05/06/20	Thu 11/06/20	43
45	1.17	Transmettre le PFE au	5 days	Fri 12/06/20	Thu 18/06/20	44
46	1.18	Correction des fautes	60 days	Fri 19/06/20	Thu 10/09/20	45
47	1.19	Faire les corrections	37 days	Fri 11/09/20	Mon 02/11/20	46

Annexe D : Les investigations géotechniques CW111

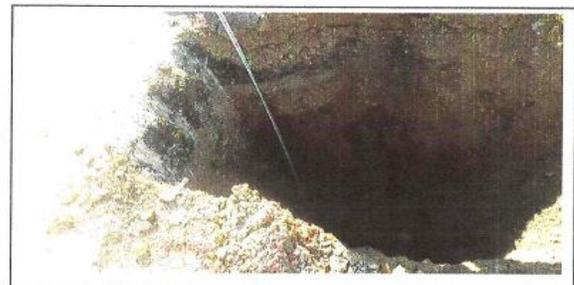
PUITS N° 01

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	8	
Couche en Grave bitume (GB)		
Grave concassée	19.5	
	66	
Argile noirâtre pâteuse, graveleuse humide	86	
	150	



PUITS N° 02

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	10	
Couche en Grave bitume (GB)		
Grave concassée	24	
	49	
Argile limoneuse noirâtre humide	119	



PUITS N° 03

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	6	
Couche en Grève bitume (GB)		
Grève concassée	16	
Calcaire dolomitique grisâtre à rosâtre compact et dur	26	
	30	



PUITS N° 04

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	5	
Couche en Grève bitume (GB)		
Grève concassée	17	
	31	
Argile limoneuse noirâtre humide	63	
	70	
Calcaire dolomitique grisâtre à rosâtre compact et dur		



PUITS N°05

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	6	
Couche en Grève bitume (GB)		
Grève concassée	17	
	27	
Revêtement traditionnel humide	41	
Argile limoneuse rougeâtre humide	81	
	85	
Calcaire dolomitique grisâtre à rosâtre compact et dur		



Tableau récapitulatif des essais de laboratoire

N° Dossier : EXP-19-145
Projet : Etude d'expertise CW 111
Client : DTP TLEMEN

Référence Sondage	Nature	PUITS	Paramètres physiques			Limite d'Atterberg		Analyse granulométrique		Châliement à la boîte		Essai Proctor			Essai Chimique		
			W (%)	ρ_d (t/m ³)	ρ_h (t/m ³)	S_r (%)	WL (%)	Ip (%)	< 2mm	< 80µ	Cu (bars)	ρ_w (°)	γ_{hum} (t/m ³)	W_{opt} (%)	CBR _{opt}	CBR _{essai}	VBS (%)
Sol support	Argile Noirâtre	P 01	10	1,88	2,06	63	41	15	54	41	20,43	2,08	8,00	27	40		
Sol support	Calcaire Marnéuse Blancheâtre	P 01	15	1,81	2,09	88	32	11	99	95	9,79	1,88	12,00	9	15		
Sol support	Argile Limoneuse Noirâtre	P 02	24	1,41	1,75	74	42	21	96	90	16,15	1,88	12,00	7	10		
Sol support	Argile Limoneuse Rougeâtre	P 04	18	1,77	2,10	99	38	16	94	77	12,43	1,88	12,00	16	21		
Sol support	Argile Limoneuse Rougeâtre	P 05	15	1,55	1,79	57	42	11	64	50	21,45	1,98	11,00	10	20		
Grave Concassée		P 01					31	15	41	21		2,26	4,00	85	115	0,291	70
Grave Concassée		P 02					27	12	43	20		2,25	5,00	88	141	0,320	74
Grave Concassée		P 03					25	9	44	19		2,20	5,00	85	138	0,225	77
Grave Concassée		P 04					N/Mes	N/Mes	34	17		2,20	5,00	84	125	0,224	64
Grave Concassée		P 05					31	16	27	12		2,17	3,00	75	107	0,150	68
Mélange		P 05					40	21	32	19		2,22	4,00	75	117	0,215	56

Annexe E : Les investigations géotechniques CW 45

PUITS N° 01

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)		
Couche en Grave bitume (GB)	12	
Grave concassée	18	
Revêtement traditionnel	35	
Tuf blanchâtre	47	
Argile marron graveleuse peu humide	51	
	108	



PUITS N° 02

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)		
Couche en Grave bitume (GB)	10	
Grave concassée	14	
Argile verdâtre à jaunâtre peu sableuse, humide	19	
	84	



PUITS N° 03

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	6	
Couche en Grave bitume (GB)		
Grave concassée	9	
	22	
Revêtement traditionnel	30	
Tuf blanchâtre graveleux	53	
Argile jaunâtre sableuse humide	80	



PUITS N° 04

Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	5	
Couche en Grave bitume (GB)		
Grave concassée	9	
	22	
Revêtement traditionnel	31	
Argile verdâtre humide	53	
Argile jaunâtre sableuse humide		
	73	



PUITS N°05

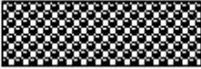
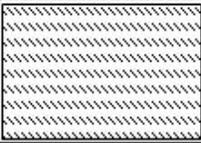
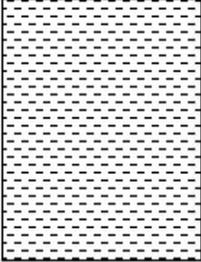
Description	Prof. (cm)	Stratigraphie
Couche en Béton bitumineux (BB)	9	
Couche en Grave bitume (GB)		
Grave concassée	12	
Argile verdâtre humide	26	
	70	



Tableau récapitulatif des essais de laboratoire

N° Dossier : EXP-20-001
Projet : Expertise géotechnique de la chaussée du CW45 au PK 30+600 Amieur
Client : DTP TLEMCEM

Référence Sondage	Profondeur (m)	Paramètres physiques		Limite d'Atterberg		ES (%)	Analyse granulométrique			Cisaillement à la boîte		Essai Oedométrique			Essai Proctor		Essai CBR	
		W (%)	γ_d (k/m ³)	γ_h (k/m ³)	W _L (%)		Ip (%)	< 2mm	< 80 μ	< 2 μ (%)	Co (bars)	ϕ_{cu} (°)	C _c (%)	P _e (bars)	C _g (%)	γ_{max} (t/m ³)	λ_{max} (%)	CBR ₁₀₀ (%)
P 01	Argile				46	27		90	79		0,21	5,03			1,99	11	4,70	3,60
P 02	Argile Sombre				45	27		90	79		0,15	15,62			1,99	11	4,70	3,50
P 02	Argile verte				53	36		100	98		0,18	14,04			1,98	12	4,60	3,50
P 02	Argile griseuse jaunâtre				33	13		78	72						2,18	7	4,80	3,60
P 03	Tuf				N/Mes	N/Mes		49	26						2,08	8	103,00	70,00
P 03	Argile Verte				45	27		92	86		0,08	9,62			1,98	12	4,60	3,50
P 04	Argile Verte				42	24		98	93		0,08	17,09			1,99	12	4,70	3,50
P 04	Argile Jaunâtre				41	26		95	86		0,08	17,22			1,99	11	4,70	3,60
P 05	Argile				37	12		93	85						1,99	12	4,70	3,50
P 01	Grès cristallin				N/Mes	N/Mes	22	37	16						2,36	4	116,00	76,00
P 03	Grès cristallin				N/Mes	N/Mes		37	18						2,40	4	92,00	61,00
P 04	Grès cristallin				N/Mes	N/Mes	24	46	17						2,31	5	86,00	56,00
P 05	Grès cristallin				N/Mes	N/Mes	25	46	15						2,80	5	90,00	62,00

Bibliographie

- AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials** AASHTO guide for design of pavement structures [Guide]. - Washington, D.C. : The Association, 1993. - p. 640. - 9781615838622.
- ABDO Joseph** Voiries et aménagements urbains en béton - Conception et dimensionnement [Guide]. - Paris : CIM BÉTON, 20 04 2019. - Vol. 1. - p. 125.
- ACE Geosynthetics** [Online]. - 04 (Consulté le 11, 2020). - <https://www.geoace.com/fr/products>.
- AKIN Birol** YOL ÜST YAPISINDA GEOSENTETİKLERİN KULLANIMI [support de cours]. - Turkey : Department of Civil Engineering, Eskisehir Osmangazi University, Turkey, 2016.
- BATHURST Richard** [En ligne] // geosynthetics society. - (Consulté le 11 04 2020). - <https://www.geosyntheticsociety.org/wp-content/plugins/resources/documents/Functions/French.pdf>.
- BEKKOUCHE Abdelmalek** Introduction à l'utilisation des géosynthétiques [support de cours]. - Tlemcen : Département de Génie Civil, Université de Tlemcen, Algérie, 2020. - pp. 1-303.
- BERNARD France and BRODEUR Michel** Manuel d'identification des dégradations des chaussées flexibles [Guide]. - Québec : Transports Québec, Service de la qualité et des normes, 2002. - 2-551-21654-0.
- BOUAZZA Abdelmalek and GOURC Jean-Pierre** Recent geosynthetics road applications in Northern Africa: Data base initialization [Revue]. - [s.l.] : 9th International Conference on Geosynthetics - Geosynthetics: Advanced Solutions for a Challenging World, ICG 2010, 01 01, 2010. - pp. 1593-1598.
- BUDDHIMA Indraratna, JIAN Chu and CHOLACHAT Rujikiatkamjorn** Ground improvement case histories [Book]. - Oxford : Elsevier butterworth-heinemann, 2015. - p. 763. - 978-0-08-100698-6.
- CERIU** Guide de gestion de l'entretien pour la conservation des chaussées municipales [Guide]. - Montréal Québec : Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines, 2012. - p. 75.
- CFG** (le comité français des géosynthétiques) Définition, mise en oeuvre et dimensionnement des géosynthétiques [Revue]. - [s.l.] : le moniteur des travaux publics et du bâtiment, Avril 10, 2015. - pp. 1-40.
- CMG** [Online] // Le comité marocain des géosynthétiques. - 05 (Consulté le 05, 2020). - <https://cmg-asso.org/category/geosynthetiques/>.

- du pont de nemours [En ligne] // DuPont France. - (Consulté le 22 06 2020). - <https://www.dupontdenemours.fr/knowledge/test-methods.html>.
- Economies Africaines [Online] // Economies Africaines. - 03 (Consulté le 19, 2020). - <http://www.economiesafricaines.com/les-territoires/algerie/les-infrastructures/le-reseau-routier>.
- EN ISO 10319** Essai de traction des bandes larges [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2015.
- EN ISO 10321** Essai de traction des joints/coutures [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2008.
- EN ISO 10776** Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau sous charge [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2012.
- EN ISO 12236** Essai de perforation statique (CBR) [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2006.
- EN ISO 13425** Détermination de l'efficacité de protection d'un géosynthétique contre l'effet d'un impact [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2005.
- EN ISO 13433** Essai de perforation dynamique (test de chute du cône) [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2006.
- EN ISO 9863-1** Détermination de l'épaisseur à des pressions spécifiées [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2016.
- EN ISO 9864** Détermination de la masse par unité de surface [Norme]. - Genève : Organisation internationale de normalisation, 2005.
- Geosynthetics Market Size [Online]. - 05 (Consulté le 30, 2020). - <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/geosynthetics-market>.
- Géotextiles pour le BTP [Online]. - 05 (Consulté le 05, 2020). - <https://slideplayer.fr/slide/13373305/>.
- GUILBAUD Robin** UTILISATION DES GÉOSYNTHÉTIQUES DANS LES CHAUSSÉES - i3C [Revue littéraire]. - Québec : Chaire de recherche i3c, Août 2011. - pp. 1-35.
- HIMOURI Slimane** CONSTRUCTION DES ROUTES [support de cours]. - Mostaganem : Département de Génie Civil, Université de Mostaganem, Algérie, 15 05 2006. - p. 176.
- HUN Manitou, FERRIER Emmanuel et FORET Gilles** Influence de l'eau sur le décollement d'une interface par flexion d'un bicouche de chaussée urbaine [Thèse de doctorat]. - Nantes : École Centrale de Nantes, 29 10 2012. - p. 291.
- Innovex [Online]. - 05 (Consulté le 06, 2020). - <https://innovex.ca/produits/geotextiles/>.
- ISDJ** code de la voirie routière. - Paris : institut française d'information juridique, 03 26, 2020. - p. 89.
- KOERNER Robert M** Designing with geosynthetics [Book]. - New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005. - 5th : p. 796. - 9780131454156.
- KTARI Rahma [et al.]** Mécanismes et modélisations de dégradation et décollement des interfaces de couches de chaussées [Thèse de doctorat]. - Limoges : Université de Limoges, 06 22, 2016. - p. 302.

- LODEN Cheri** USE OF GEOGRIDS IN PAVEMENT CONSTRUCTION [Document]. - washington DC : U.S. Army Corps of Engineers, 02 14, 2003. - p. 38.
- Maccaferri Corporate [Online]. - 09 (Consulté le 11, 2020). - <https://www.maccaferri.com/>.
- MAMMA Farid** RÉSEAUX ROUTIERS ET AUTOROUTIERS EN ALGÉRIE: CONSISTANCE ET PERSPECTIVES. - Alger : Ministère des Travaux Publics et des Transports, Septembre 18, 2017. - p. 42.
- MANDAL J** GEOSYNTHETICS ENGINEERING: IN THEORY AND PRACTICE [support de cours]. - Bombay : Department of Civil Engineering, IIT Bombay, India, 2018. - p. 31.
- Mecaroute [Online]. - 06 (Consulté le 22, 2020). - <https://mecaroute.fr/geosynthetiques/normes/geotextiles>.
- MTP02** Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (fascicule2) [Catalogue]. - Alger : organisme national de contrôle technique des travaux publics, 2001. - Vol. 1. - p. 21.
- MTP03** Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (fascicule3) [Catalogue]. - Alger : organisme national de contrôle technique des travaux publics, 2001. - Vol. 1. - p. 78.
- Organisation internationale de normalisation [Online]. - 06 (Consulté le 22, 2020). - <https://www.iso.org/fr/committee/270590/x/catalogue/>.
- RADI Omar** Le budget annuel nécessaire pour la maintenance du réseau routier en Algérie [Journal] // elmoudjahid. - Alger : [s.n.], 2019. - p. 19.
- ROBERT M and LAFON J F** ROUTES Matériaux, Durabilité Des Chaussées MASTER [support de cours]. - Toulouse : Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2011. - p. 255.
- SHUKLA Sanjay Kumar** An introduction to geosynthetic engineering [Ouvrage]. - London : CRC Press/Taylor & Francis Group, 2016. - 1st Edition : p. 472. - 9780429255403.
- SHUKLA Sanjay Kumar and YIN Jian-Hua** Fundamentals of geosynthetic engineering [Book]. - London : CRC Press/Taylor & Francis Group, 2006. - 1st Edition : p. 432. - 9780429182846.
- SUNDARAM Ravi, SHAHU Jagdish and HAVANAGI Vasant** Geotechnics for Transportation Infrastructure: Recent Developments, Upcoming Technologies and New Concepts [Book]. - Singapore : Springer Singapore, 2019. - 1st : Vol. 1 : p. 720. - 978-9811367007.
- Technical textile [Online]. - 05 (Consulté le 05, 2020). - <http://technicaltextile.net/articles/geosynthetics-an-overview-5150>.
- Textile learner [Online]. - 05 (Consulté le 06, 2020). - <https://textilelearner.blogspot.com/2019/11/geosynthetics-types-fonctions-avantage.html>.
- Texum [Online]. - 04 (Consulté le 11, 2020). - <https://www.texum.swiss/fr/wikitex/histoires/lhistoire-des-routes>.
- ZORNBERG Jorge G** Functions and Applications of Geosynthetics In Roadways [Journal] // Procedia Engineering. - Saint Petersburg : [s.n.], May 17, 2017. - Vol. 189. - pp. 298-306.