



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Bakr Belkaid – TLEMCCEN

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de Master

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et ouvrages d'art

Thème :

**Renforcement des chaussées non revêtues
(unpaved roads) projetées sur sols-supports mous
par les géo synthétiques**

Réalisé par :

BENSMAN ZAKARIA

AMARA IMANE

Soutenu le 2021 devant le jury composé de :

Mr BENYELLES Z

Univ. Tlemcen Président

Mr HOUMADI Y

Univ. Tlemcen Examineur

Mr BEKKOUCHE ABDELMALEK

Univ. Tlemcen Encadrant

Année Universitaire 2020-2021

Remerciement

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.

Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.

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 BENYELLES Z, professeur au département de Génie Civil de la faculté de technologie à l'Université Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen. Ainsi que l'examineur Mr HOUMADI Y

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.

ZAKARIA, IMANE

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 qui m'ont aidé durant toutes ces années. À ma grand-mère, mon oncle, ma tante, cousins et toute ma famille. Pour son travail, son calme et son soutien durant cette étape importante.

À toute la promotion Voies et ouvrage d'art 2020-2021. 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.



ZAKARIA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, fruit de mes études A

Mes très chers parents

Pour leur amour, leurs encouragements et soutien sans faille

Je les remercie de m'avoir accompagnée tout au long de mon parcours

*Mes frères et ma sœur, leurs amours, leurs encouragements et leurs
générosités sans cesse.*

*Tous mes amis et pour les moments Inoubliables passés ensemble et pour
leur soutien.*

Mon encadreur

Tous les étudiants de la promotion sans exception

*Tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce
mémoire*

A tous mes proches, et tous ceux qui m'aiment.

Cordialement

IMANE

Table de matière

Sommaire	vii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Liste des abréviations.....	iv
Résumé	x
Abstract	x
ملخص	xi

CHAPITRE INTRODUCTIF

INTRODUCTION	01
Contexte général, Aperçu du sujet et motivation de la thématique	01
1. Enoncé du problème : Problématique.....	01
2. Cadre et hypothèses de travail	02
3. Objectifs	02
4. Méthodologie	02
5. Revue de la littérature : Hypothèses de recherche	02
5.1. Travaux routiers	03
5.2. Travaux ferroviaires	03
6. Plan du calendrier de travail	04
7. Engagement	04

CHAPITRE 01: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.1. Les Routes	05
I.1.1. INTRODUCTION	05
I.1.2. Le réseau routier algérien	05
I.1.3. Présentation du Réseau	06
I.1.4. Le réseau routier non revêtu	06
I.2. Les chaussées.....	09
I.2.1. Introduction	09
I.2.2. Fonctionnement d'une chaussée.....	10
I.2.3. Les différentes couches	11
I.2.3.1. Les chaussées souples.....	12

I.2.3.2.	Les chaussées semi-rigides	12
I.2.3.3.	Les chaussées rigides.....	13
I.2.4.	Tracé géométrique	14
I.2.5.	Terminologie	14
I.2.6.	Détermination d'une chaussée.....	17
I.2.7.	Coupe type et terminologie	18
I.2.8.	Structure de chaussée	18
I.2.9.	Pathologie des chaussés	18
I.3.	Les dégradations des chaussées non revêtus	20
I.3.1.	Introduction	20
I.3.2.	rappel de la méthode viziret	21
I.3.3.	Dégradation structurelle	21
I.3.3.1.	deformation	22
I.3.3.2.	Nid-de-poule	23
I.3.3.3.	TOLE ONDULEE.....	25
I.3.3.4.	Ravine	26
I.3.4.	Dégradations dues au drainage	26
I.3.4.1.	Traverse	27
I.3.4.2.	Bourbier	27
I.3.4.3.	Tête De Chat	27
I.3.4.4.	Erosion Ou Obturation Des Fosses	28
I.4.	CONCLUSION	29

CHAPITRE 02 : NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.1.	INTRODUCTION.....	30
II.2.	Historique.....	31
II.3.	Notions de base	33
II.3.1.	Différentes familles de géo synthétiques.....	33
II.3.1.1.	Géotextiles	33
II.3.1.2.	Produits apparentés	35
II.3.1.3.	Géosynthétiques étanches.....	35
II.3.1.3.1.	Les plastomères.....	35
II.3.1.3.2.	Les élastomères	36
II.3.1.4.	Géosynthétiques composites.....	36
II.4.	Différentes fonctions des géo synthétiques	37

II.4.1. Fonctions des géotextiles et produits apparentés	37
II.4.2. Notion de dispositif d'étanchéité drainage (DEG) par géo synthétiques.....	39
II.4.3. Dimensionnement par fonction des géo synthétiques	39
II.4.4. Domaine d'application des géo synthétiques.....	40
II.5. Durée de vie	41
II.5.1. Rayonnement ultraviolet.....	42
II.5.2. Micro-organismes	42
II.5.3. Compatibilité chimique	42
II.5.4. Oxydation.....	43
II.5.5. Durée de vie des géomembranes	44
II.6. Géo synthétique en routes et infrastructures linéaires	44
II.6.1. Généralités	44
II.6.2. Terrassements routiers et ferroviaires	46
II.6.3. Anti-fissuration de chaussées.....	47
II.6.4. Base de remblais	48
II.7. Conclusion	48

CHAPITRE 03 : RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.1. INTRODUCTION.....	49
III.2. Définition du renforcement.....	50
III.3. Méthodes de renforcement	51
III.3.1. Le micro- renforcement	51
III.3.2. Le macro-renforcement	51
III.4. L'emploi des géo synthétiques dans les voies routières	51
III.4.1. Renforcement mécanique	52
III.4.2. L'endommagement	52
III.4.2.1. Mécanisme d'endommagement	52
III.5. Renforcement des chaussées non revête à l'aide des géo synthétiques	53
III.5.1. Propriétés théoriques	53
III.5.1.1. Géotextile	53
III.5.1.1.1. Avantage.....	53
III.5.1.1.2. Comportement mécanique.....	54
III.5.1.2. Géogrille.....	55

III.5.1.2.1.	Comparaison avec les géotextiles	55
III.5.1.2.2.	Interaction avec l'agrégat	56
III.5.1.2.3.	Avantages	57
III.5.1.2.4	Caractéristiques géométriques et renforcement	58
III.5.2	Concevoir avec les géo synthétiques	60
III.5.2.1	Quelles géo synthétiques utiliser ?	60
III.5.2.1.1.	Classement par propriétés des géo synthétiques	60
III.5.2.1.2.	Positionnement	61
III.5.2.2.	Outils de calculs actuels	63
III.5.2.3.	Prise en compte du renforcement en dimensionnement.....	65
III.5.2.3.1.	Performance du renforcement	65
III.5.2.3.2.	Expérience: Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft (Hufenusa, R. et al 2005).....	67
III.5.2.3.3.	Expérience: Roadway Subgrade Stabilization Study, Christopher (2008).....	69
III.5.2.3.4.	Méthode de conception	72
III.6.	Bilan	73
III.7.	Conclusion	74
 CONCLUSION GENERALE		75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE		76

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des tableaux :

Chapitre introductif :

Tableau 0.1. plan calendrier de travail.....	04
--	----

Chapitre 1 :

Tableau 1.1. Consistance du réseau routier d'Algérie selon le gabarit	06
Tableau 1. 2. Répartitions du réseau routier à Tlemcen	06
Tableau 1. 3 . . États du réseau routier revêtu	07
Tableau 1. 4. Etat du Réseau Routier Non Revêtu : U= %.....	07

Chapitre 2 :

Tableau 2.1. Fonctions principales assurées par les principales géo synthétiques élémentaires	40
Tableau 2.2. Fonctions qui peuvent être assurées suivant les applications.....	41
Tableau 2.3. Durée maximale d'exposition des géotextiles et produits apparentés	43

Chapitre 3 :

Tableau 3.1. Propriétés déterminantes du géotextile pour un rôle de renforcement.....	50
Tableau 3.2. l'influence de la géométrie de la géogrille sur son comportement.....	60
Tableau 3.3. valeur représentatives de la résistance à la traction de différences catégories de géo synthétiques	61
Tableau 3.3. Position optimale du renforcement au sein d'une chaussée souple selon différents auteurs	63
Tableau 3.4. Profondeur maximale des racines mesurez en octobre 2011.....	68

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 3.5. Caractéristiques et propriétés des géo synthétiques utilisés	69
Tableau 3.6. Caractéristiques géo synthétiques	70
Tableau 3.7. Récapitulatif : mécanisme de renforcement :	73

Listes des Figures:

Chapitre introductif :

Figure 0.1. Renforcer une route par géo synthétique source	03
Figure 0.2. Application de géotextile de renforcement sur sol de faible résistance	03

Chapitre 1 :

Figure1.1. Carte-Algérie.....	05
Figure1.2. Représentations sous forme histogramme du réseau routier à Tlemcen.....	06
Figure1.3 Représentations sous forme secteur du réseau routier revêtu.....	07
Figure1.4. Représentations sous forme secteur du réseau routier non revêtu	08
Figure1.5. Route non revêtu Etabli par	09
Figure1.6. Sol Support (terrassment)	10
Figure1.7. Constitution de chaussée.....	11
Figure1.8. Structure type d'une chaussée souple	13
Figure1.9. Structure type : Structure type d'une chaussée semi-rigide	13
Figure1.10. Structure type d'une chaussée rigide	13
Figure1.11. Profil en travers type d'une route	14
Figure1.12. cas d'une autoroute :	15
Figure1.13. profil en travers type :	15
Figure1.14. Profil en travers Type N :1	15
Figure1.15. Profil en travers Type N :2.....	16
Figure1.16. Profil en travers Type N :3.....	16
Figure1.17. Détermination d'une chaussée.....	17
Figure1.18. Coupe type et terminologie	18
Figure1.19. Type de ruine	19
Figure1.20. SCHEMA DU CLASSEMENT.....	21

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure1.21. Orniérage et affaissement.....	22
Figure1.22 . Lever de poussière.....	23
Figure1.23. Orniérage et affaissement se transformant en bournier sous la pluie.....	23
Figure1.24. Nid de poule	24
Figure1.25. Tôle ondulée.....	25
Figure1.26. Ravine longitudinale et transversal - Ravine longitudinale.....	26
Figure1.27. Traverse. (Illustration photographique Planche 5).....	27
Figure1.28. Dans les zones affaissées de la route et sur une couche de roulement compactée affaissées de la route	28
Figure1.29. Tête de chat Isolée-Généralisées.....	28
Figure1.30. Erosion longitudinale. Gravité 3.....	29

Chapitre 2 :

Figure2.1. Stabilisation des fondations et des briqueteries avec des tapis de reet à Ziggurattemple at Aqar Quf (1500 B.C.) 0	31
Figure2.2. Géogrille renforcée raide slopes.....	32
Figure2.3. Les géotextiles (Tricotés)	34
Figure2.4. Les géotextiles Tissés	34
Figure2.5. les géotextiles Non tissés	35
Figure2.6. Différents types de produits apparentés de géotextiles (Géogrilles).	36
Figure2.7. Différents types de produits apparentés de géotextiles	37
Figure2.8 Principales fonctions des géotextiles et produits apparentés d'après la norme NF EN ISO 10318.....	38
Figure2.9. Dispositif d'étanchéité par géosynthétiques (DEG) :	39
Figure2.10 Applications des géo synthétiques dans les infrastructures linéaires.	45
Figure2.11. Exemples de déformation des géotextiles non tissés.	45
Figure2.12. Utilisation d'un géogrille renforcement de couche de forme	46
Figure2.13. Utilisation d'un géotextile tissé en renforcement de couche de forme	46

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure2.14. Application d'un géo synthétique anti-fissuration de chaussée(G47

Figure2.15Exemple de remblai sur sol compressible renforcé par géo synthétiques..... 48

Figure2.16.Orientation de pose des géo synthétiques de renforcement en base des remblais48

Chapitre 3 :

Figure3.1.Installation de la géo grille de renforcement lors de la réhabilitation d'une route à Vesterålen, Norvège..... 50

Figure3.2.Gonflement54

Figure3.3.La pression exercée entraine une déformation de la forme du géotextile dont)évalue la flèche: forme de géotextile de report 54

Figure 3.4. Interaction avec l'agrégat56

Figure3.5.Valeurs TBR typiques pour une chaussée non renforcée et renforcée pour atteindre une profondeur d'orniérage donnée 66

Figure3.6.module sécant.....67

Figure3.7.Une charge cyclique pour simuler la pression dynamique des essieux. 69

Figure3.8. Réponse à la déformation permanente en fonction des cycles de charge pour cbr =1 % du sol de fondation 71

Figure3.9.répence à la déformation permanente en fonction des cycles de charge pour cbr=2 % 71

Figure3.10. Organigramme de conception d'une chaussée non revête renforcer 72

Liste des abréviations:

CBR : *California Bearing Ration*

GB : *Grave Bitume*

GBR : *Famille de produits imperméables*

GBR-B : *Géomembranes Bitumineuses*

GBR-C : *Géosynthétiques Bentonitiques*

GBR-P *Géomembranes*

GCE : *Géosynthétiques Alvéolaires*

GCL : *Géocellules*

GCO : *Géocomposites*

GCT : *Géoconteneurs*

GGR : *Géogrilles*

GL : *Grave Laitier*

GMA : *Géomatelas*

GNT : *Grave Non Traitée, : Géofilets*

GSP : *Géospaceurs*

GST : *Géobandes*

GTP : *Produits apparentés aux géotextiles*

GTX : *Géotextiles*

GTX-K : *Géotextiles tricotés*

GTX-NW : *Géotextiles non-tissés*

GTX-W : *Géotextiles tissées*

DEG : *Dispositif d'étanchéité par géosynthétiques*

CFG : *Le Comité français des géo synthétiques*

CBR_{bc} et **CBR_{cg}** : correspondent respectivement aux indices CBR de la fondation Granulaire et du sol support.

TBR : est le Traffic Benefit Ration

BCR : est le Base Course

CBR Test : Le California Bearing Ratio

test G_t W1 : Géotextile tissé fibrillé

G_{Tsf} : Géotextile tissé de film delimon

G_{Gw} : Géogrille tissé

G_{Cr-nw} : Géotextile non tissé renforcé

composite G_{Gex} : Géogrille extrudée

RESUME

Résumé:

Une géo synthétique décrit des classes de produits appartenant à la famille des polymères. Ils sont utilisés à la fois dans des projets environnementaux et des projets de génie civil. En raison de leur composition polymère, ces produits sont d'excellents à utiliser dans le sol où des niveaux élevés de durabilité et de longévité sont requis. Une caractéristique supplémentaire de ces géo synthétiques est leur capacité à résister aux conditions météorologiques exposées. Dans le domaine de Génie civil (terrassment, constructions routière, ferroviaire et aéroportuaire, murs de soutènement et talus très pentus).

L'usage d'un géo synthétique adéquat va augmenter la résistance mécanique du sol support ce qui nous permet de réaliser un corps de chaussée de faible épaisseur c'est-à-dire la protection de l'environnement et la diminution du coût du projet.

Les géo synthétiques peuvent être efficacement utilisés pour renforcer des routes non revêtues et des plates-formes de travail sur les sols mous. S'il est bien spécifié, un géo synthétique peut exercer une ou plusieurs des fonctions suivantes : séparation, renforcement et drainage. Les géotextiles et les géo grilles sont les matériaux les plus fréquemment utilisés dans ce type de travaux ; C'est ce qui nous intéresse dans nos recherches :

Renforcement des chaussées non revêtues (unpaved roads) projetées sur sols-supports mous par les géo synthétiques

Mots clés : chaussée non revêtues, renforcement, sol-support mous, drainage, géogrilles.

Abstract:

A geosynthetic describes classes of products belonging to the family of polymers. They are used in both environmental and civil engineering projects. Due to their polymeric composition, these products are excellent for use in the ground where high levels of durability and longevity are required. An additional characteristic of these geosynthetics is their ability to withstand exposed weather conditions in the field of Civil Engineering (earthworks, road, rail and airport constructions, very steep retaining walls and embankments).

RESUME

The use of an adequate geosynthetic will increase the mechanical resistance of the support soil which allows us to achieve a thin pavement body, that is to say the protection of the environment and the reduction of the cost of the project.

Geosynthetics can be effectively used to reinforce unpaved roads and working platforms on soft soils. If properly specified, a geosynthetic can perform one or more of the following functions: separation, reinforcement and drainage. Geotextiles and geogrids are the materials most frequently used in this type of work; this is what interests us in our research: Reinforcement of planned unpaved roads on soft soil-supports by geosynthetics.

Keywords : unpaved road, reinforcement, soft soil-support, drainage, geogrids.

المخلص:

يصف الجيوسنتيتيك لفئات المنتجات التي تنتمي إلى عائلة البوليمرات. يتم استخدامها في كل من مشاريع الهندسة البيئية والمدنية. نظرًا لتكوينها البوليمري، تعد هذه المنتجات مرشحة ممتازة للاستخدام في التربة حيث تتطلب مستويات عالية من المتانة وطول العمر. ميزة إضافية لهذه المواد الاصطناعية الأرضية هي قدرتها على تحمل الظروف الجوية المكشوفة. في مجال الهندسة المدنية (أعمال الحفر وإنشاءات الطرق والسكك الحديدية والمطارات والجدران الاستنادية والمنحدرات شديدة الانحدار).

سيؤدي استخدام طبقة أرضية مناسبة إلى زيادة المقاومة الميكانيكية للتربة الداعمة مما يسمح لنا بتحقيق هيكل رصيف رقيق أي حماية البيئة وتقليل المشروع.

يمكن استخدام الجيوسنتيتيك بشكل فعال لتعزيز الطرق غير المعبدة ومنصات العمل في التربة الرخوة. إذا تم تحديدها بشكل صحيح، يمكن أن تؤدي الأرضية الاصطناعية واحدة أو أكثر من الوظائف التالية: الفصل والتعزيز والصرف. تعتبر الجيوتكستيل والجيوغريد هي المواد الأكثر استخدامًا في هذا النوع من العمل؛ هذا ما يثير اهتمامنا في بحثنا، تعزيز الطرق غير المعبدة المخطط لها على التربة السفلية اللينة بواسطة طبقات الأرض الاصطناعية.

الكلمات المفتاحية: الطريق غير الممهّد، التعزيز، الدعم الأرضي الناعم، الصرف، الشبكات الجغرافية.

CHAPITRE INTRODUCTIF

INTRODUCTION :

Contexte général, Aperçu du sujet et motivation de la thématique :

Après plusieurs années d'expérience sur chantier, de nombreux avantages des produits géo synthétiques ont été découverts : Construire même dans des conditions peu favorables : sols supports faibles, conditions de chargement élevées, couche granulaire épaisses et coûteuse sols supports contaminés, conduites peu profondes, réduction des coûts de construction (car moins de matériaux à utiliser pour renforcement des couches) amélioration de la durée de service de la route.

Sur la base des recherches effectuées ces dernières années dans les couches artificielles de la géo synthétiques, cette revue littéraire a pour objectif de synthétiser des directions dans le dimensionnement du renforcement des chaussées à l'aide des matériaux géo synthétiques : géo grilles et géotextiles (augmentation de la capacité portante du sol mou, La fonction de séparation : permet de conserver à chaque sol ses performances et ses caractéristiques mécaniques, ect.)

Ces procédés sont devenus populaires dans le monde entier grâce à leurs performances, réduction des coûts de construction et d'entretien de la route, leur esthétique et leur contribution à la protection de l'environnement, et ce n'est pas le cas des méthodes traditionnelles encore largement utilisées dans notre pays. ¹

1. Enoncé du problème : Problématique :

Dans la pratique, la résolution d'un problème de géotechnique consiste successivement à : Vérifier que la stabilité vis-à-vis de la rupture est assurée avec un coefficient de sécurité satisfaisant, s'assurer que le dimensionnement de l'ouvrage est compatible avec les tassements admissibles.

Dans notre travail on va expliquer les sols -supports mous dans les chaussées non revêtues, ces chaussées au cours de leur exploitation, sont soumises aux actions des intempéries et de trafic lourd. Ces actions entraînent dans le corps de chaussées des contraintes dont les applications répétées provoquent des désordres visibles à la surface de la chaussée qu'on appelle **dégradations**

L'objectif de notre travail est de trouver les réponses aux interrogations suivantes :

- **Quelle sont les causes les plus probables de ces dégradations ?**
- **Quel est rôle de géo synthétique dans notre problème ?**
- **Comment renforcer ces chaussées avec les géo synthétique ?**

2. Cadre et hypothèses de travail :

- 🚧 Quelle est la source des dommages sur la chaussée non revêtues et sa détérioration et la cause des déformations ?
- 🚧 Quelles sont les conséquences de ce préjudice sur les humains et leurs véhicules ? Les géo synthétiques résolvent-ils ces problèmes et la meilleure solution ?
- 🚧 Comment les géotextiles contribuent-ils au renforcement des chaussées non revêtues ?

3. Objectifs :

- ❖ Un mémoire clair et bien écrit pour favoriser la compréhension du sujet.
- ❖ Apprendre et utiliser les outils de gestion de projet.
- ❖ Apprendre et utiliser les outils de management de projet.
- ❖ Maîtriser les problèmes des chaussées.
- ❖ Déterminer les géo synthétiques adéquats pour résoudre ces problèmes.
- ❖ Sensibiliser et orienter le pays et les entreprises algériennes à utiliser ces produits géo synthétiques

4. Méthodologie :

L'objectif de cette étude est double. Le premier objectif était de comprendre la sensibilité des normes de conception des chaussées non revêtues, les différences potentielles d'épaisseur et de qualité des couches de fondation en termes de chaussée et de dimensions structurelles. Le deuxième objectif de cet ouvrage se compose des trois chapitres :

1- Le premier chapitre :

Le 1^{er} chapitre est consacré à l'étude bibliographique extraite de la méthode de détermination des dimensions des chaussées.

2- Le deuxième chapitre :

Le 2^{ème} chapitre sera consacré à une notion sur les géo synthétique : les mécanismes de renforcement qui expliquent le rôle de renforcement – joué par la géo synthétique.

3- Le troisième chapitre :

Dans le 3^{ème} chapitre nous présenterons les lois des renforcements et comment utiliser les géo synthétiques sur les sols – supports mous.

5. Revue de la littérature : Hypothèses de recherche :

Les géo synthétiques de renforcement des sols sont employées dans les ouvrages géotechniques depuis plus de quarante ans. Leur domaine d'application est très vaste puisqu'ils peuvent être installés : sur des talus d'ouvrages hydrauliques ou d'installations de Stockage de déchets ; à la base de remblai construit sur :

CHAPITRE INTRODUCTIF

- sol compressible,
 - sur zone à risque de cavité,
 - sol amélioré par inclusions rigides ;
 - dans des ouvrages en terre pour construire des talus renforcés ou des ouvrages desoutènement
- voici quelques exemples d'utilisation des géo synthétiques :

5.1. Travaux routiers :

Les géotextiles sont largement utilisés dans la construction de la route. Il renforce le sol en lui ajoutant une résistance à la traction. Il est utilisé comme couche d'assèchement rapide dans la plate-forme, les géotextiles ont besoin de préserver sa perméabilité sans perdre ses fonctions de séparation.



Figure 0.1. Renforcer une route par géo synthétique (moula, 2020)

5.2. Travaux ferroviaires :

Les tissus tissés ou non tissés sont utilisés pour séparer le sol du sous-sol sans gêner la circulation des eaux souterraines là où le sol est instable. L'enveloppement de couches Individuelles avec du tissu empêche le matériau de s'égarer latéralement en raison des chocset des vibrations des trains en marche. ³



Figure 0. 2. Application de géotextile de renforcement sur sol de faible résistance(dupont & mlynarek, 2019)

6. Plan du calendrier de travail :

Tableau 0.1. Plan calendrier de travail

Activités	Avril	Juin	Juillet	Aout	Septembre	
Recherches documentaires – Sourcins- tri des informations						
Lecture des informations, documents- Réalisation de note de synthèse, fiche de lecture						
Elaboration du plan de mémoire						
Interprétation des résultats						
Validation par le tuteur du mémoire						
Dépôt de mémoire						
Préparation à la soutenance orale						

7. Engagement :

Je certifie que les présents travaux intitulés « Renforcement des chaussées non revêtues (unipare road) projetées sur sols-souterrains mous par les géo synthétiques » sont mes propres travaux avec notre diligence, notre fatigue et le processus de recherche continue

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

CHAPITRE 01

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

INTRODUCTION :

Une route est une bande de terre avec des chemins préparés pour la circulation des voitures et autres véhicules sur roues. Les routes relient les zones urbaines les unes aux autres, ainsi qu'aux zones rurales. Les routes qui traversent les villes sont appelées rues. Les routes sont d'une importance vitale, car les agriculteurs les utilisent pour transporter leurs récoltes vers les marchés, et de gros camions y circulent pour distribuer la production industrielle d'une région à l'autre. Il est également utilisé par les voitures, les autobus, les vélos et autres moyens de transport à des fins utilitaires et récréatives.

I.1.LES ROUTES :

I.1.1. Le réseau routier algérien :

Le réseau routier Algérien a atteint aujourd'hui plus de 108 000 km, dont 75% revêtu, sa valeur économique est estimée à environnement USD 25 milliard, il reste l'infrastructure de transport prédominante par Excellence, puisqu'elle garante près de 90% des déplacements des personnes et des Marchandise. Avec un taux de 30% de poids lourds. Ce réseau est dominé par les échanges Est – Ouest, il est constitué d'un réseau principal de 22 000 km et d'un réseau économique de base de 12 000 km. 60% des routes Algériennes ont une largeur supérieure ou égale à 7 m conçues totalement en structure souple.

Les routes nationales sont, en Algérie, des voies importantes qui traversent de larges portions du territoire. Leur usage est gratuit. Elles sont ouvertes à tous les véhicules, sauf sur certaines sections ayant le statut de voie express (SEBAA, 2006)

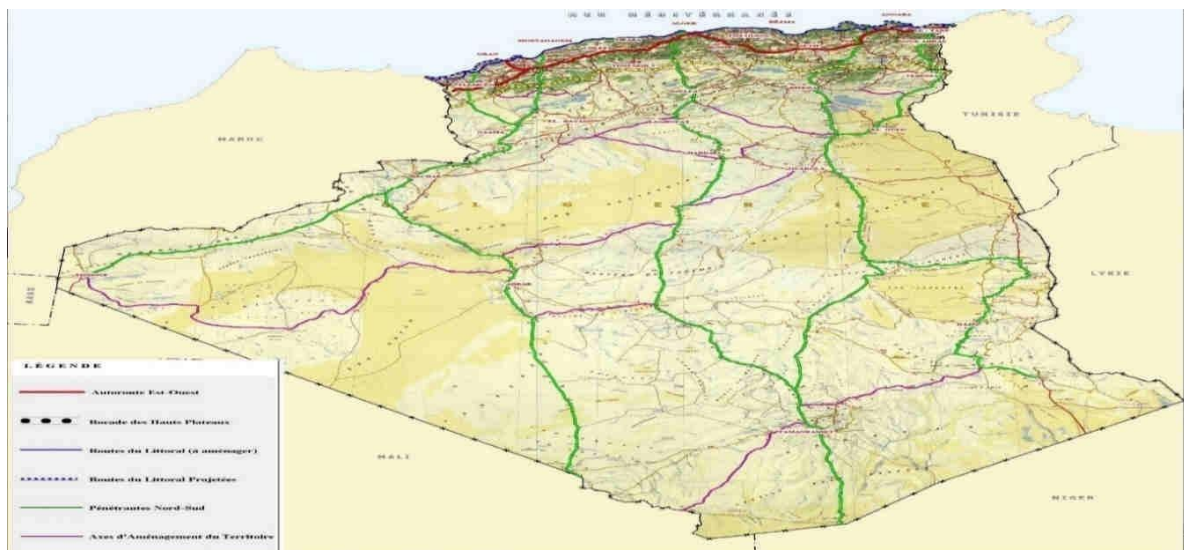


Figure1. 1.Carte-Algérie (google image)

¹ (SEBAA, 2006)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.1.2. Présentation du Réseau :

Tableau 1. 1. Consistance du réseau routier d'Algérie selon le gabarit (BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p. 11)

<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

Tableau 1. 2. Répartitions du réseau routier à Tlemcen (BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p. 13)

<i>Type de Route</i>	<i>Revêtue</i>	<i>Non Revêtue</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 %

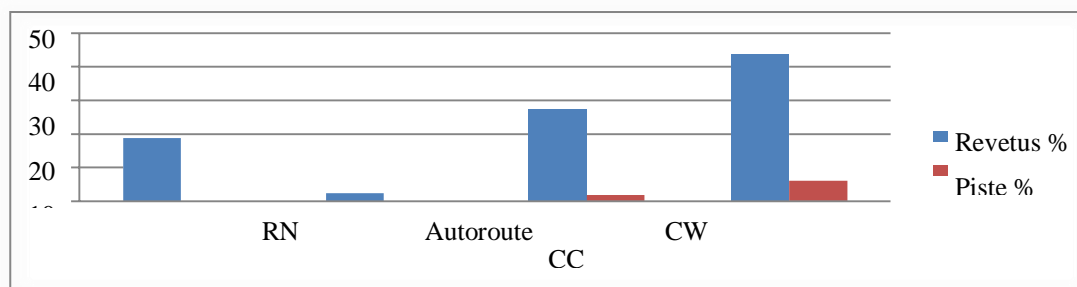


Figure1.2. Représentations sous forme histogramme du réseau routier à Tlemcen (BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p.

13)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.1.3. Le réseau routier non revêtu :

Consistance du Réseau Routier non Revêtu selon le dernier bilan :

Tableau 1.3. États du réseau routier revêtu (BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p. 13)

<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

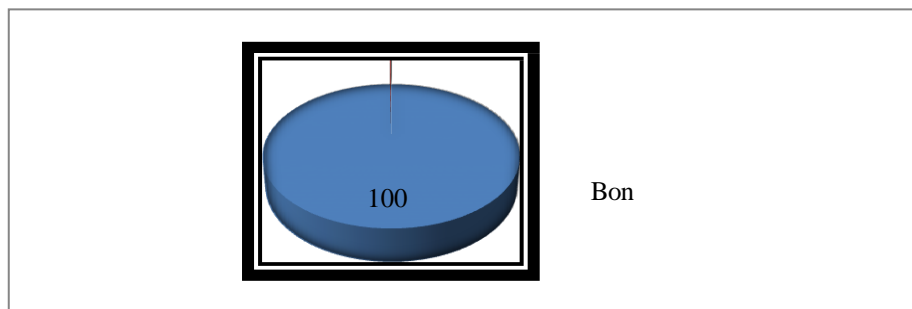


Figure1.3. Représentations sous forme secteur du réseau revêtu (BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p. 13)

Tableau 1. 4. États du réseau routier non revêtu (BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p. 13)

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

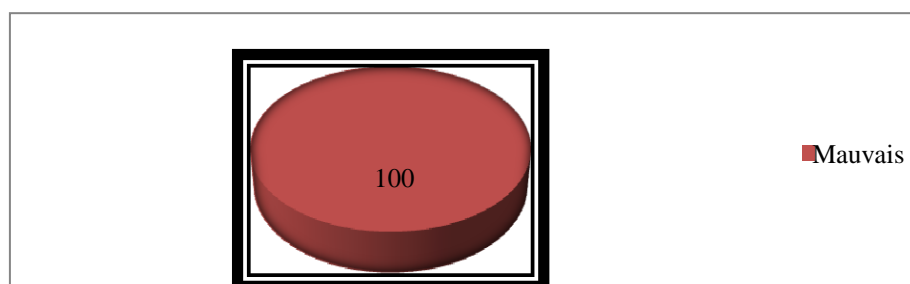


Figure1. 4. Représentations sous forme secteur du réseau routier non revêtu(BOUDOUAIA & GORINE, 2020, p. 14)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES



Figure1.5. Route non revête Etabli par (SEBAA, 2006)

I.2. Les chaussées :

I.2.1. Introduction :

La chaussée est une structure composite complexe réalisée en empilant des couches de matériaux.

La fonction principale de la route est d'assurer que l'utilisateur se déplace dans de bonnes conditions de sécurité et de confort en assurant la répartition de multiples contraintes mécaniques (principalement liées à la transmission de charges lourdes) et la déformation admissible du niveau de sol support.

Les routes sont généralement divisées en deux catégories : permanentes et temporaires, selon leur longévité, leur application au trafic ou leur performance.

Vouloir. Les routes permanentes comprennent les réseaux revêtus et non revêtus, et les routes provisoires non revêtus dans la plupart des cas.

Les routes provisoires comprennent les détours, les voies de transport et d'accès, les plates-formes de construction et les plates-formes d'exploitation stables nécessaires à la construction de routes permanentes, ainsi que les remblais sur fondations souples.

Le principe exposé dans ce chapitre se rapporte à la conception des structures de chaussées routières (exception faite des chaussées non revêtues et des Chaussées pavées). La méthode de dimensionnement s'applique, de par ses fondements, aux différentes catégories de routes, depuis les chaussées à faible trafic Jusqu'aux structures autoroutières.

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.2.2. Fonctionnement d'une chaussée :

Chaussée=interface entre le sol support et la contrainte du pneu

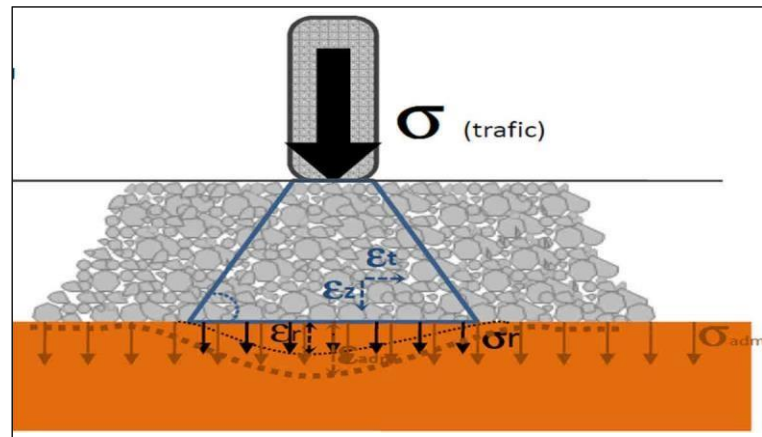


Figure 1.6. Sol Support (terrassément) (J.F.LAFON), 2011, p. 27)

Données de Base=

→ Les performances mécaniques du sol support = contraintes maxi admissibles σ_{adm}

// = Déformation maxi admissible ϵ_{adm} (réversible)

→ Les chaussées = toujours formées de matériaux granulaires :

- Angle de frottement interne
- Déformation interne des matériaux ϵ_z, ϵ_t
- Contrainte Résiduelle σ_r
- Déformation Résiduelle ϵ_r

→ Dimensionner une Chaussée= Trouver le meilleur compromis entre

- ❖ Améliorer la contrainte maxi du sol support
- ❖ Augmenter la hauteur de la chaussée
- ❖ Améliorer l'angle de frottement interne

Sol : $\epsilon_r < \epsilon_{adm}$
 Matériaux :
 $(\epsilon_z, \epsilon_t) < \epsilon_{(adm, mat)}$
 $\sigma_{tt} < \sigma_{(adm, mat)}$

(J.F.LAFON), 2011, p. 27)

Paramètres complémentaires

→ Fatigue (attrition), durée de vie

→ Imperméabilité

→ Traficabilité

→ Comportement au Gel/Dégel

→ Surface= Glissance, bruit, confort → Limites de Mise en Œuvre (Epaisseurs)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

Améliorer l'angle de frottement interne

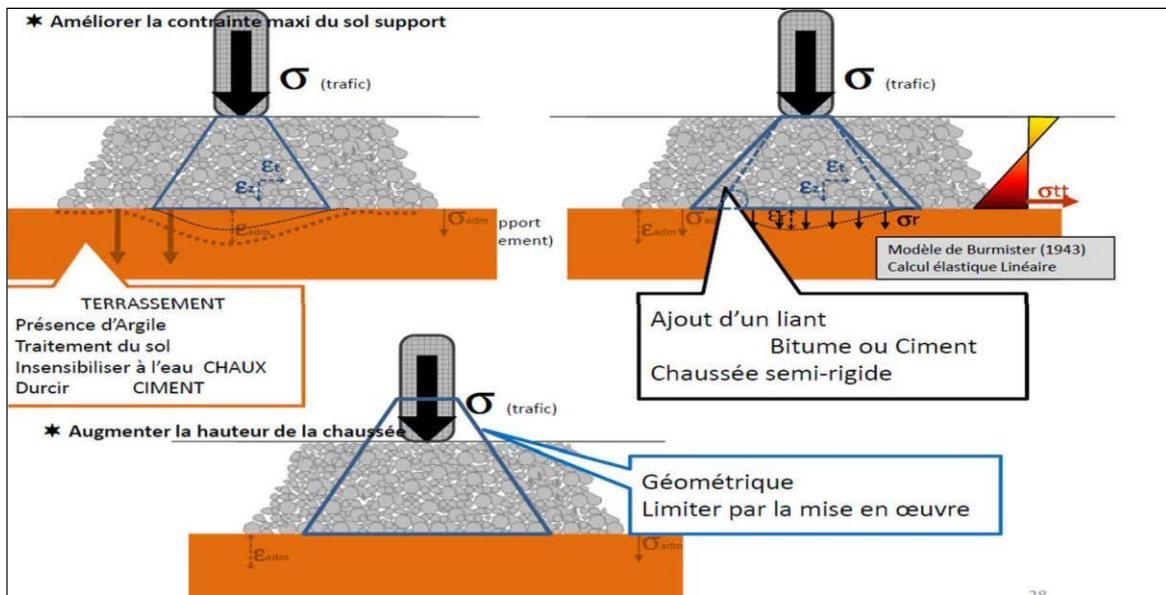


Figure 1.7. Constitution de chaussée (J.F.LAFON), 2011, p. 28)

I.2.2. Les différentes couches :

Rappelons que le rôle d'une chaussée est de reporter sur le sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus au trafic. La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation.

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, On peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes.

En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol :

- Couche de forme : On peut rencontrer dans un même projet des sols de caractéristiques très variables.

Afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol, on est amené à interposer, entre le sol support et les couches de chaussée, un élément de transition qui peut être constitué soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques. Il est appelé couche de forme.

- Couche de fondation : la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier.

La plupart des matériaux routiers conviennent.

- Couche de base : la construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention toute spéciale : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultantes du trafic.

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

– Couche de surface : La couche de base est recouverte par une couche de surface pour :

a) Résister aux efforts horizontaux des pneumatiques en effet, les pneumatiques exercent sur la chaussée des efforts horizontaux résultant de :

- la transmission de l'effort moteur (accélération),
- la mise en rotation des roues non motrices,
- la transmission de l'effort de freinage.

b) S'opposer à la pénétration de l'eau il est important d'empêcher l'eau de pénétrer dans les couches de la chaussée. Les

Conséquences sont connues :

- elle délite les granulats,
- elle ramollit les sols fins, faisant chuter leur portance (jafijaf, 2015)

La structure d'une chaussée non revêtue est constituée généralement de deux groupes de couches

- La plate-forme support
- Les couches

Structures des chaussées

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois différents types de structures suivants :

- chaussée souple,
- chaussées semi-rigides,
- chaussées rigides (jafijaf, 2015, p. 12)

I.2.3.1. Les chaussées souples :

C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés.

La couche de fondation et/ou la couche de base peut être constituées de grave non traitée. Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic (jafijaf, 2015, p. 12)

I.2.3.2. Les chaussées semi-rigides :

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation).

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure-type est illustrée (jafijaf, 2015, p. 12)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.2.3.3. Les chaussées rigides :

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol support, les couches suivantes (figure) :

- une couche de forme,
- une couche de fondation,
- une couche de roulement en béton de ciment (jafijaf, 2015, p. 13)

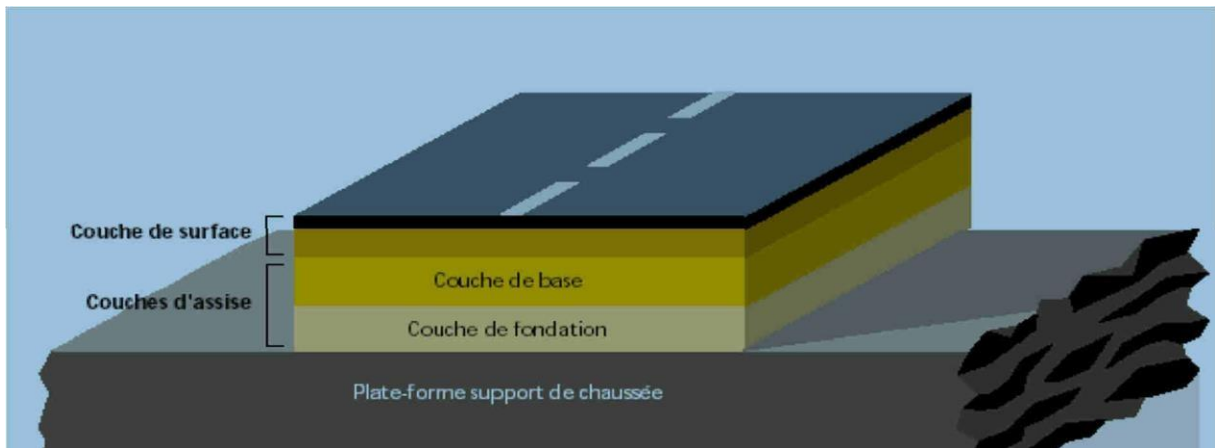


Figure1. 8. Structure type d'une chaussée souple (jafijaf, 2015, p. 12)

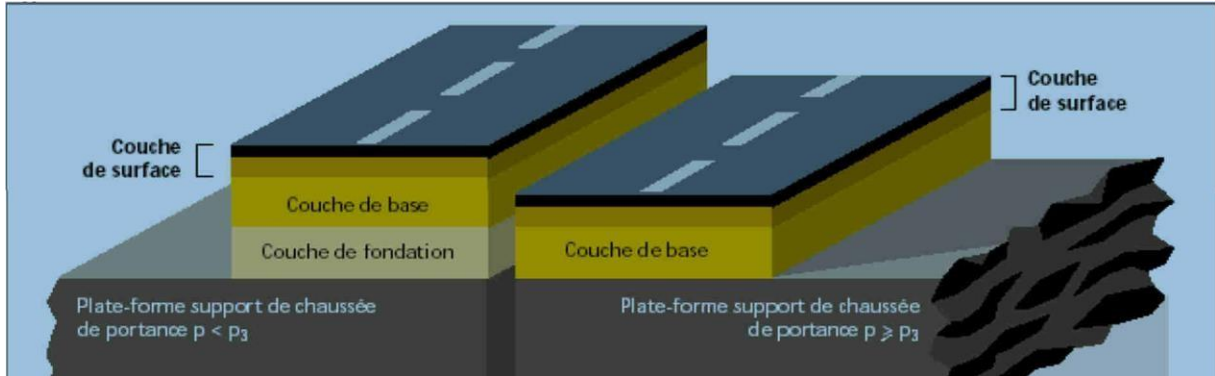


Figure1. 9. Structure type : Structure type d'une chaussée semi-rigide (jafijaf, 2015, p. 12)

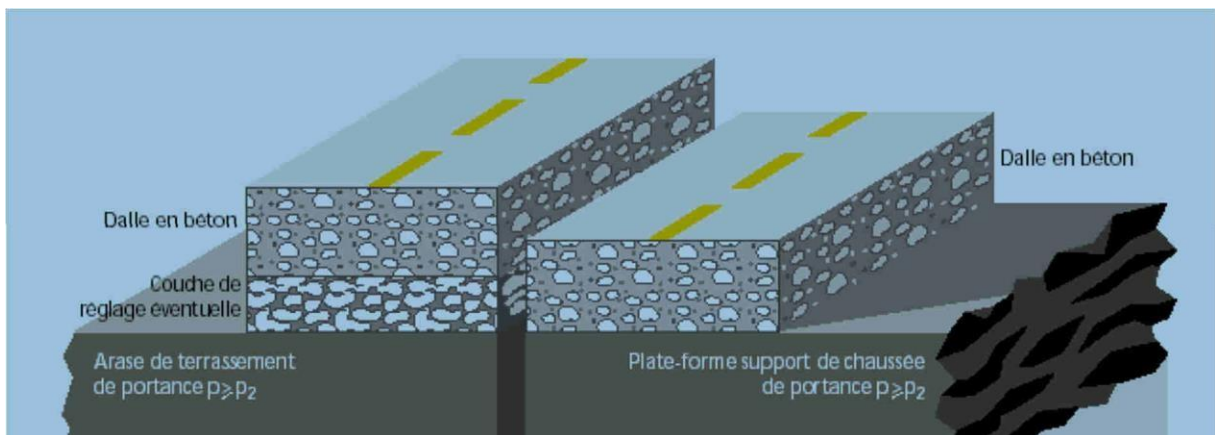


Figure1. 10. Structure type d'une chaussée rigide(jafijaf, 2015, p. 13)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.2.3. Tracé géométrique :

Le tracé d'une route est une succession de droites et de courbes.

Vue en plan :

- ✚ alignements droits
- ✚ Arcs de cercles
- ✚ Clothoïdes
- ✚ Courbes composées : courbe en s, courbe en ove...

Profil en long :

- ✚ droites raccordées par des paraboles à axe vertical.

Remarque : la difficulté est de faire le lien entre les différents plans, on ne peut pas réaliser le tracé sur la vue en plan sans faire le lien avec le profil en long et les profils en travers.

I.2.4. Terminologie :

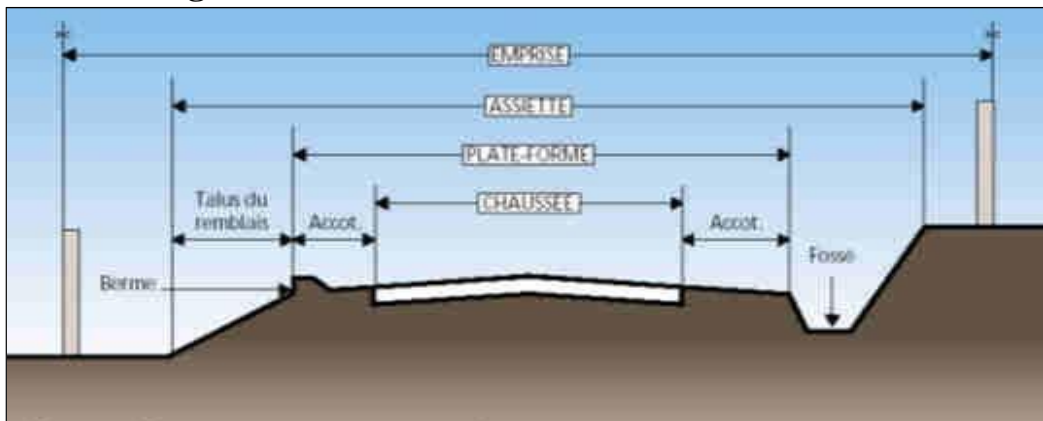


Figure1.11. Profil en travers type d'une route

Source :(jafijaf, 2015, p. 8)

L'EMPRISE : partie du terrain qui appartient à la collectivité et affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.

L'ASSIETTE : surface du terrain réellement occupée par la route.

PLATE-FORME : surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements. CHAUSSEE : surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. Elle est constituée d'une ou plusieurs voies de circulation.

ACCOTEMENTS : zones latérales de la PLATE-FORME qui bordent extérieurement la chaussée.

L'accotement est constitué de la berme et de la bande dérasée (L'idrriim, 2019)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

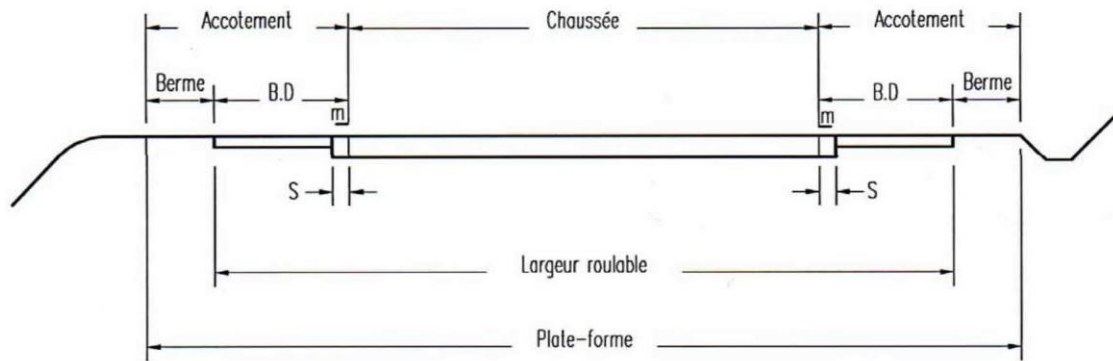


Figure1. 12.cas d'une autoroute : (visa, 2009, p. 11)

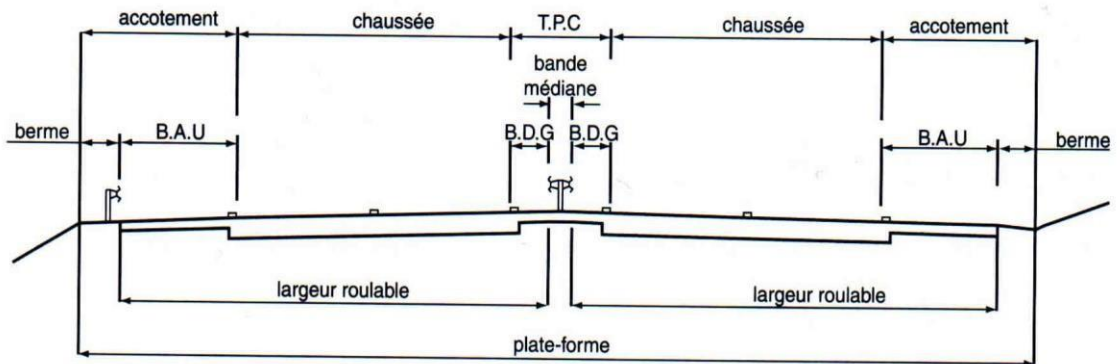


Figure1.13.profil en travers type : (visa, 2009, p. 11)

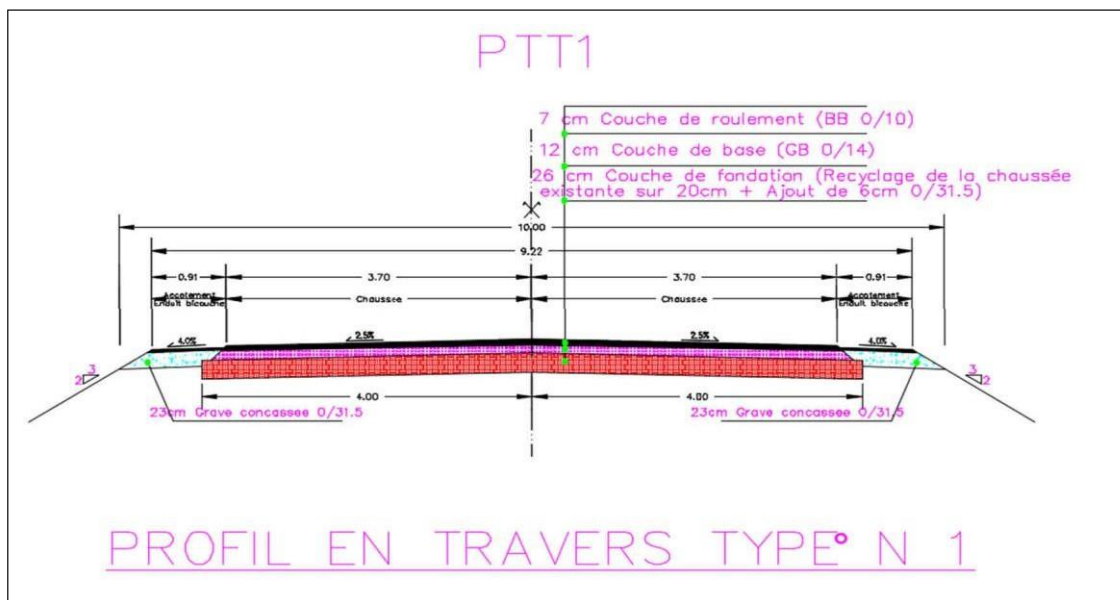


Figure1.14.Profil en travers Type N :1(kmer, 2019)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

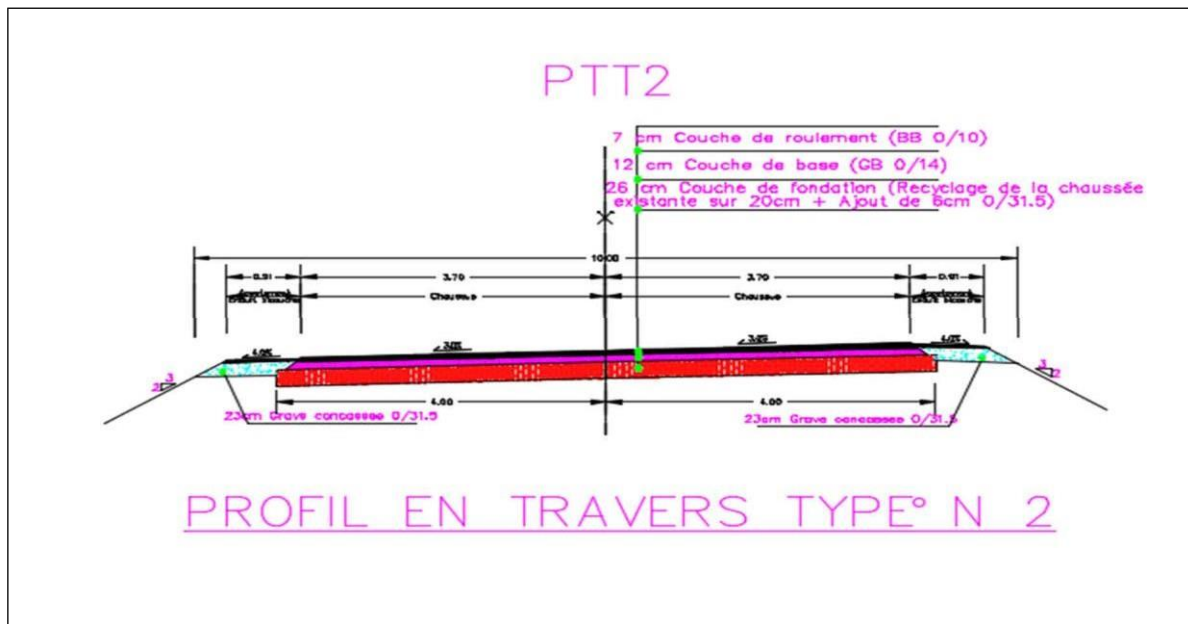


Figure1.15.Profil en travers Type N :2(kmer, 2019)

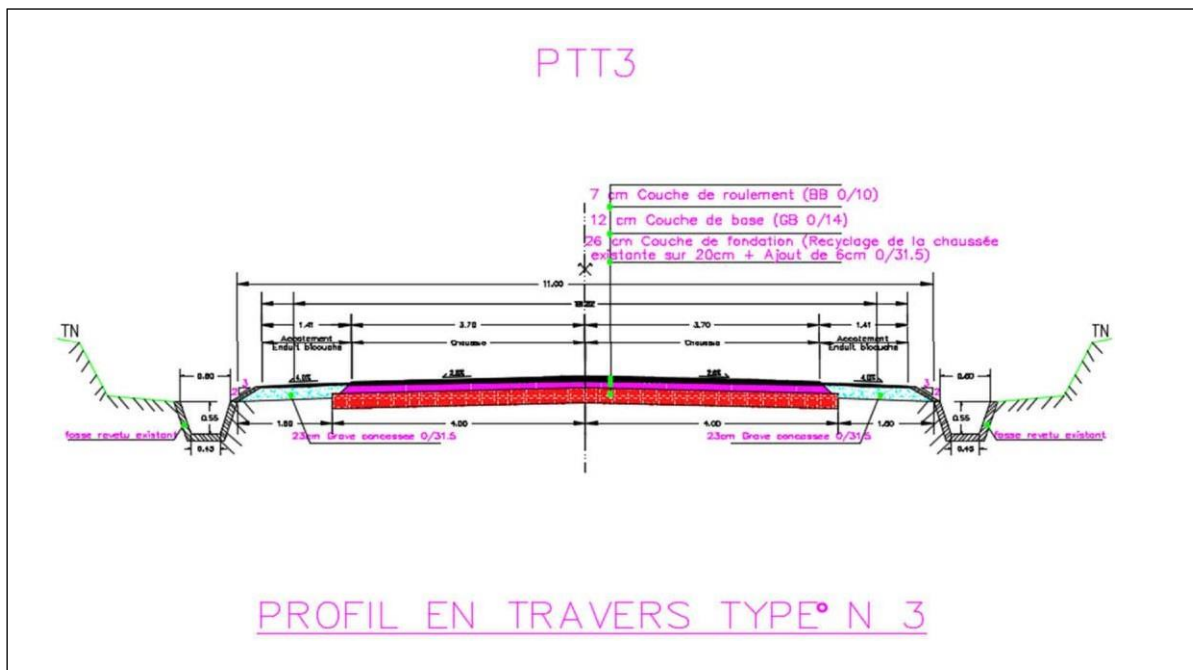


Figure1.16.Profil en travers Type N :3. (kmer, 2019)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.2.5. Détermination d'une chaussée :

Principe :

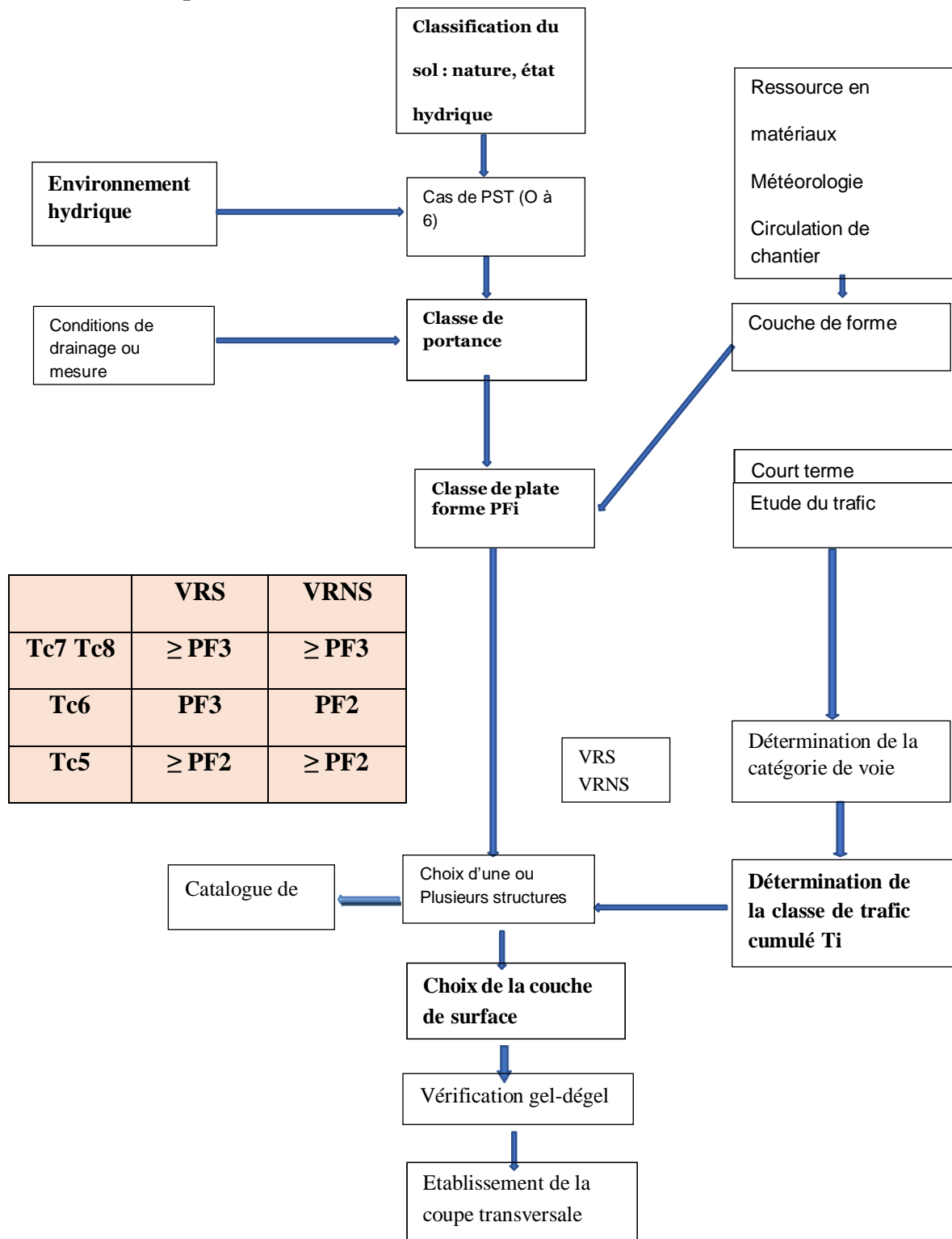


Figure1. 17. Détermination d'une chaussée (visa, 2009, p. 13)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.2.6. Coupe type et terminologie :

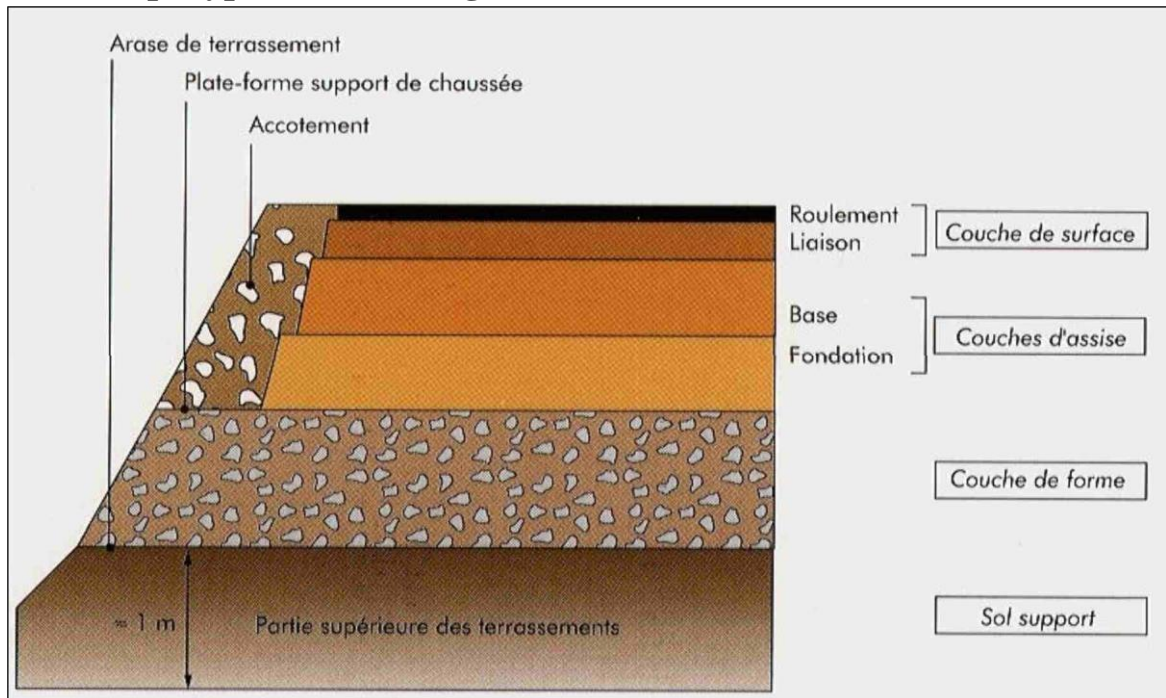


Figure1.18. Coupe type et terminologie (visa, 2009, p. 14)

I.2.7. Structure de chaussée :

Pour déterminer une structure de chaussée il existe un catalogue type en fonction de la catégorie de Route VRS ou VRNS.

Pour entrer dans ce catalogue nous avons besoin de deux données :

- Le trafic T
- La catégorie de plateforme PF

Le terrassement tiendra compte de la portance du sol qui varie suivant la position de la route.

Le terrassier livrera une PST en fonction de la PF désirée. Il doit suivant le sol rencontré en déblai, ajouté une couche de forme d'épaisseur variable suivant les différentes zones.

Il est plus facile de faire varier cette couche de forme plutôt que de modifier l'épaisse Structure de chaussée.

I.2.8. Pathologie des chaussés :

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

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

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

La ruine d'une chaussée peut être amenée soit du fait du trafic et des chargements répétés ou bien du fait de conditions climatiques (moisissures, gradient de température, etc..).³

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

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

La ruine d'une chaussée peut être amenée soit du fait du trafic et des chargements répétés ou bien du fait de conditions climatiques (moisissures, gradient de température, etc..).(Guilbaud, 2011)

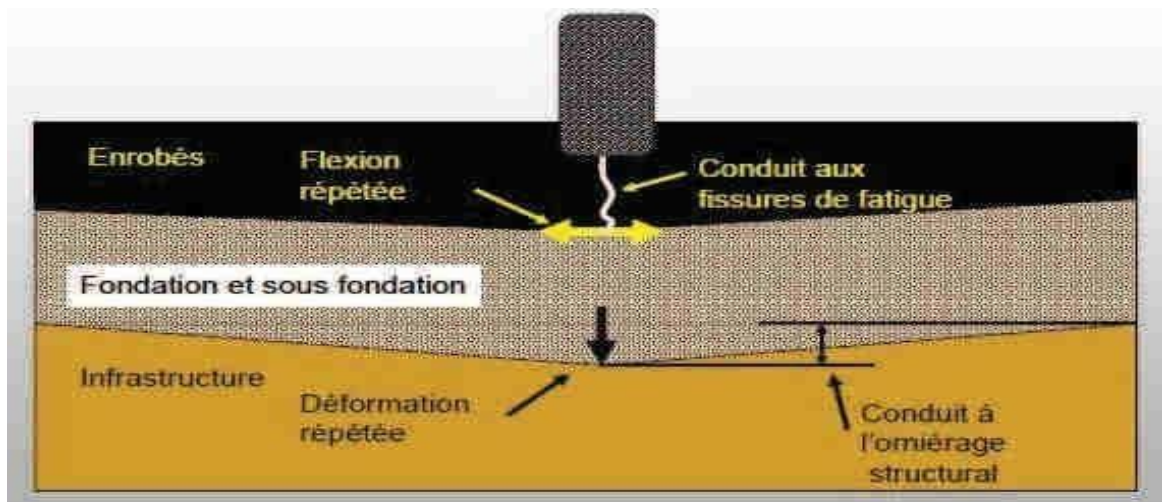


Figure1.19.Type de ruine (Guilbaud, 2011, p. 7)

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

Gel / dégel :

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

Si une chaussée est en mauvaise état, le gonflement (et apparition des pressions différentielles dans les interstices du sol) peut provoquer des fissures sur la couche supérieure Actions du dégel : Le réchauffement s'effectue de haut en bas. Les feuillets de glace situés

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

dans les différentes couches de matériaux constituant les fondations de la chaussée réduisent fortement l'homogénéité du support qui n'assure plus son rôle de maintien de la chaussée et de répartition des charges. Une forte humidité, voire de la pluie, renforce ce phénomène en ajoutant une couche d'eau entre les couches supérieures et les couches encore gelées.

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

I.3. Les dégradations des chaussées non revêtues :

I.3.1. Introduction :

La route a commencé à se dégrader dès sa mise en service. Climat, qualité Sols et matériaux, type de trafic et son intensité, échelle du système Le système de drainage est un facteur déterminant dans l'évolution de l'état des routes. La Dégradation est caractérisée par divers obstacles sur les routes goudronnées et les routes non goudronnées. Besoin d'observation visuelle et de mesure Classer et quantifier la dégradation de la route, et déterminer son état de la route, Cela permet de déterminer le réseau routier et ses besoins d'entretien Programmation. Cette accréditation est donc la première étape de sa mise en œuvre. Elle est remplacée par un système cohérent de gestion de l'entretien routier. Diagnostiquer et évaluer l'état du Mali et des autres réseaux routiers Par : itinéraire. Le diagnostic et l'évaluation de l'état d'un réseau routier comme celui du Mali, se font au moyen de :

- VIZIR méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier, LCPC, décembre 1991, et qui est spécifique aux routes revêtues.
- VIZIRET qualification et quantification des dégradations d'une route non revêtue pour la programmation et le suivi des travaux d'entretien, P. Autret, Bulletin du LCPC, janvier/février 1998.

Le présent document ne concerne que les routes non revêtues et correspond à la méthode VIZIRET. C'est un guide destiné au personnel en charge des relevés des dégradations. Il doit permettre d'avoir une vision claire, homogène et uniforme des pathologies des chaussées observées sur le réseau. (Autret, et al., 2009)

On présente tout d'abord un rappel synthétique de la méthode utilisée pour la classification et la quantification des dégradations, qui conduisent à l'évaluation de l'état des routes. La présentation respecte la distinction des dégradations entre leurs deux types respectifs. Des planches photographiques illustrent les différentes dégradations suivant leur

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

codification et leur niveau de gravité. Ce guide détaille également les causes les plus fréquentes de chacune des dégradations.

I.3.2. Rappel de la méthode viziret :

La méthode VIZIRET reprend le même principe que la méthode VIZIR. Elle s'applique aux routes en terre. Le niveau de gravité (1 à 3) de la dégradation ainsi que son étendue sont relevés par l'opérateur. (Autret, et al., 2009)

Les dégradations sont classées en deux grandes familles :

I.3.3. Dégradation structurelle :

Il existe quatre dégradations de ce type :

- Déformations : affaissement, orniérage, perte de matériau,
- Nid-de-poule,
- Tôle ondulée,
- Ravines.

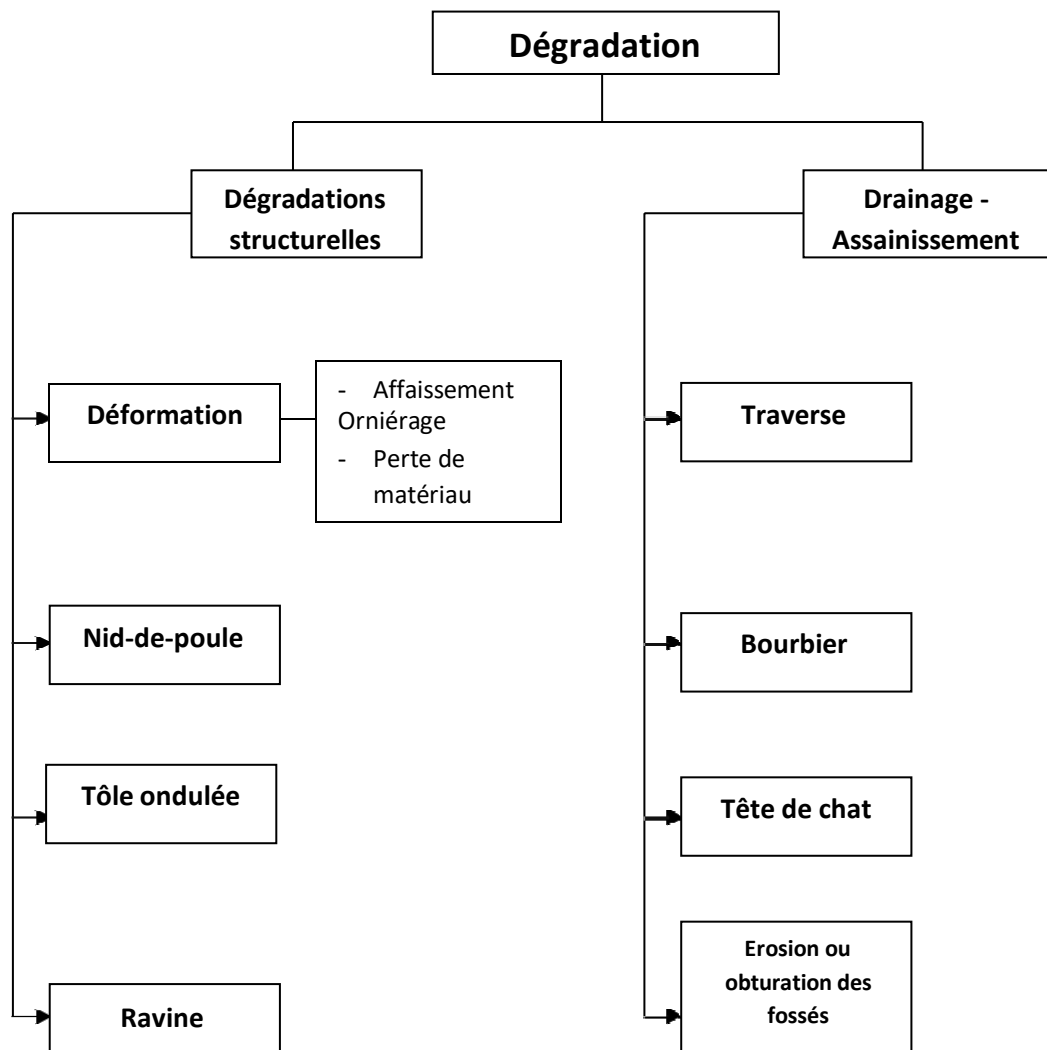


Figure1.20. SCHEMA DU CLASSEMENT (Autret, et al., 2009, p. 8)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.3.3.1. déformation :

Définition : Il existe deux genres de déformation suivant leur forme ou leur localisation.

- Affaissement : déformation permanente de type enfoncement prononcé et souvent. Assez étendue. Il se localise soit en rive de la chaussée, soit en pleine voie.
- Orniérage : déformation permanente longitudinale en creux, présente dans les bandes de roulement. (Ives)

Causes probables :

L'orniérage peut être dû à une humidité trop importante dans les couches inférieures.

L'affaissement peut être causé par une insuffisance du corps de la chaussée ou du sol supportou par un mauvais drainage.

La perte de matériau peut provenir de :

- ✚ L'intensité du trafic, L'abondance
- ✚ des précipitations, L'insuffisance
- ✚ de drainage,
- ✚ Les pentes trop fortes en profil en long et en travers,
- ✚ La dessiccation des matériaux en période de sécheresse.

Niveau de gravité

- Gravité 1 : déformations avec flèche inférieure à 5 cm sous la règle de 1,50 mètre.
- Gravité 2 : déformations avec une flèche de 5 à 10 cm sous la règle de 1,50 mètre.
- Gravité 3 : déformations avec une flèche supérieure à 10 cm sous la règle de 1,50 mètre.

Déformation :

Gravité 1 :



Figure1. 21 . Orniérage et affaissement.

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

Gravité 2 :



Figure1. 22 .Lever de poussière

Gravité 3 :



Figure1.23.Orniérage et affaissement se transformant en borbier sous la pluie

(Illustrations photographiques Planche 1)

I.3.3.2. Nid-de-poule :

Définition :

Le nid-de-poule est une cavité circulaire qui se creuse dans la chaussée et résulte du départ de matériaux.

Pour les routes en terre, le nid-de-poule est considéré comme une dégradation structurelle, car il se propage rapidement dans le corps de chaussée.

Causes probables

Le nid-de-poule peut provenir des déformations rencontrées sur la route : orniérage, affaissement, tôle ondulée. Il peut être aussi la cause d'un mauvais compactage.

Niveau de gravité .Le niveau de gravité est considéré généralement sur une longueur de chaussée de 50 mètres.

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

- Gravité 1 : Nombre faible et petite taille, moins de 5 nids-de-poule de diamètre inférieur à 50 cm.
 - Gravité 2 : Nombre important ou grande taille, entre 5 et 20 nids-de-poule de diamètre inférieur à 50 cm, ou moins de 5 nids-de-poule de diamètre supérieur à 1 mètre.
 - Gravité 3 : Nombre et taille justifiant la reconstruction, plus de 20 nids-de-poule de diamètre inférieur à 50 cm ou plus de 5 nids-de-poule de diamètre supérieur à 1 mètre.
- (egis bceom international September 2009)(Autret, et al., 2009, p. 13)



Gravité 1



Gravité 2



Gravité 3

Figure 1.24. Nid de poule

(Illustrations photographiques Planche 2)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.3.3.3. TOLE ONDULEE :

Définition :

La tôle ondulée est une déformation permanente linéaire de type ondulation, régulière et rapprochée, perpendiculaire à l'axe de la chaussée.

Causes probables

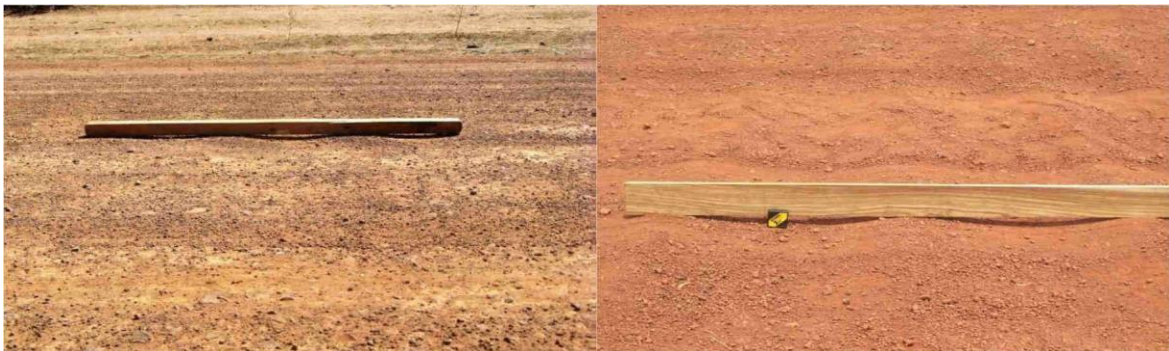
La tôle ondulée provient de :

- ✚ Une cohésion insuffisante du matériau de surface,La
- ✚ vitesse élevée des véhicules sur la route,
- ✚ L'agressivité du trafic,

Un défaut de plasticité du matériau utilisé pour la couche de roulement .Niveau de gravité

- Gravité 1 : flèche de l'ondulation sinusoïdale inférieure à 2 cm.
- Gravité 2 : flèche de l'ondulation sinusoïdale comprise entre 2 et 5 cm.
- Gravité 3 : flèche de l'ondulation sinusoïdale supérieure à 5 cm.

(Illustrations photographiques Planche 3 page suivante) (Boishardy, 2020) (Autret, et al., 2009)



Gravité 1

Gravité 2



Gravité 3

Figure1. 25.Tôle ondulée (egis bceom international September 2009)

(Autret, et al., 2009)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.3.3.4. Ravine :

Définition :

La ravine est une érosion longitudinale ou transversale de la surface de roulement⁵ .

Causes probables :

La ravine est causée par l'écoulement des eaux de pluie sur la route. Les frayées en W entraînent l'apparition de ravines.

Niveau de gravité :

- Gravité 1 : profondeur de la ravine inférieure à 5 cm.
- Gravité 2 : profondeur de la ravine variant de 5 à 10 cm.
- Gravité 3 : profondeur de la ravine supérieure à 10 cm.



Gravité 3

Gravité 3

Figure1.26.Ravine longitudinale et transversal - Ravine longitudinale

(Illustrations photographiques Planche 4)

I.3.4. Dégradations dues au drainage :

Il existe quatre dégradations de ce type :

- ✚ Traverse,
- ✚ Bourbier,
- ✚ Tête de chat
- ✚ Érosion ou obturation des fossés.

(Autret, et al., 2009)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES

I.3.4.1. Traverse :

La traverse est un écoulement transversal des eaux pluviales qui coupe la chaussée. Les fossés obstrués ou des ouvrages hydrauliques bouchés ou cassés peuvent entraîner l'apparition de traverses.

I.3.4.2. Bourbier :

Le bourbier est une destruction localisée de la chaussée.

Bourbier est causé par l'effet de l'eau et du trafic. La gravité du bourbier n'est pas quantifiée. La localisation et l'étendue de la dégradation sont relevées.

(egis bceom international September 2009)

I.3.4.3. Tête De Chat :

- La tête de chat est l'apparition de cailloux sur la surface de la chaussée.
- Les têtes de chat surviennent suite à l'usure de la couche de roulement provoquée par
- Le trafic et/ou l'érosion.
- La gravité de la tête de chat n'est pas quantifiée. Seul le caractère « isolé » ou « généralisé » est relevé.



Figure1.27.Traverse. (Illustration photographique Planche 5)
(egis bceom international September 2009)

CHAPITRE 1: NOTIONS SUR LES CHAUSSEES ET LES ROUTES



Figure 1.28. Dans les zones affaissées de la route et sur une couche de roulement compactée affaissées de la route. (Illustrations photographiques Planche 6)



Figure 1.29. Tête de chat Isolée-Généralisées (Lustrations photographiques Planches 7) (Autret, et al., 2009)

I.3.4.4. Erosion Ou Obturation Des Fossés :

Définitions :

L'érosion des fossés désigne le détachement et le transport par l'eau des matériaux constituant le fossé.

L'obturation des fossés désigne l'accumulation de matières solides dans le fossé. Causes probables :

L'érosion des fossés peut provenir de :

- Une pente trop raide ou un sol peu cohésif,
- Un manque d'entretien.

L'obturation des fossés provient de :

- Un mauvais curage ou une absence de curage,
- Un comblement du fossé par les riverains pour en faciliter le franchissement, La présence de végétation (branches d'arbre), notamment durant la saison des pluies.



Figure1. 30.Erosion longitudinale. Gravité 3
(Illustration photographique Planches 8) (Autret, et al., 2009)

I.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 d'Afrique, puis nous avons présenté les différents types de structure de chaussée et les matériaux qui composent ses différentes couches, puis nous sommes passés aux différents facteurs et familles de dégradation qui affectent la chaussée non revêtue et provoquent sa détérioration.

Malheureusement, la majorité de ces routes en Algérie sont dégradées comme nous l'avons vu dans les statistiques précédentes. Il est donc très important de penser à des solutions économiques et durables pour le réduire, voire éliminer ses différentes maladies.

Pourquoi ne pas utiliser des produits en terre synthétique qui offrent des alternatives techniquement efficaces, rentables et respectueuses de l'environnement.

CHAPITRE 02

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.1. INTRODUCTION :

Le développement de l'utilisation de matériaux polymères sous forme de matériaux géo synthétiques a entraîné des changements majeurs dans l'industrie du génie civil. Les géosynthétiques sont disponibles dans une large gamme de formulations adaptées à différentes applications et environnements. Au cours des trois ou quatre dernières décennies, les ingénieurs civils se sont de plus en plus intéressés aux matériaux géo synthétiques et à la compréhension de leur utilisation réussie. Des progrès significatifs ont également été réalisés dans l'utilisation des matériaux de construction géologiques dans les applications du génie civil ainsi que dans plusieurs autres domaines non pertinents pour nos recherches, tels que l'aquaculture, l'agriculture et le génie minier. Ces développements sont dus à un dialogue constant entre les ingénieurs de haut niveau et les chercheurs de nombreuses organisations et institutions académiques.

Le deuxième chapitre nous présente les fonctions et les applications des matériaux de construction géologiques, pour l'identification

Parmi les matériaux et méthodes utilisés pour évaluer leurs propriétés.

Il fournit des détails spécifiques sur les classes d'applications importantes pour les formes géologiques synthétiques, telles que routes. Il fournit une approche structurée pour appliquer des couches de terre artificielle

Pour que des conceptions et des installations réussies et rentables puissent être réalisées. Ce document a été préparé pour nos efforts en tant qu'ingénieurs, estimateurs et constructeurs Les inspecteurs et le personnel d'entretien conçoivent, sélectionnent et installent les luminaires au sol.

En plus de fournir un aperçu étape par étape de ce matériau et de ses applications des procédures sont données pour l'utilisation rentable de pièces synthétiques au sol pour contrôler le drainage et la corrosion.

II.2. Historique :

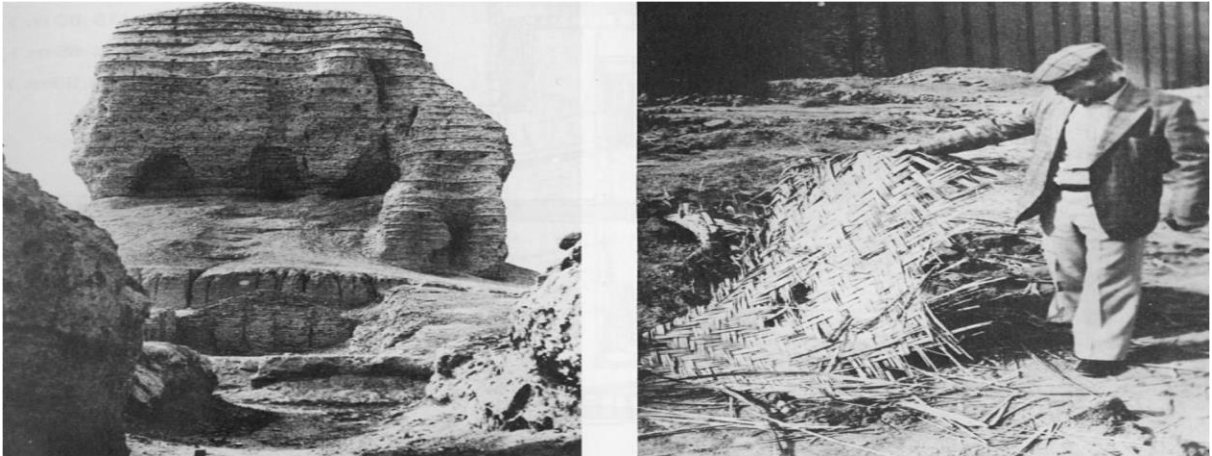


Figure 2.1. Stabilisation des fondations et des briqueteries avec des tapis de reet à Ziggurat temple at Aqar Quf(1500 B.C.) 0.(google image)

Le renforcement des sols a une longue tradition. Il y a déjà 3500 ans, les Sumériens sous le roi Kurigalzu I Érigé le temple d'Aqar Quf en Mésopotamie près de Bagdad. Ils ont utilisé des nattes de roseau pour stabiliser les fondations et les murs de briques (Fig.1) car ils avaient déjà compris que la maçonnerie et le sol n'avaient pratiquement aucune résistance à la traction et des éléments de renforcement étaient nécessaires pour induire des forces de traction dans leurs constructions pour la stabilisation. C'est remarquable qu'il ait fallu près de 1500 ans pour que les Romains inventent le soi-disant Opus Caementitium, l'ancêtre du béton utilisé aujourd'hui avec lequel ils ont pu construire des monuments aussi impressionnants comme le Panthéon de Rome.

Au cours des dernières décennies, à partir des années 70, les non-tissés et les tissus tissés étaient et sont encore souvent utilisés dans la route et la construction de rails fonctionnant comme séparateurs face à des sous-sols faibles et à grains fins. Ils empêchent les granulés grossiers matériau, placé sur la formation pour construire la couche de base, étant poinçonné et mélangé avec le grain plus fin sous-sol au fil du temps. En même temps, ils remplissent également une fonction de renforcement, car, comme un tirant, ils réduisent la déflexion et donc l'affaissement du paquet de sol sus-jacent. La rigidité du géo synthétique joue ici un rôle crucial.

Le plus la rigidité en traction du géo synthétique est élevée, plus l'effet décrit est important. Par conséquent, le développement des matériaux composites constitués d'un tissu non tissé et d'un véritable produit de renforcement tel qu'une géo grille conduisent à réductions significatives des colonies. Les géo grilles de haute résistance permettent de nos jours la construction de pentes abruptes de quelques décimètres en hauteur.

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES



Figure 2.1. Géogrille renforcée raide slopes (google image)

Et puisque la Chine est devenue une puissance économique et l'un des plus grands fabricants de géo synthétique, j'ai voulu évoquer son histoire dans son développement :

Les géo synthétiques en Chine ont commencé à être produits à la fin des années 1970. Ces matériaux précédents sur certains petits projets d'ingénierie étaient principalement des techniques de tissage de largeur étroite.

Le développement a été lent au cours des années 80. Après cela, prendre en compte un peu d'entre eux pour les applications d'ingénierie. Les années 1990, à la lumière du développement et des exigences de la construction économique nationale, la période des géo synthétiques connaît une croissance en plein essor. Certaines plantes ont été importées d'Allemagne, d'Italie et de France.

Produits manufacturés à partir de produits manufacturés. Les produits tressés et tissés présentent les produits tissés, synthétiques et composites utilisés dans des milliers de projets, avec une utilisation cumulée de plus de 0,5 milliard de mètres carrés.

La Chine a subi de graves inondations en 1998, mais les technologies des sols artificiels dans les coulées et les barrages d'inondation et d'autres projets d'ingénierie agricole ont été poussées de l'avant.

En 1999, le Ministère des ressources en eau a sélectionné 50 projets hydrauliques utilisant des géo synthétiques. En outre, l'amélioration des équipements géo synthétiques, des conceptions, des règlements, des réglementations, des aspects théoriques, des matériaux et des structures géo synthétiques en Chine est entrée dans une nouvelle ère au cours de la décennie.

Un "Réseau de coopération géotextile" a été créé en 1984 et l'assistance a augmenté avec l'Association chinoise des géo synthétiques en 1995. Organisation nationale de premier ordre, groupe de plus de 600 membres. Après avoir rejoint l'International géosynthetic Research Society en 1990, la Chine a sa branche chinoise (CCIGS) avec plus de

100 individus et quatre membres du groupe. Le CCIGS a organisé et participé à des

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

séminaires internationaux, des expositions et des résidences aux États-Unis, en Autriche, en France, à Singapour, en Corée du Sud et dans d'autres pays. Cette participation mondiale a amélioré la communication académique et l'éducation au marché entre la Chine et le reste du monde

La production et l'application de matériaux géo synthétiques ont innové à Al Ain à la fin des années 1970. Ce canal de matériaux utilisés dans le lit des petits projets d'ingénierie du fer passe principalement par des techniques d'encapsulation de fleurs étroites

La chaîne Al-Tanmiyat est devenue apparente dans les années quatre-vingt. Cependant, vous pouvez voir que le canal astinien modifié pour les phages est composé de deux hétéros, des textiles de qualité radiateur et une couverture de couleur verte dans les barres de lecture pour les applications d'ingénierie. Par les Tessin, dans le développement du Zili et du motallabat de la maison, les dirigeants nationaux, les martyrs du Géocène, nous ont méprisés. Importez complètement des supports de lit et des accessoires développés en Allemagne, en Italie, en France, au Japon et en Suisse.

Dans le même temps, la fleur de vœux, le soleil local sur le marché, les performances de maman sur l'augmentation de la production de produits, le produit de qualité et la structure du produit changent. La fleur des produits triomphants, les textiles, autres que les textiles, les statines, les véhicules, les testaments des serviteurs à Alif Mashari, mai l'utilisation du Turkamen augmente, soit 0,5 milliard de mètres.

Il a été nommé à la suite des catastrophes de Shadidat Fayadat en 1998, et Alakun Tama Saudi à deux pieds dans l'adoption de la technologie des sols industriels dans les rideaux sur les barrages et autres projets d'Al-Wadisah Al-Haidarya.

II.3. Notions de base :

II.3.1. Différentes familles de géo synthétiques :

Parmi les géosynthétiques, il y a en général :

- les produits perméables : les géotextiles et produits apparentés de géotextiles,
- les produits essentiellement étanches : les géo membranes et les géosynthétiques bentoniquesL'association de ces produits forme des géo composites

II.3.1.1. Géotextiles :

Les géotextiles sont des produits textiles en polymères (naturels ou synthétiques), plans, perméables, pouvant être non-tissés, tricote sou tissés, utilisés en contact avec un sol et/ou d'autres matériaux pour les applications géotechniques et de génie civil.

(BRIANÇON&DELMAS,2020)

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

Les principaux polymères utilisés pour la fabrication de géotextiles sont :

- ✚ Le polyéthylène (PE) ;Le
- ✚ polyamide (PA) ; Le
- ✚ polyester (PET) ; Le
- ✚ polypropylène (PP).

Ces polymères ont des propriétés différentes et peuvent avoir une relation derrière le choix d'un géotextile peut être motivé dans certains cas par le type du polymère.(BRIANÇON & DELMAS, 2020)

Parmi les géotextiles, on distingue :

- Les tricotes ;
- Les tissés ;
- Les non tissés thermolies ;
- Les non tissés aiguilletés...

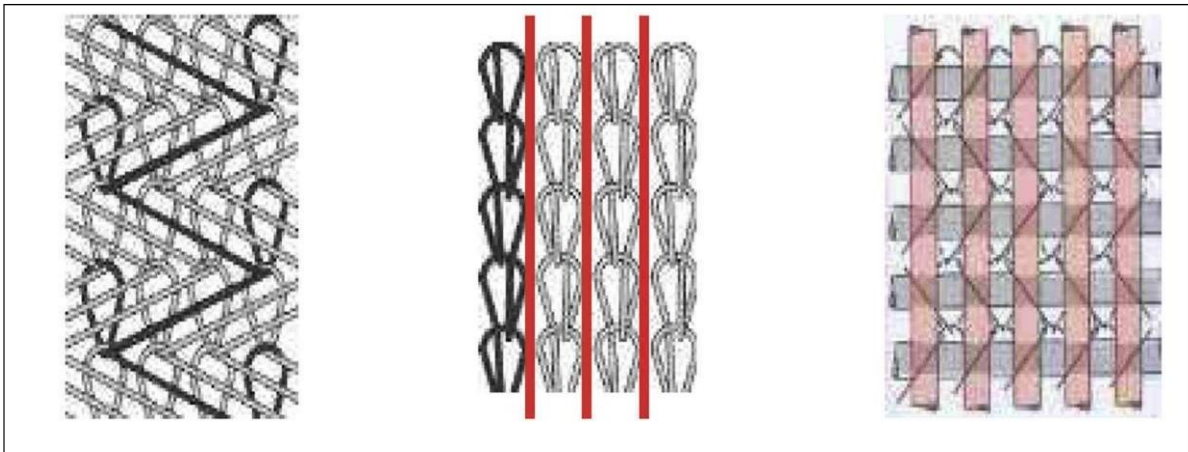


Figure 2.3. Les géotextiles (Tricotés)



Monofilament/monofilament

Mon filament/bandelette

Monofilament/multifilaments

Figure 2.4. Les géotextiles **Tissés** (BRIANÇON & DELMAS, 2020, p. 59)

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.3.1.3.2. Les élastomères :

- éthylène-propylène-diène monomère (EPDM),
- polypropylène (PP).

Leur formulation comprend en plus du polymère, des plastifiants, des stabilisants, des lubrifiants, des pigments qui permettent d'améliorer les caractéristiques de la géomembrane :

- flexibilité sous basse température ;
- résistance aux UV ;
- augmentation du frottement...

■ Les géomembranes bitumineuses sont constituées d'un géosynthétique imprègne de bitume. Leur frottement peut être augmenté en sablant une de leur face. Un film anti-racinaire peut être ajouté sur la face opposée.

Les géosynthétiques bentoniques sont des matériaux composites étanches composés d'un ou plusieurs géosynthétiques et d'une couche d'argile.

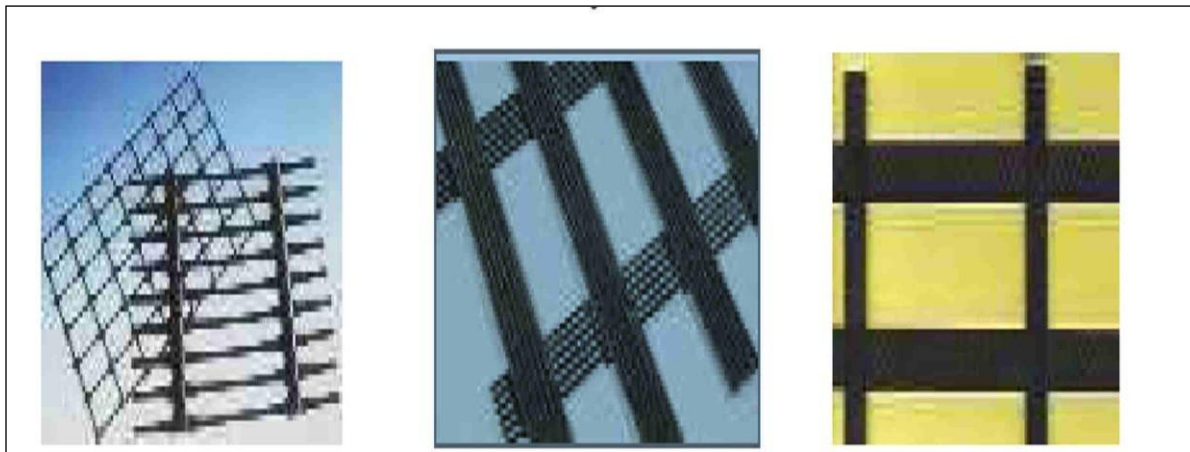
Il existe deux types de géosynthétiques bentoniques :

- ceux pour lesquels l'argile est fixée entre deux géotextiles ;
- ceux pour lesquels l'argile est collée sur une géomembrane. (BRIANÇON & DELMAS, 2020)

II.3.1.4. Géosynthétiques composites

Les géosynthétiques composites sont des produits qui associent au minimum un géosynthétique

Géogrilles

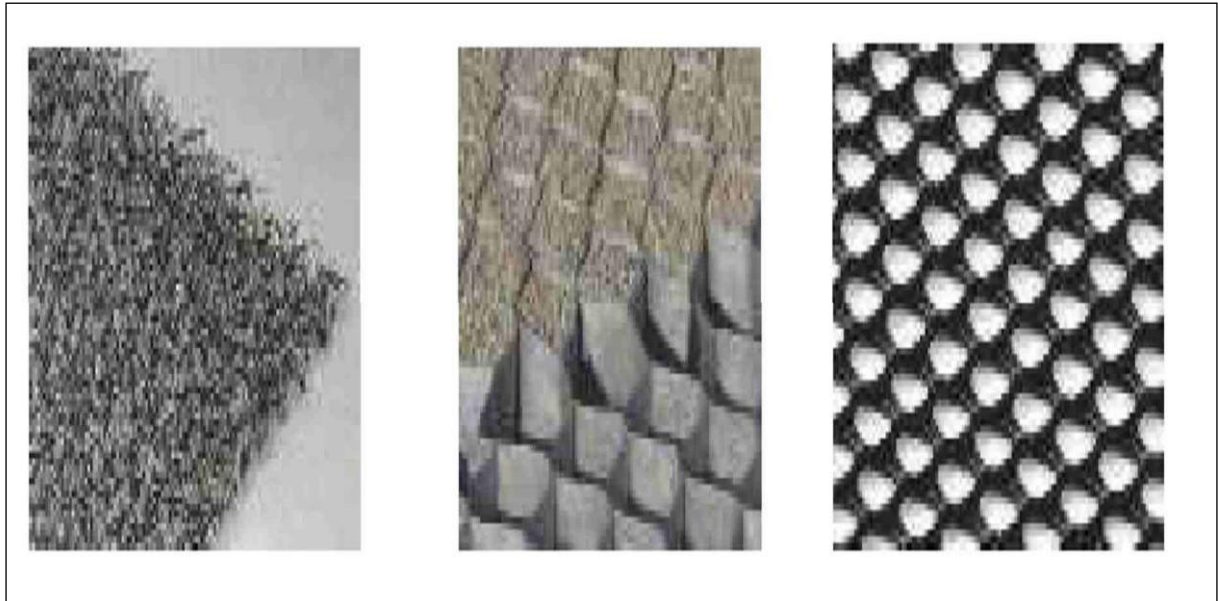


Extrudée
(Uni-ou biaxiale)

Tissées ou tricotées
(Imprégnée ou enduite)

Bandes soudées
(laser ou rayon X)

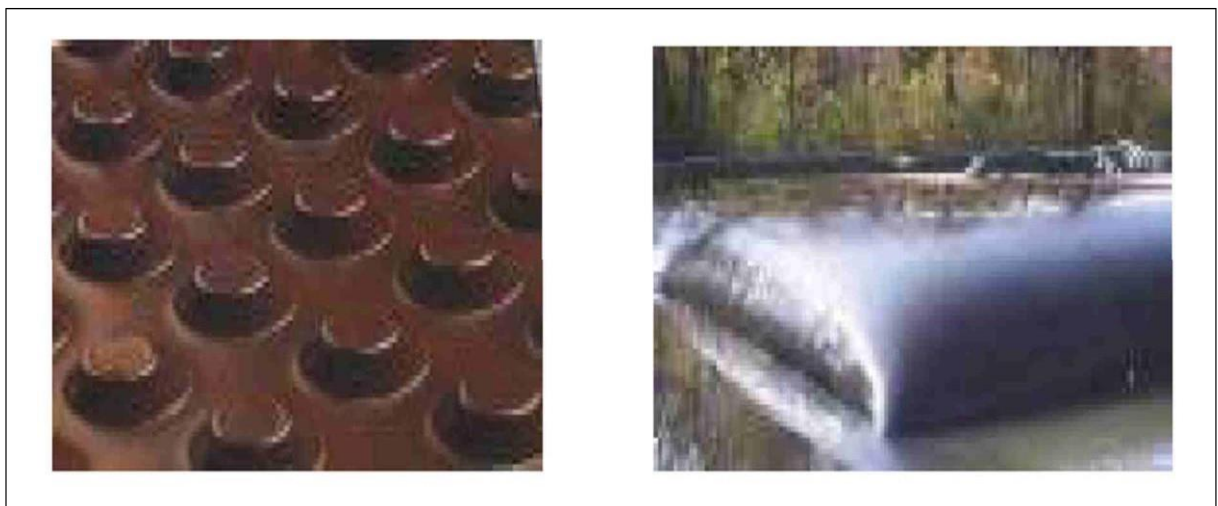
Figure 2.6. Différents types de produits apparentés de géotextiles (Géogrilles) (BRIANÇON & DELMAS, 2020, p. 60)



Géomats

Géocellule

Géonets



Géospaceurs

Géoconteneurs

Figure2.7. Différents types de produits apparentés de géotextiles (BRIANÇON & DELMAS, 2020, p. 60)

II.4. Différentes fonctions des géo

synthétiques : II.4.1.Fonctions des géotextiles et

produits apparentés :

Les géotextiles et produits associés peuvent remplir de multiples fonctions dans les domaines de la géotechnique et du génie civil où ils sont utilisés : Figure2- 4

- **Séparation** : empêcher le mélange de deux sols adjacents ou de matériaux de remplissage de nature différente fonctions ;

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

- **Filtration** : rétention du sol, ou d'autres particules soumises à des forces hydrodynamiques, tout en permettant le passage de liquides à travers ou dans un géotextile, ou un produit lié aux géotextiles.

Les géotextiles permettent de créer un filtre automatique

Dans le sol en amont.

- **Drainage** : la collecte et le transport des eaux souterraines et / ou d'autres fluides à la surface d'un géotextile ou d'un produit lié au géotextile du sol ou d'autres matériaux de construction

Renforcement : utilisation du comportement de déformation en traction d'un géotextile ou d'un produit associé, afin les propriétés mécaniques dommages localisés sur un élément ou un matériau particulier, en utilisant géotextile ou produit apparenté ;

Contrôle de l'érosion de surface : l'utilisation d'un géotextile ou d'un produit lié au géotextile, afin d'éviter ou de limiter les mouvements de sol ou d'autres particules à la surface (Magnan, 2015)

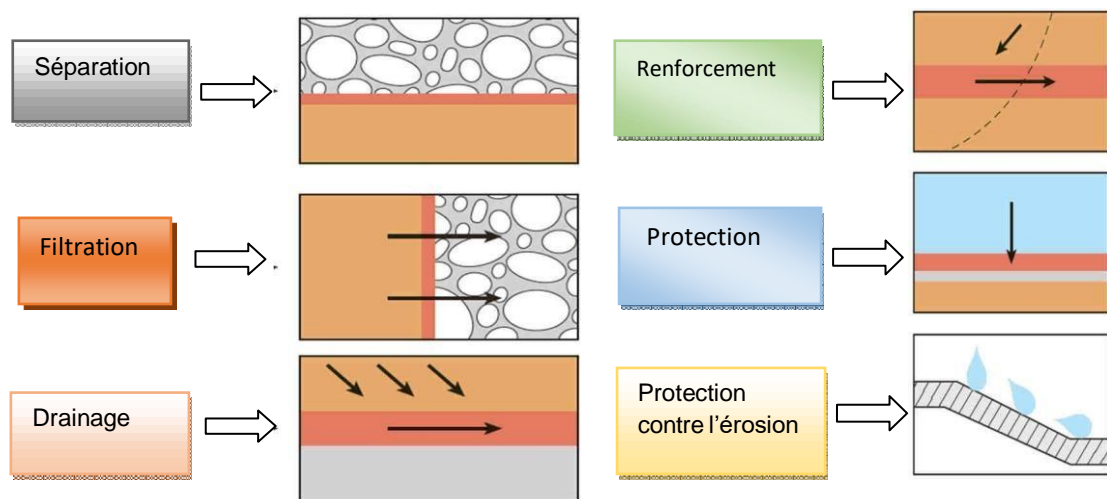


Figure 2.8. Principales fonctions des géotextiles et produits apparentés d'après la norme NF EN ISO 10318 (Magnan, 2015, p. 6)

Fonction des géomembranes et des géosynthétiques benthoniques :

L'unique fonction des géomembranes et des géosynthétiques benthoniques est d'assurer une étanchéité (Tab 2.1.).

La géomembrane comme le géosynthétique benthonique sont utilisés au sein d'un dispositif d'étanchéité par géosynthétiques (DEG) *Figure 2- 6.* Ces dispositifs sont décrits en détail dans les normes NF P84-500 et XP P84-700

Définition :

L'étanchéité est définie comme la prévention ou la limitation de la migration de fluides. Les fluides peuvent migrer sous l'action d'une différence de charge hydraulique : c'est l'advection. Ils peuvent

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

également migrer sous l'action d'une différence de concentration : c'est la diffusion.

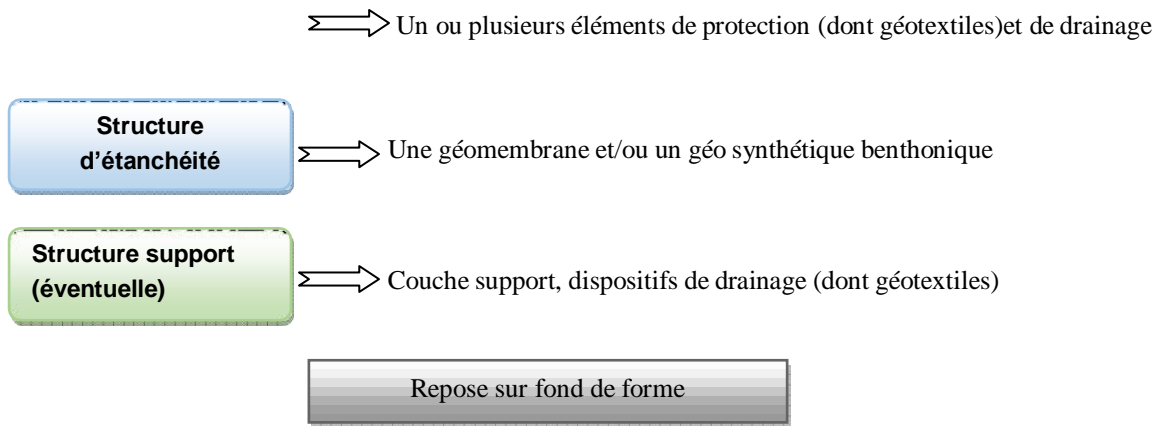


Figure2.7. Dispositif d'étanchéité par géosynthétiques (DEG) : (Magnan, 2015, p. 7)

II.4.2. Notion de dispositif d'étanchéité drainage (DEG) par géo synthétiques :

Un DEG est constitué d'une structure support, d'une structure d'étanchéité (géomembrane, géo synthétique bénomitique ou combinaison d'un ou plusieurs de ces éléments) et d'une structure de recouvrement.

Les structures support et de recouvrement ont pour objectif de protéger la structure d'étanchéité de manière à assurer que la fonction étanchéité puisse être remplie tout au long de la durée de vie de l'ouvrage. Elles ont également pour fonction d'assurer le drainage des eaux ou des gaz qui peuvent se situer sous le géo synthétique d'étanchéité. On évite ainsi, par exemple, un soulèvement de la géomembrane lié à un dégazage dû à la dégradation de matière organique ou à une remontée de la nappe aquifère. Celui-ci pourrait en effet conduire à des déformations inacceptables de la géomembrane.

II.4.3. Dimensionnement par fonction des géo synthétiques :

Le Comité français des géo synthétiques (CFG) a introduit la notion de dimensionnement par fonction. À partir de la connaissance de l'ouvrage, on établit, par le biais de méthodes de dimensionnement propres à chaque fonction, des spécifications pour le choix des géo synthétiques. Les principes et règles de dimensionnement d'ouvrages incluant de géo synthétiques sont précisés dans des normes ou des recommandations du CFG. Le chapitre 6 de ce document reviendra plus en détail sur ces notions pour un certain nombre des fonctions

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

précitées. Dans le dimensionnement par fonction, on doit dans un premier temps définir toutes les fonctions recherchées pour chaque composant identifié dans l'ouvrage. Puis, pour chaque fonction, on définit les caractéristiques requises pour le dimensionnement. Elles sont réparties entre caractéristiques fonctionnelles, de mise en œuvre et de durabilité (long terme).

D'autres propriétés que celles relatives à la fonction principale du géo synthétique dans l'ouvrage peuvent ainsi être nécessaires pour le dimensionnement. Par exemple, un géo synthétique de séparation ou de renforcement ne doit pas être un obstacle infranchissable aux écoulements d'eau dans le sol, aussi faibles soient-ils. Ou bien encore, un géo synthétique de drainage ou de filtration doit pouvoir conserver ses propriétés même lorsqu'il est soumis à des efforts de traction .

Par ailleurs, quels que soient l'application et l'ouvrage, la mise en œuvre doit pouvoir être réalisée sans détérioration ou modification des caractéristiques du géo synthétique susceptible d'altérer ou de réduire son aptitude à remplir sa fonction. Ceci peut survenir par exemple lorsque le géo synthétique est mis en contact avec un sol boueux (risque de colmatage) ou constitué de granulats agressifs, ce qui peut conduire à un endommagement. Cet aspect doit être pris en compte lors du dimensionnement ou de la mise en œuvre. C'est seulement à l'issue du dimensionnement par fonction que le cahier des charges sera établi les matériaux naturels ou géo synthétiques sélectionnés. (Magnan, 2015)

Tableau 2.1. Fonctions principales assurées par les principaux géo synthétiques élémentaires (Magnan, 2015, p. 7)

	Géotextile	Géoespaceur	Géogrille	Géoconteneu	Géomembrane	Géosynthétique benthonique
Étanchéité	×				×	×
Protection	×			×		
Drainage	×	×				
Filtration	×		×	×		
Séparation	×					
Renforceme	×		×	×		
Résistance à L'érosion	×	×		×		

II.4.4. Domaine d'application des géo synthétiques :

Principaux domaines d'application des géosynthétiques :

Les Ge synthétiques sont utilisés dans de nombreuses applications de géotechnique. Selon les applications, telle ou telle fonction devra être assurée par le dispositif géosynthétique

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

Tableau 2.2. Fonctions qui peuvent être assurées suivant les applications (BRIANÇON & DELMAS, 2020, p. 62)

(Normes EN 13249, EN 13250, EN 13251, EN 13252, EN 13253, EN 13254, EN 13255, EN 13256, EN 13257, EN 13265, EN 13361, EN 13362, EN 13491, EN 13492, EN 13493)							
Fonctions	Séparation	Protection	Filtration	Drainage	Renforcement	Relaxation des Contraintes	Étanchéité
Terrassements routiers et Ferroviaires	X		X	(1)	X		
Ouvrages de drainage	X		X	X			
Berges fluviale Et maritimes	X		X	(1)	X		
Canaux	X	X	X	(1)	X		X
Barrages et réservoirs	X	X	X	(1)	X		X
Soutènements et fondations	X		X	(1)	X		
Tunnels		X		(1)			X
Déchets solides	X	X	X	(1)	X		X
Dechets liquide	X	X	X	(1)			X
Chaussees					X	X	X
(1) pour les systèmes de drainage voire l'application « Ouvrages de drainage »							

II.5. Durée de vie :

Afin d'obtenir une durée de vie en adéquation avec la fonction du géosynthétique dans l'ouvrage, les concepteurs doivent prendre en compte les facteurs environnementaux

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

impactant la pérennité des géosynthétiques. Le vieillissement des géosynthétiques exposés est principalement dû au rayonnement ultraviolet, à la chaleur et à l'oxygène, mais aussi à d'autres facteurs climatiques tels que l'humidité, la pluie...

Une caractérisation adéquate des matériaux en contact avec les géosynthétiques est par ailleurs essentielle pour une bonne prise en compte de la durabilité des géosynthétiques enfouis : pH, Présence d'oxygène, agressivité chimique, teneur en eau, température, matière organique et micro-organismes.

II.5.1. Rayonnement ultraviolet :

Selon leur composition, les géosynthétiques sont plus ou moins sensibles à l'action du rayonnement ultraviolet.

Leur comportement est amélioré par l'adjonction de stabilisants à leur formulation de base. La mise en place d'une structure de protection supprime ce problème.

La cinétique de dégradation des géosynthétiques liée aux rayonnements ultraviolets dépend également de l'ensoleillement de la localisation géographique (altitude, orientation des talus) de l'ouvrage. (Magnan, 2015)

II.5.2. Micro-organismes :

L'expérience montre que de manière générale les géosynthétiques résistent à l'action des micro-organismes. Cependant certains doivent faire l'objet d'un traitement spécifique.

II.5.3. Compatibilité chimique :

Le concepteur doit choisir les géosynthétiques adéquats (ce qui peut parfois nécessiter des essais préliminaires de compatibilité en phase de conception) en fonction de leur bonne compatibilité chimique avec le produit stocké (liquide, solide, gaz).

Les conditions de service de l'ouvrage doivent être définies dès le départ (par exemple : type du produit stocké, dans le cas d'un bassin).

Toute modification de ce produit doit être proscrite sans étude de compatibilité chimique préalable. La résistance chimique d'un géosynthétique, au contact d'un produit donné, Dépend des facteurs suivants : concentration du produit stocké (compatibilité en fonction

Des concentrations moyennes annuelles et pics de concentration) ;

-temps de contact ;

-température (compatibilité en fonction des températures

Moyennes annuelles et pics de température) ;

-pH (compatibilité en fonction des pH moyens annuels et pics de pH). (Magnan, 2015)

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.5.4. Oxydation :

Le phénomène d'oxydation dégrade les caractéristiques mécaniques des géosynthétiques. Ce phénomène est lié à la présence d'agents oxydants au contact des géosynthétiques (oxygène, ozone, effluents...). Selon leur composition, les géosynthétiques sont plus ou moins sensibles à l'oxydation.

Remarque :

- Seules sont abordées ici les sollicitations physico-chimiques.

La combinaison d'actions physico-chimiques et mécaniques accélère le vieillissement. de plus, une perte immédiate de la fonction du géosynthétique peut être observée à l'installationsi la conception de l'ouvrage utilisant des géosynthétiques, leur pose et le contrôle de la pose ne sont pas effectués dans les règles de l'art.

Durée de vie des géotextiles

Les exigences concernant le temps maximum d'exposition et éventuellement le coefficient de réduction correspondant sont définis dans la norme NF EN 13251 [8] et dans le guide ISO TR20432 [9]. À moins que les géotextiles ne soient destinés à être recouverts rapidement, ils doivent être soumis à l'essai accéléré de résistance aux agents climatiques selon la norme NF EN 12224 [10].

La résistance résiduelle du géotextile ou du produit apparenté à l'issue de l'essai, ainsi que l'application spécifique du produit, définiront la durée pendant laquelle le matériau peut rester exposé sur le site. Les durées maximales d'exposition sont données dans le tableau 2.3.

En cas d'exposition prolongée, il faut donc s'assurer, auprès du fournisseur, de la résistance résiduelle du produit à l'issue de la période d'exposition ou envisager des solutions alternatives de protection ou d'autres dispositions constructives.

Tableau 2.3. Durée maximale d'exposition des géotextiles et produits apparentés (Magnan, 2015, p. 9)

Application	Résistance résiduelle après essai de vieillissement	Durée maximale d'exposition pendant la mise en œuvre
Renforcement ou autres applications dans lesquelles la résistance à long terme est un paramètre significatif	>80%	1 mois (1)
	60 à 80 %	2 semaines
	<60	1 jour
Autres applications	>60%	1 mois (1)
	20 à 60 %	2 semaines
	<20%	1 jour

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.5.5. Durée de vie des géomembranes :

Les géomembranes en polyéthylène haute densité (PEHD) sont celles pour lesquelles le plus de connaissances sont disponibles quant à leur durabilité dans les installations de stockage de déchets. Des experts [proposent une synthèse des connaissances relatives à la durabilité des géomembranes en PEHD dans les installations de stockage de déchets. Comme pour les autres polyoléfinés, le mécanisme de vieillissement de ces géomembranes est l'oxydation. Il n'existe pas aujourd'hui de modèle fiable pour prédire la durée de vie des géomembranes en PEHD dans cette application. Il manque en effet à l'heure actuelle une analyse d'échantillons vieillis in situ pendant des durées de 10 ans au moins pour pouvoir valider les modèles.

C'est dans le cadre des ouvrages hydrauliques que le plus grand nombre d'études a été effectué sur la durabilité. Des publications récentes font état de bons comportements des géomembranes en PEHD de 17 ans, en éthylène propylène diène terpolymère (EPDM) pour une durée de 21 ans, en bitume élastomère de 30 ans lorsqu'il est exposé, en bitume oxydé de 30 ans lorsqu'il est protégé, en polychlorure de vinyle plastifié (PVC-P) renforcé de 25 ans. À noter que ces durées ne correspondent pas à une rupture de l'étanchéité mais à l'âge le plus élevé de la géomembrane au moment de son prélèvement. On peut donc espérer des durées de vie plus importantes que celles citées précédemment en l'absence de sollicitations mécanique (Magnan, 2015)

II.6. Géosynthétique en routes et infrastructures

linéaires :II.6.1.Généralités :

Les géo synthétiques trouvent une application dans de nombreux aménagements routiers et d'infrastructures linéaires. Ils interviennent dans ce type d'application très souvent en remplacement ou en optimisation technique et économique d'autres solutions. En prenant l'exemple d'une construction de route, les géo synthétiques sont présents dans les applications suivantes (Figure2- 8):

- En séparation, sous la couche de forme afin de préserver les caractéristiques de la couche de forme.
- En base de remblais, pour permettre de construire sur des sols peu porteurs voire compressibles, ou encore sur des zones à risque karstique.
- Dans des tranchées en tant qu'éléments filtrants entre les matériaux en place et les matériaux drainants de la tranchée
- Dans des pentes de talus pour éviter l'érosion végétalisation du rampant).

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

Dans des merlons ou des remblais pour raidir les talus ou réaliser des murs de soutènement. Il est ainsi possible de réaliser des élargissements de voies, des merlons de protection, ou anti-bruit par exemple, en limitant les emprises au sol).

--À l'intérieur des structures de chaussées enrobées pour ralentir la remontée des fissurations des couches inférieures. (Magnan, 2015)

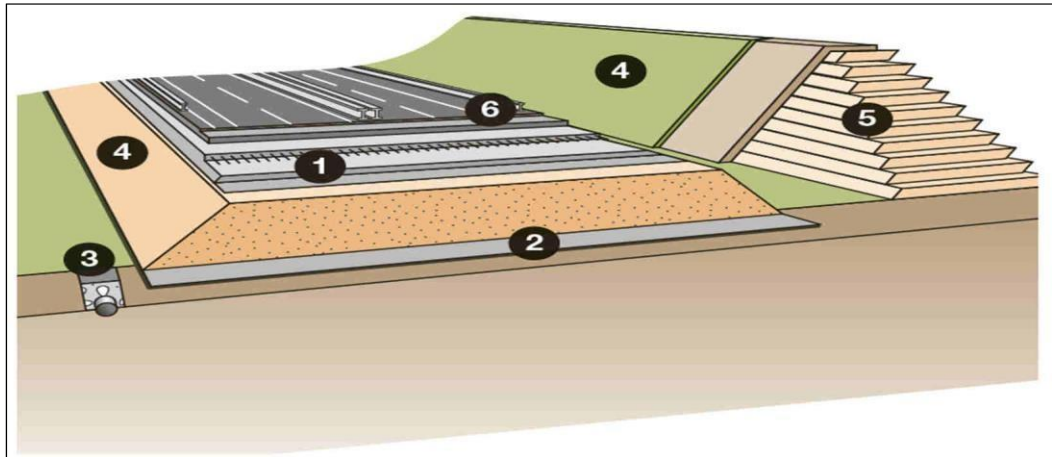


Figure2. 9. Applications des géo synthétiques dans les infrastructures linéaires (Magnan, 2015, p. 13)

Le principe est ici d'éviter la pollution des matériaux granulaires d'apport par les matériaux fins des couches sous-jacentes en place. On utilise alors un géotextile de séparation. Les géotextiles non tissés sont ainsi privilégiés, leur grande déformabilité étant un avantage (Figure2- 10)

TenCat



Figure2.10/11 .Exemples de déformation des géotextiles non tissés (Magnan, 2015, p. 13)

Si les sols en place présentent de très fortes teneurs en eau, il peut être intéressant d'utiliser des géosynthétiques de renforcement afin de limiter les épaisseurs de couche de forme ou d'éviter une substitution des matériaux du sol. Plusieurs solutions, allant du géotextile tissé à la géogrille en passant par des géo composites, peuvent être utilisées. Il est important dans

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

cette application de conserver une fonction anti contaminant (séparation). Une géogrille sera ainsi associée à un géotextile de séparation à la base de la couche de forme, la géogrille étant placée dans le matériau granulaire de la couche de forme (Figure2- 12), Les géotextiles tissés et les non-tissés renforcés peuvent être utilisés à la base du terrassement (Magnan, 2015)



Figure2.12.Utilisation d'un géogrille renforcement de couche de forme

Figure2.13.Utilisation d'un géotextile tissé en renforcement de couche de forme

Source : (Magnan, 2015, p. 13)

II.6.2. Terrassements routiers et ferroviaires :

La première utilisation des géotextiles dans les terrassements est celle de séparation (anti-contaminant). Elle est prévue par exemple par le guide des terrassements routiers :

« L'intercalation d'un géotextile anti-contaminant entre une couche de forme en matériau granulaire et un sol fin sensible à l'eau, humide, permet de sauvegarder les caractéristiques du matériau granulaire et de réduire ainsi l'épaisseur de la couche de forme. »

Quelle que soit la solution choisie, il est recommandé d'avoir une épaisseur de matériaux d'au moins 0,2 m au-dessus du géotextile ou de la géogrille afin d'ancrer correctement le géo synthétique.

Les intérêts de ces solutions de renforcement de la couche de forme et/ou de substitution à la base du terrassement sont multiples :

- réduction des épaisseurs des couches granulaires ;
- diminution du volume de terrassement ;
- réduction des évacuations en filière de traitement de déchets ;
- gain de temps ;
- économie sur la globalité du chantier. (Magnan, 2015)

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.6.3. Anti-fissuration de chaussées :

Depuis plusieurs dizaines d'années, les géotextiles sont également utilisés pour ralentir les remontées de fissures.

Plus récemment, l'utilisation, notamment, de fibres de verre dans les géotextiles a permis de renforcer plus efficacement les chaussées, en construction ou en rénovation. Une norme s'applique à ce domaine (NF EN 15381). Pour autant il n'existe pas encore de méthode normalisée pour le dimensionnement de ces solutions. L'enjeu principal de l'utilisation des géotextiles dans les chaussées est d'allonger la durée de vie de la couche de roulement et donc d'espacer au maximum les opérations d'entretien. Le premier objectif de l'interposition d'un géotextile est de servir de support à la couche d'imperméabilisation de la structure de chaussée. Un géotextile non tissé de porosité importante permet ainsi de servir de réservoir pour le bitume entre le support (couche de forme, fondation ou base) et la couche de roulement.

En effet, que ce soit sur des couches traitées aux liants hydrauliques qui subissent des fissurations de retrait ou sur des couches bitumineuses dont la fissuration est due au durcissement et à la fatigue de l'enrobé, il est important de préserver les couches inférieures des entrées d'eau. Un surdosage de bitume résiduel permet d'obtenir une couche imperméable L'association américaine AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) a quantifié le minimum de rétention de bitume à 0,9 L/m² pour un géotextile afin d'assurer la fonction étanchéité. Cette information est reprise dans la norme NF EN 15381 (Magnan, 2015)



Figure2.14. Application d'un géo synthétique anti-fissuration de chaussée (Magnan, 2015, p. 14)

CHAPITRE 2: NOTIONS SUR LA GEOSYNTHETIQUES

II.6.4. Base de remblais :

En plus de la fonction de séparation à la base du remblai, les géotextiles sont utilisés en renforcement dans les cas suivants :

- sur les sols compressibles ;
- au-dessus des inclusions rigides ;
- au-dessus des zones karstiques.

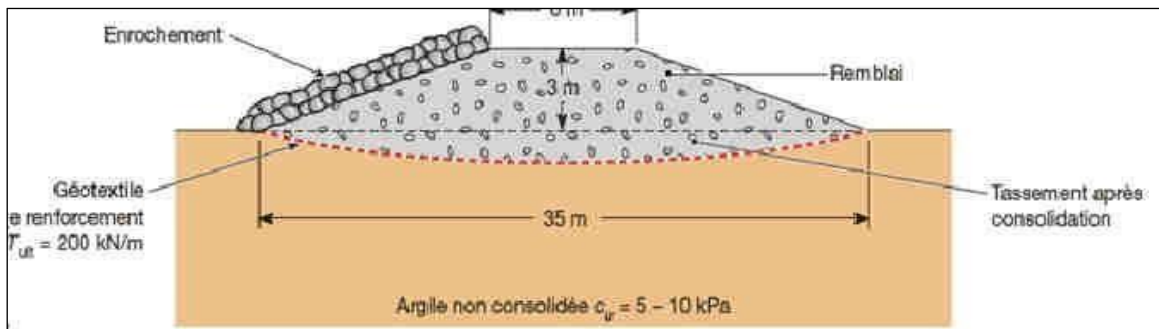


Figure2. 15.Exemple de remblai sur sol compressible renforcé par géo synthétiques (Magnan, 2015, p. 15)

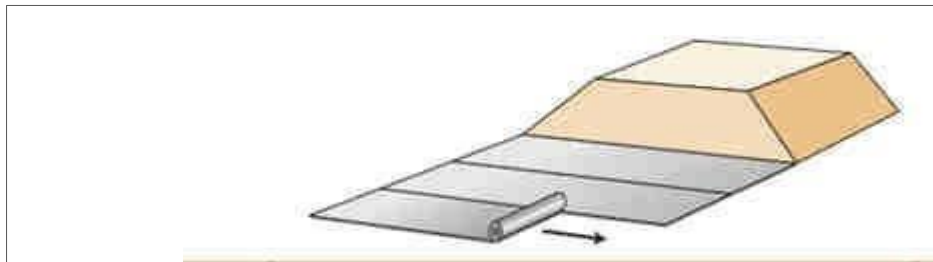


Figure2. 16.Orientation de pose des géo synthétiques de renforcement en base des remblais (Magnan, 2015, p. 15)

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous venons de présenter les différentes séries de géosynthétiques et leurs fonctions (fonction de séparation, fonction de filtration, fonction de drainage, fonction de renforcement, fonction d'étanchéité, contrôle de l'érosion), qui conviennent au génie civil (route/infrastructure, construction, eau Structure de travail...).

L'avantage de ces produits est qu'ils apportent une résistance à la traction au sol. Aucun sol unique (ou presque pour un sol cohérent) n'est autorisé augmentant ainsi la stabilité de la structure. Leur utilisation permet généralement des avantages économiques par rapport à d'autres solutions de construction et permettent le développement de nouvelles zones, actuellement.

CHAPITRE 03

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVEETE A L' AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.1. INTRODUCTION :

L'utilisation des géo synthétiques a connu un développement considérable ces dernières années, grâce à un coût de fabrication bas et une méthode d'emploi facile. La diversité des produits géo synthétiques et des méthodes de construction correspondante permet à l'ingénieur de proposer des solutions qui peuvent augmenter l'efficacité

La solution géo synthétique est généralement étudiée comme solution alternative à des structures traditionnelles et plus souvent comme dispositif d'aide au bon fonctionnement de la structure (Sere, 1995)

Un des grands champs d'application des géo synthétiques est le domaine routier. L'emploi de ces matériaux dans les ouvrages de construction routière constitue une perspective intéressante face à la pénurie des bons matériaux de construction et aux problèmes que posent leur exploitation et leur transport.

La première application d'un géotextile, tissé en coton dans la construction de routes a été réalisée en 1926 (Beckham & Mills, 1935 cités par (Sere, 1995) par le département de la recherche routière en Caroline du sud. Jusqu'à la détérioration du tissé, la route était en bon état et l'utilisation du géotextile a considérablement réduit les fissures et les ruptures localisées de la chaussée

L'expérience actuelle amène au fait que les produits résistants à l'endommagement sont par ordre décroissant, les géo grilles, les géotextiles tissés et les non-tissés. Ceci est pris en considération pour l'utilisation des sols grossiers particulièrement agressifs mécaniquement

Comment utiliser les géo synthétiques pour améliorer les matériaux dépend en grande partie des conditions locales. Les conditions de fondation, les types de matériaux granulaires, les types de strates Les appuis, l'eau, la température et les conditions de circulation ont tous un impact sur la conception La structure, le type de renforcement utilisé et l'effet obtenu. La figure 2 montre un exemple de projet de renforcement de la couche de grain des routes à faible densité. Géogrille pour le trafic. Situé à Vesterålen, Norvège en 1984, il s'agissait du SINTEF. Un problème dans la région est la construction et le renforcement des revêtements routiers en matériaux granulaires sur sous-sol mous. Dans ce cas, l'ancienne route est située sur une couche de tourbe de 3 m d'épaisseur. Capacité de la route insuffisante pendant la période La période de dégel a également connu des écarts importants dans les tassements. Renforcement de la route Utiliser la géogrille directement sur l'ancienne route et la recouvrir d'une couche pour finir Avant d'installer la couche anti-

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

usure, une charge de 1 m d'épaisseur structure portante au-dessus de la géogridde. (LIVE, 1997) (Sere, 1995)



Figure 3.1. Installation de la géo grille de renforcement lors de la réhabilitation d'une route à Vesterålen, Norvège (Watn, 2011, p. 2)

Les mesures réparées montrent que le renforcement améliore la capacité portante et réduit la différence de tassements. Cette route est en service depuis plus de 20 ans maintenant en reprise. En général, cette expérience a été un succès, mais en raison d'une fissuration de la couche de roulement, un renforcement géo synthétique a été mis en place ensuite dans celle-ci.

III.2. Définition du renforcement :

Renforcer signifie créer une structure de sol ayant des propriétés améliorées composée d'un sol qui a généralement une résistance à la traction quasiment nulle. Mais qui résiste à la compression, et d'un géo synthétique qui a une bonne résistance à la traction.

En répartissant les charges sur une plus grande surface, les géo synthétiques augmentent la résistance au cisaillement des sols adjacents et réduisent la formation d'ornières. Dans certains cas particuliers, l'utilisation de ces produits permet même de réduire l'épaisseur des couches granulaires. Les propriétés déterminantes du géo synthétique pour assurer son rôle de renforcement sont présentées dans le tableau suivant) : (Sere, 1995)

Tableau 3.1. Propriétés déterminantes du géotextile pour un rôle de renforcement

Fonction partielles	Propriétés	Paramètre caractéristiques
Fonction mécanique	Déformation Fluage Frottement Sol/géotextile	Courbe < force- allongement > de la déformation sous force de traction constante Φ_{sg} - Angle de frottement sol/géotextile
Fonction hydraulique	Perméabilité normale Au plan de géotextile	Ψ - Perméabilité Kn-Perméabilité

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.3. Méthodes de renforcement :

Les méthodes de renforcement des sols par des géo synthétiques peuvent être divisées en deux grandes catégories le micro-renforcement et le macro- renforcement.

III.3.1. Le micro- renforcement :

Il est obtenu par mélange de sol et d'éléments de renforcement orienté de façon généralement aléatoire. Ces éléments sont constitués soit par des filaments continus (Leflaive, 1982, cité par (Sere, 1995) soit par des fibres courtes (5 à 10 cm), soit par des petits rubans de non- tissés $<5\text{cm}^2$ ", soit encore par des petits éléments de grilles (Sere, 1995)

III.3.2. Le macro-renforcement :

Il est réalisé avec des éléments de renforcement (bandelette, géogrille, géotextile etc.) dont les dimensions sont assez importantes du sol à renforcer.

Le principe du macro-renforcement des sols par Géo synthétique comprend trois mécanismes d'action différents selon le comportement du biosynthétique

Le renforcement de type « membrane qui est obtenu lorsqu'une contrainte verticale est appliquée sur le géotextile placé dans un sol mou :

- ✚ Le renforcement de type cisaillement d'armature qui est obtenu lorsqu'une contrainte verticale est appliquée sur le géotextile place entre deux couches de sol de telle sorte qu'il peut reprendre les contraintes tangentielles induite par le sol, c'est-dire que les deux matériaux sont cisailés sur leur interface
- ✚ Le renforcement de type encrage d'armature qui ressemble au type précédent, a la différence que le même sol agit sur les deux faces du géotextile, de tel sorte qu'il peut reprendre les contraintes tangentielles induites par une traction à extraire le géotextile du sol (Sere, 1995)

III.4. L'emploi des géo synthétiques dans les voies routières :

Des travaux ont été fondés sur les problèmes scientifiques et techniques de l'emploi des géo synthétiques dans les voies de circulations routières. Ces travaux ont porté sur :

- ✓ Le fonctionnement mécanique et hydraulique du système sol-géosynthétiques ;
- ✓ La méthode de dimensionnement des structures comportant des géosynthétiques ;
- ✓ La durabilité des géosynthétiques à la mise en œuvre et en service dans ces ouvrages.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L' AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.4.1. Renforcement mécanique :

L'emploi des géo synthétiques permet d'améliorer le comportement en déformation des structures. Les études sur le renforcement par nappe bidimensionnelle (géotextiles, géogridde, géo composite et en mono nappe ou multi-nappe) n'ont pas permis de dégager des résultats facilement généralisables (Khay et al., 2004, cité par en particulier en terme :

✓ D'allongement de la durée de vie ;

□ D'orniérage de surface

✓ Du gain économique sur l'épaisseur de la couche de grave.

Le renforcement des couches de roulement, en protection contre les remontées de fissures, présente un intérêt technique renouvelé (BOURABAH, 2012)

Les études se sont beaucoup orientées vers l'emploi des géo grilles et des géo synthétiques à base de fibres de verre et des géo composite Les résultats sont restés encore au niveau méthodologique. Il est montré que la raideur des géo synthétiques et les conditions d'interface comme l'imprégnation de collage sont des paramètres dimensionnant (Khay et al, 2004, cité par (BOURABAH, 2012)

III.4.2. L'endommagement :

L'endommagement mécanique des géo synthétiques survient principalement mise en œuvre et se stabilise ensuite en fonctionnement de service (recul a 5 et 10 ans) se traduit par une diminution de la résistance à la traction et de rallongement à l'effort maximal Le taux d'endommagement Observé reste des niveaux habituels.

Des essais sur sites ont été effectués en Allemagne dans les années soixante-dix sur des géotextiles fins et de faible grammage installé entre des matériaux anguleux et compactés. Lorsque les géotextiles ont été retirés du sol des dommages sévères ont été observés (BOURABAH, 2012)

III.4.2.1. Mécanisme d'endommagement :

Les dommages mécaniques sur les géo synthétiques peuvent apparaître depuis la production, le stockage, la manutention, installation et enfin l'utilisation. Durant leur mise en œuvre, les géo synthétiques sont soumis à différentes agressions mécaniques. Le type de dommage variera selon le type de sol, le matériau, les équipements et les procédures de construction et les conditions climatiques Les mécanismes d'endommagement ou risquant de se produire sont l'abrasion l'entaille, le poinçonnement la rupture sous contrainte la rupture des fibres et la déchirure. Ceci a emmené à des essais

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

mécaniques pour couvrir les aspects de l'endommagement à l'installation, qui sont de deux types à savoirs

✓ Les essais index qui donnent les propriétés générales du produit seul. Parmi ces essais index, on peut citer : masse surfacique, essai de traction à bandes larges Grab test résistance à la déchirure trapézoïdale, résistance à l'éclatement résistance à l'abrasion, résistance au poinçonnement, chute de cône.

✓ Les essais de performance qui donnent des informations sur le comportement de la géo synthétique in-situ. Ils représentent l'essai de laboratoire simulant l'endommagement lors de l'installation et les essais sur le terrain (BOURABAH, 2012)

III.5. Renforcement des chaussées non revête à l'aide des géo synthétiques :

III.5.1. Propriétés théoriques :

III.5.1.1. Géotextile :

III.5.1.1.1. Avantage :

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

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

Le géotextile utilisé en renforcement améliore la résistance mécanique d'un massif de sol dans lequel il est inclus. Il améliore à la fois la résistance à la traction du massif et sa capacité à se déformer avant la rupture. Dans son guide sur les systèmes de renforcement des chaussées, le constructeur Tensar nous explique également que l'emploi de géotextile peut permettre de construire un radier sur sol mou. En effet, la réalisation d'un radier en sol renforcé par des nappes de géotextiles et destiné à supporter un remblai sur sol compressible permet d'éviter les cisaillements dans le remblai et de maîtriser son poinçonnement dans le sol compressible. Dans le cas de corps de chaussée construit sur des terrains susceptibles de comporter des karsts ou autres cavités souterraines non repérées, la réalisation d'un radier renforcé par des nappes de géotextiles permet de diminuer le risque de rupture brutale, voire de maintenir le niveau de service de la chaussée en cas d'apparition de fontis. Une autre du géotextile est son coefficient de friction (plus ou moins importante suivant le géotextile) dans le cas où le renforcement concerne la reprise de sollicitations sur un autre élément ou sur une interface faible. (Guilbaud, 2011)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L' AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.5.1.1.2. Comportement mécanique :

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

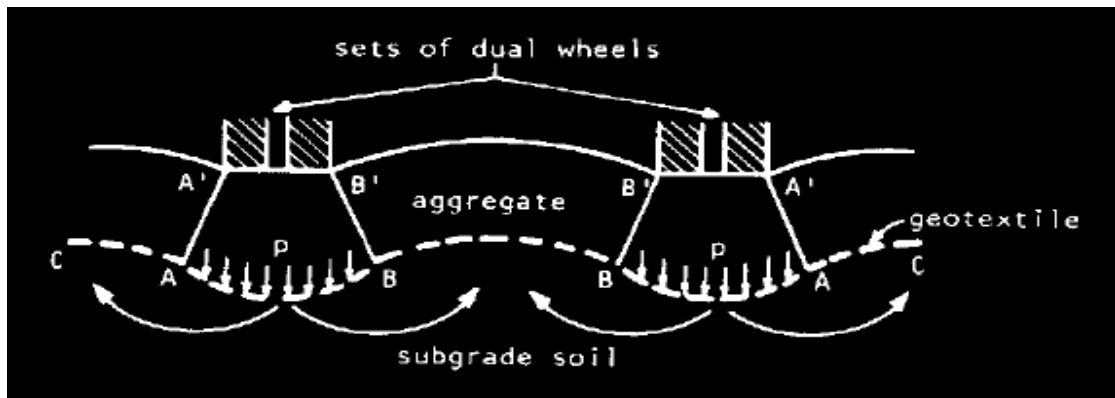


Figure3.2. gonflement (Guilbaud, 2011, p. 12)

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

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

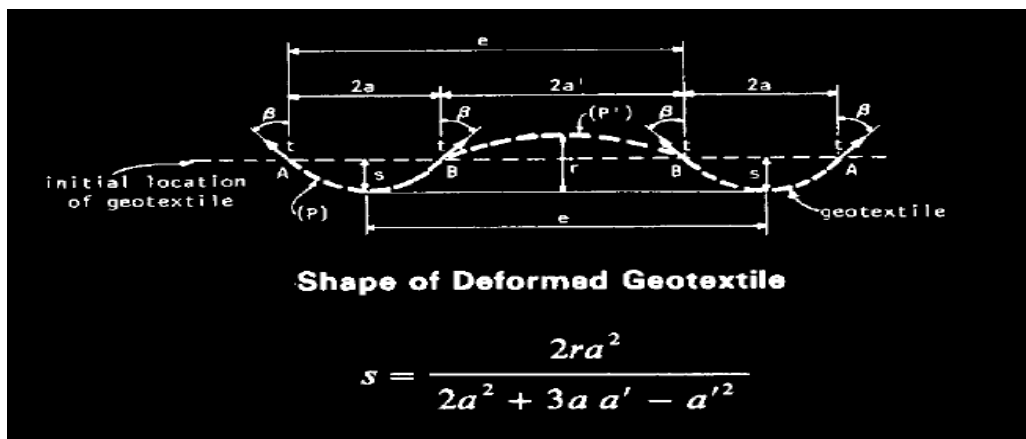


Figure3.3. La pression exercée entraîne une déformation de la forme du géotextile dont) évalue la flèche: forme de géotextile de report (Guilbaud, 2011, p. 13)

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

$$s = \frac{b + b'}{a_+ a} - 1$$

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L' AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

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

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

D'après Hufenusa, R. et al (2005), la résistance à la traction du géosynthétique (aussi bien géotextile que géogrille) à 2% tant dans le sens longitudinal que transversal, devrait être de: $T_{2\%} \geq 8$ kN/m (Guilbaud, 2011)

III.5.1.2. Géogrille :

III.5.1.2.1. Comparaison avec les géotextiles :

Bien que certaines études comme Al-Qadi, I.L. ; Appea, (A.K.,) présentent des essais grandeur nature où l'efficacité d'un géotextile dans une chaussée est comparable voire supérieure à celle d'une géogrille, la majorité des ouvrages positionnent la géogrille comme le système de renforcement le plus efficace (quand on parle de renforcement pur et non de combinaison des fonctions de renforcement et séparation).

Le constructeur Tensar dans une brochure de 2007 expose les différences selon lui entre les deux matériaux.

« Dans les applications de renforcement du sol, la résistance et la rigidité d'un matériau géosynthétique n'ont d'importance que si elles peuvent être transférées efficacement au sol environnant. Avec les géo grilles biaxiales ce transfert est possible grâce au « confinement mécanique ».

Pour les géotextiles, la charge provenant du sol ne peut être transférée de la même façon; le matériau géo synthétique agit plutôt comme une « membrane en tension ».

Parmi les désavantages des géotextiles dans le renforcement des routes, on peut mentionner :

- ✚ Leur extrême flexibilité qui peut causer des « tortillements » même après l'installation. Par conséquent, les avantages liés à « l'effet de membrane » ne sont obtenus qu'après une déformation importante de la route pour mettre en tension le géotextile. Cela peut entraîner l'affaiblissement de la chaussée et nécessiter des travaux d'entretien précoces.
- ✚ Il faut prévoir des bandes plus longues de géotextile pour permettre leur ancrage à l'extérieur de la zone routière soumise à la charge.
- ✚ L'emplacement du passage des roues doit être fixe pour assurer le rendement à

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVÊTE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

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

La formation d'ornières dans le sol support entraîne l'accumulation d'eau. Il en résulte une détérioration accélérée de la route. En raison de tous les désavantages énumérés ci-dessus, L'utilisation efficace des géotextiles dans le renforcement routier est généralement limitée aux routes de pénétration étroites et non revête. »

III.5.1.2.2. Interaction avec l'agrégat :

Pour que le renforcement granulaire soit efficace, il faut transférer les charges s'appliquant sur les agrégats vers la géo grille tendue. Avec les géo grilles biaxiales, on y parvient grâce à un « Verrouillage mécanique », un procédé où les particules granulaires pénètrent partiellement dans les ouvertures de la géo grille et se figent en place lorsque le matériau est compacté. Ce procédé est aussi appelé « confinement mécanique ».

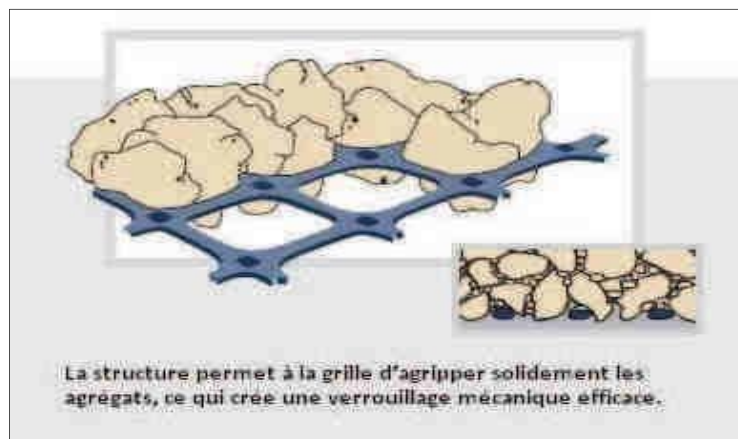


Figure 3.4. Interaction avec l'agrégat **source :**(Guilbaud, 2011, p. 14)

Le confinement efficace des agrégats produit une « zone améliorée » qui s'étend au-delà de l'interface entre la géo grille et les agrégats. Le rendement de la route est considérablement amélioré grâce au figement des agrégats en place. La force et la résistance des géo grilles biaxiales lorsqu'elles sont soumises à une faible tension sont essentielles à leur rendement dans les applications routières.

Une fois que le verrouillage mécanique a été effectué après l'épandage et le compactage des agrégats sur le dessus de la géo grille, les avantages du renforcement se manifestent dès que le trafic commence à circuler sur la route.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

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

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

Cette méthode donne la formule suivante :

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744 J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{0.3} \sqrt{\frac{p}{13.7 N_t \left(\frac{s}{G}\right) [1 - 0.9 \exp(-1.426 \frac{r}{h})] CBR_{ig}} - r}$$

- ✚ s correspond à la profondeur de l'ornièrre en po P
- ✚ est la charge sur roue exprimé en livre
- ✚ h et r sont exprimés en po avec h qui est la profondeur nécessaire pour répartir la charge sur roue à une pression équivalente à la capacité portante du sol support, $q = m_c u N_c$ et r qui est le rayon de l'empreinte du pneu
- ✚ CBR_{bc} et CBR_{cg} = correspondent respectivement aux indices CBR de la fondation granulaire et du sol support
- ✚ $N_c = 3,3$, $J = 0$ dans le cas d'une fondation non renforcée
- ✚ $N_c = 5,14$, $J = 0$ dans le cas d'une fondation renforcée par géotextile
- ✚ $N_c = 5,71$, $J = 0,32$ m-N/deg dans le cas d'une fondation renforcée avec une géogrille Tensar BX1100
- ✚ $N_c = 5,71$, $J = 0,65$ m-N/deg dans le cas d'une fondation renforcée avec une géogrille Tensar BX1200 (Guilbaud, 2011)

III.5.1.2.3. Avantages :

On distingue deux zones d'application pour les géogrilles:

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

Renforcement de la couche de sol :

Les couches de sols mous (support de la chaussée) constituent un problème courant dans le domaine de la construction routière. Cela peut poser un problème à court terme s'il s'agit de la construction d'une route d'accès temporaire ou un problème à long terme dans le cas d'une route permanente construite sur un sol support de faible portance.

Dans les deux cas, une déformation importante du sol support entraînera la détérioration rapide de l'ensemble de la structure de la route. (ROUIMEL & BOURBIA, 2020)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

C'est pourquoi le confinement des agrégats dans les ouvertures d'une géogridde procure une plate-forme granulaire plus rigide. Cette plate-forme améliore la distribution de la charge, comme une raquette répartit uniformément le poids d'une personne sur une plus grande surface de neige.

Cet « effet de raquette » généré par les géo grilles biaxiales permet une réduction de la contrainte appliquée sur sol.

Les géo grilles peuvent ainsi résoudre des problèmes d'accès sur site, sur les chantiers notamment où les camions exercent de fortes pressions durant la construction.

Comme il a été dit précédemment, l'usage d'une géo grille permet de réduire l'utilisation de matériaux de remblais et ainsi limiter les opérations de sur excavation dans des sols parfois de mauvaise qualité.

Également les fournisseurs de géo synthétiques comme les géo grilles continuent de promouvoir ce produit et ses qualités :

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

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

III.5.1.2.4 Caractéristiques géométriques et renforcement :

Les géo grilles présentent deux directions dans lesquelles elles peuvent être sollicitées, on parle de degré d'anisotropie. Les géo grilles sont qualifiées d'uniaxiale lorsque leurs propriétés mécaniques sont nettement privilégiées dans l'un de ses axes.

À l'inverse, les géogrilles dites biaxiales ont des propriétés mécaniques relativement similaires dans les sens travers et machine. Les géogrilles uniaxiales sont usuellement employées dans des applications où la direction des contraintes maximales est connue, comme les murs de soutènement et les talus armés. Les géogrilles bidirectionnelles sont quant à elles employées dans des applications où l'orientation des contraintes est essentiellement aléatoire (Koerner, 1994). De plus, afin de valider ses résultats, la méthode de Giroud et Han (2001) s'est intéressé à l'influence de la géométrie de la géogridde sur son comportement. Les observations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

Tableau 3.2. l'influence de la géométrie de la géogrille sur son comportement
(Guilbaud, 2011, p. 18)

Propriété de la géogrille	Observation	Champ de validation de la méthode Giroud Han
Type de géogrille	Les géogrilles monocouches (extrudées et tissées) s'installent facilement, sans endommagement aux joints ni de séparation de plis. Les matériaux monocouches offrent un meilleur rendement que les matériaux multicouches où à bandes soudées. En effet, les matériaux multicouches ont tendance à se séparer lors de l'installation. Les bandes soudées ont tendance à se séparer au niveau des points de jonction lors de l'installation.	la méthode Giroud Han a été validé en utilisant des matériaux monocouches
Module de stabilité des ouvertures	Des recherches démontrent clairement que cette propriété illustre efficacement l'interaction complexe du monde initial en tension, de la rigidité du confinement et de stabilité. Les géogrilles dont des ouvertures est élevé offrent un meilleur rendement	La méthode Giroud Han à été validé de module de stabilité atteignent 6,5 cm-kg/deg.
Forme des nervures	Des nervures carrées ou rectangulaires offrent une meilleure interaction entre le sol et la couche de fondation. Les matériaux à nervures carrées ou rectangulaires offrent une meilleure efficacité que les matériaux à nervures circulaires.	la méthode Giroud Han a été validé avec les matériaux à nervures rectangulaires.
Épaisseur des nervures	Des nervures plus épaisses offrent une meilleure interaction entre le sol et la couche de fondation. Les matériaux dont l'épaisseur des nervures est élevée offrent une meilleure efficacité que les matériaux dont l'épaisseur des nervures est faible.	La méthode Giroud Han a été validée au moyen de matériaux dont l'épaisseur des nervures était supérieure ou égale à 0,03po, (0,8 mm)
Dimensions des ouvertures	Les ouvertures de la géogrille doivent être suffisamment grande pour permettre l'interpénétration des agrégats et du sol, mais suffisamment petites pour bien les imbriquées. Des recherches démontrent qu'une ouverture de 0,9 à 1,5po (23 à 38 mm) offre un optimal avec la plupart des combinaisons agrégats/sol.	La méthode Giroud Han a été validée avec des matériaux dont l'ouverture variait de 0,9 à 1,5po (23 à 38mm) dans les deux sens (sens machine et sens travers)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

Efficacité des joints	Des recherches démontrent que les joints des géogrilles doivent être suffisamment solides pour confiner efficacement des joints efficaces offrent un meilleur rendement	la méthode Giroud Han a été validée avec des matériaux dont l'efficacité des joints était supérieur où égale à 90% de la résistance ultime en tension
------------------------------	---	---

III.5.2 Concevoir avec les géo synthétiques :

III.5.2.1 Quelles géo synthétiques utiliser ?

Le choix de la géo synthétique se fait en fonction de différents critères, qui sont :

- ✚ Propriétés mécaniques minimales requises (déterminées à partir de méthodes de conception et des contraintes d'installation anticipées);
- ✚ Type de chaussée (chaussée non revêtue ou flexible);
- ✚ Résistance du sol support;
- ✚ Position du renforcement au sein de la chaussée (ligne d'infrastructure ou fondation) ;
- ✚ Compatibilité en filtration entre le sol support et la fondation de la chaussée et;
- ✚ Expériences antérieures avec les renforcements géo synthétiques. Classement par propriétés des géo synthétiques (Mansour et al., 2020)

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

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

Résistance à la traction. Il s'agit d'un critère important car la mesure de la résistance à la traction permet d'obtenir les courbes contraintes-déformations du matériau. A partir de ce critère on pourra savoir quelle contrainte le matériau pourra reprendre afin déformation plastique ou bien rupture.(DJENNAH, 2016)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

Tableau 3.3. valeur représentatives de la résistance à la traction de différences catégories de géo synthétiques (Guilbaud, 2011, p. 19)

Géosynthétique	Résistance a la rupture (k /m)	Déformationrupture %
Géotextes non-tissés :		
Thermolité	3-25	20-60
Aiguilleté	7-90	50-80
Géotextiles tissés :		
Multi filament	40-800	9-30
Bandelettes	8-70	10-25
Géogrilles :		
Perforées • étirées	10-200	11-30
Nervures	25_-100	3-20

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

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

III.5.2.1.1. Positionnement :

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

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

Sigurdsson (1993) déduit de ses travaux que la résistance à l'orniérage n'est guère affectée

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

par la présence d'un géo synthétique de renforcement lorsque ce dernier est installé à plus de 600 mm de profondeur.

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

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

Dans le cas des chaussées souples, il existe différents placements du géo synthétiques dans la chaussée ;

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

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

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

Pour la configuration de la géo synthétique dans la couche de surface Lugmayr et al(2002) ont montré que les routes faites en bitume ont une durée de vie qui dépend de la capacité portante de la chaussée existante, des propriétés mécaniques des couches ainsi que leur mise en place, de l'épaisseur et la qualité de la couche de revêtement et en fin des liaisons entre les couches.

Aussi, les tests montrent que la partie faible d'une chaussée est la liaison entre les couches. La liaison entre la couche d'asphalte et la couche d'assise est primordiale afin d'éviter la propagation de fissures d'où l'emploi d'un renforcement. Cette couche doit avoir une raideur effective la plus haute possible. (Guilbaud, 2011)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L' AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

Tableau 3.3. Position optimale du renforcement au sein d'une chaussée souple selon différents auteurs (Guilbaud, 2011, p. 21)

Auteurs	Recommandations	Remarques
Hass & al (1988)	<ul style="list-style-type: none"> • A la ligne d'infrastructure, si l'épaisseur de la fondation est inférieure à 250 mm • A la mi-épaisseur de la fondation si non épaisseur excède 250 mm • Double renforcement pour des sols peu portants (CBR ≈1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Essai de laboratoire (plaque) • CBR du sol support 1 à 8 • Epaisseur de revêtement 50mm • Renforcement : géogridle obtenue pu perforation-étirement
Chan & al (1989)	<ul style="list-style-type: none"> • Effet négligeable du renforcement du sol support si la fondation a plus de 200 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Essai de laboratoire (plaque) • CBR du sol support 2.6 • Epaisseur de revêtement : 32 à 38 mm • Renforcement : géogridle et géotextile rigide
Kinney & al (1998a)	<ul style="list-style-type: none"> • Sur la ligne d'infrastructure si épaisseur de fondation inférieure à 350 mm • A la mi- épaisseur de la fondation si non épaisseur excédé 350 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Essai de laboratoire (roue) • CBR du sol support : 1 • Épaisseur du revêtement : 60 mm • Renforcement : géogridle obtenue par perforation – étirement

III.5.2.2. Outils de calculs actuels :

En 2010, Zornberg, J.G. et Gupta, R. dressent un rapport sur la situation du Renforcement géo synthétique en Amérique du Nord.

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

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

Le TBR est défini comme le rapport entre le nombre de cycles de charge sur une section renforcée (NR) pour atteindre un état de ruine défini (une profondeur d'orniérage donnée) et

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

le nombre de cycles de charge sur une section non renforcée (NU) avec la même géométrie et les mêmes constituants matériels qui atteint le même état de ruine défini.

$$TBR = \frac{NR}{Nu}$$

Pour la plupart des géotextiles le TBR se situe entre 1.5 et 10 tandis qu'il se situe entre 1.5 et 70 pour des géo grille

La BCR est définie comme le pourcentage de réduction dans l'épaisseur de la couche de base due au renforcement apporté via les géo synthétiques (TR) par rapport à l'épaisseur de la chaussée souple avec les mêmes matériaux, mais sans renforcement (TU), pour atteindre un état de ruine défini.

$$BCR = \frac{TR}{Tu}$$

Lors de la détermination du BCR l'étude à montrer qu'une couche de base renforcée de 350 mm d'épaisseur correspondait à une couche non renforcé de 450 mm d'épaisseur (Anderson and Killeavy (1989)). Dans la littérature une BCR peut aller jusqu'à 40% dans certains cas.

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

La méthode mécanique-empirique semble proposer une étude plus fiable quant au comportement du géo synthétique une fois opérationnel. Beaucoup d'entrées sont ajoutées dans le modèle puis le résultat de sortie est comparé aux hypothèses de départ. Pour chaque couche de sol la méthode prend en compte le coefficient de Poisson et le module de résilience : $M = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \cdot R$

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

De plus, un autre outil de calcul afin de connaître la capacité portante d'un sol et le CBR. Il s'agit du rapport de la force par unité de surface, nécessaire pour pénétrer une masse de sol

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

avec piston circulaire normalisé à raison de 1,25 mm / min par rapport à celle nécessaire pour la même pénétration d'un matériau de référence.

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

Des tests sont effectués sur des sols naturels ou compactés dans des conditions saturées en eau ou non-saturées et les résultats ainsi obtenus sont comparés avec les courbes d'essai standard pour avoir une idée de la résistance du sol de la terre du sol de fondation.(Guilbaud, 2011)

III.5.2.3. Prise en compte du renforcement en dimensionnement :

On modifiée.

✚ Soit en termes de performance : la durée de service de l'ouvrage routier augmente.

III.5.2.3.1. Performance du renforcement :

Un des critères d'observation pour évaluer si la chaussée subit des dommages est la profondeur d'orniérage. L'orniérage est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement de celle-ci qui se crée sous le passage répété des roues.

Ce tassement peut avoir lieu dans n'importe quelle couche de la chaussée (à différentes profondeurs) et on le mesure en surface.

Il y a deux approches dans l'analyse de l'orniérage d'une chaussée non revêtue.

- L'orniérage à la surface d'une chaussée est l'image de l'orniérage au niveau de la couche de forme et que la couche d'assise de par sa qualité ne contribue pas à ce phénomène. Pour que cette hypothèse soit valide il est nécessaire d'avoir des matériaux de haute qualité et des règles de compactage strictes
- La seconde approche considère l'orniérage au niveau de chaque couche. Et l'ornière à la surface serait la somme de ces déformations pour des couches à faible volume cette approche est plus réaliste car on est moins sûr de la qualité des agrégats sur une petite hauteur. L'orniérage au sommet de la couche de forme dépend des contraintes de cisaillement, des contraintes verticales et du module de résilience.

Aussi la profondeur d'orniérage est un indicateur de performance du renforcement d'une

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

chaussée. Certains auteurs ont tenté de définir l'apport structural des géo synthétiques de renforcement. Pour les chaussées non revêtues, une corrélation semble exister entre les résultats d'essais de chargement monotone (à la plaque) et la résistance à l'orniérage .

dans son rapport sur l'utilisation des renforcements géo synthétiques en Amérique du Nord expose une courbe reliant la profondeur d'orniérage au trafic. (Cette courbe se retrouve également dans la brochure du constructeur.

peut tenter de quantifier l'apport bénéfique des géo synthétiques de deux manières : Soit en termes de résistance mécanique : on observerait une amélioration de lacapacité portante du sol mais la durée de vie de la chaussée n'est pas nécessairement(Guilbaud, 2011)

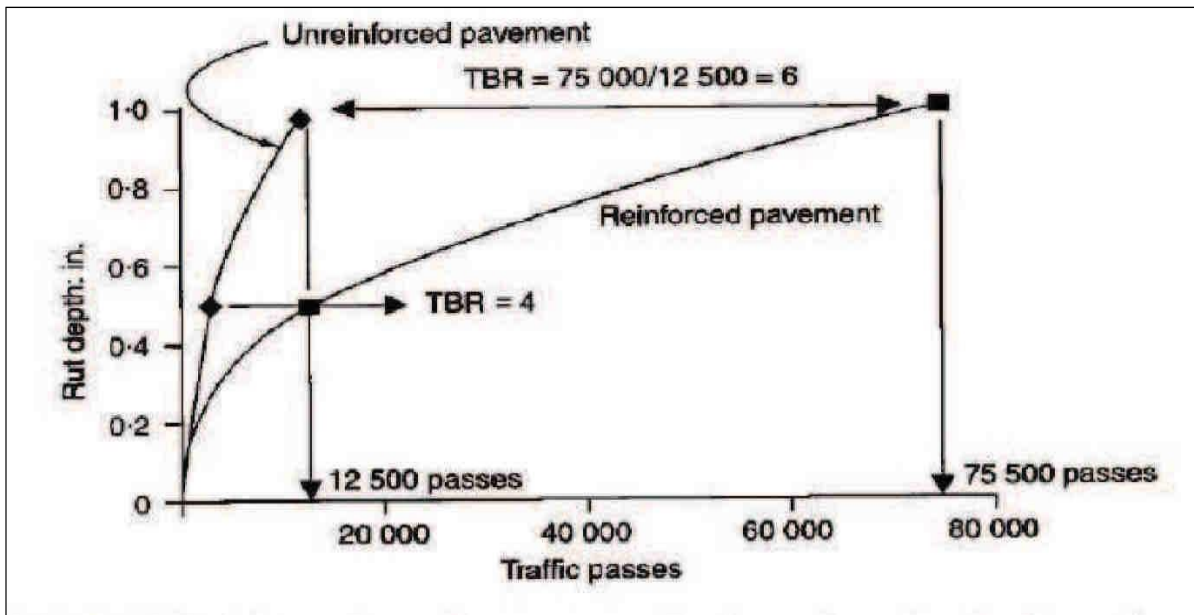


Figure3. 5. Valeurs TBR typiques pour une chaussée non renforcée et renforcée pouratteindre une profondeur d'orniérage donnée (Guilbaud, 2011, p. 23)

Aussi, connaissant le TBR (propre à un matériau géo synthétique) et pour une profondeur d'orniérage fixée on peut évaluer le trafic que la chaussée serait capable de supporter.

De même, Giroud (1981) relie l'épaisseur de la couche granulaire à la capacité portantedu sol en fonction du module sécant (Le module d'élasticité sécant est égal à la contrainte divisée par la déformation en un point quelconque.) du géotextile employé.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

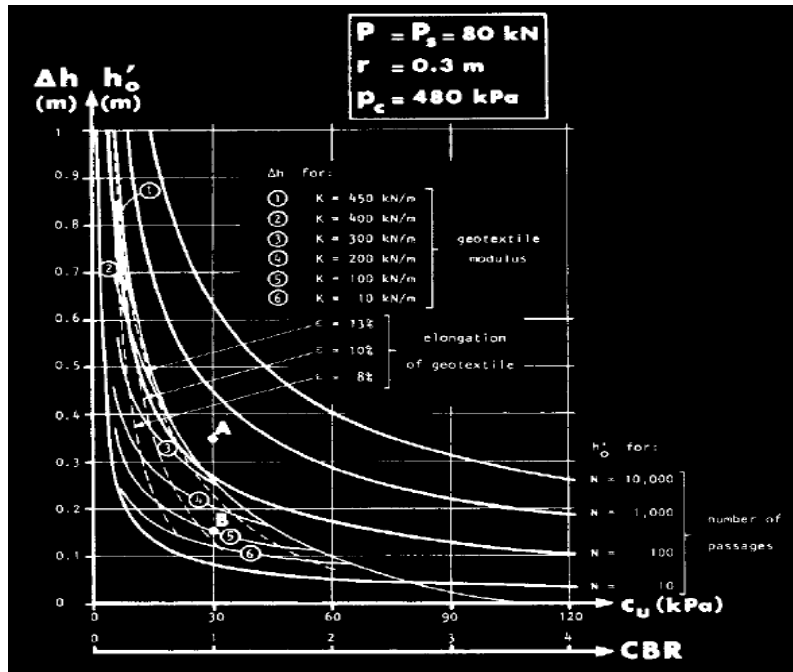


Figure 3.6. module sécant (Guilbaud, 2011, p. 24)

L'utilisation d'un géotextile permet de réduire l'épaisseur de la couche d'agrégats de 20 à 60% suivant les cas. Or en réduisant la couche d'agrégat, le géotextile permet aussi de limiter la profondeur d'orniérage. Plus, le module de traction du géotextile sera élevé et moins épaisse sera la couche d'agrégat requise.

Expériences et modèle de dimensionnement

III.5.2.3.2. Expérience: Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft (Hufenusa, R. et al 2005):

Hufenusa, R. et al (2005) évalue à partir d'essais réalisés sur terrain que la conception d'une chaussée devrait répondre à la formule suivante :

$$\text{Log } N = \frac{h \text{CBR}^{0,63}}{0,19}$$

Où N est le nombre de passage standard d'essieux, h l'épaisseur de la route (m). Cette approche est valable pour $N \leq 10000$ et une profondeur d'orniérage maximale de 75 mm, ou 40 mm par rapport au niveau initial de la chaussée.

Cette formule vient compléter celle de Giroud même si elle ne prend pas en compte les caractéristiques des géosynthétiques. Seules des recommandations sont données à l'issue de ces expériences.

À savoir que l'utilisation de géosynthétiques rigides augmente de 1 à 3% la capacité portante et la compactibilité d'une couche de remblai sur sol mou.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

L'utilisation d'un renforcement est efficace quand le $CBR \leq 3$ et $h \leq 0.5m$. La résistance à la traction du géo synthétique à 2% aussi bien dans le sens longitudinal que transversale directions, devrait être de: $T2\% \geq 8 \text{ kN/m}$.

La rigidité des géo synthétiques avec une contrainte dans les 1 à 3% n'a pas été affectée significativement par le processus de construction et aucune réduction de la capacité detension n'est apparue au cours de l'installation. Les tensions ont augmenté de 8–15 kN/mpour les géo synthétiques ancrés dans la couche granulaire, et ce en raison du verrouillage.

L'effet des géo grilles tend à être réduit quand on les utilise en les combinant directement avec une couche séparatrice (géotextile), car la grille a alors la possibilité de glisser sur le géotextile. Néanmoins afin d'éviter le mélange des fines du sol avec la couche granulaire un géotextile de séparation devrait être utilisé avec la géo grille se tenant à 5cm environ au- dessus de lui au sein de la couche granulaire. Ainsi les interactions de cisaillement et la capacité portante seraient améliorées. (Guilbaud, 2011)

Tableau 3. 4 . Profondeur maximale des racines mesurez en octobre 2011 (Guilbaud, 2011, p. 26)

Section	Stabilisation type	North Bound (mm)	South Bound- (MM)
1	Control	45,9	29.2
2	Géotextile	18. 8	15.9
3	Géogrille	23.2	16.4
4	Control	12,2	10,1
5	Géotextile	12,1	8.3
6	Géogrille	12,7	6.8
7	Control	11,5	9.4
8	Géotextile	11,7	9.6
9	Géogrille	12,0	7.8

Après 8 années d'acquisition, la section renforcée à l'aide de géotextile (pour 100mm d'agrégat supporté) admet 195% de plus de trafic qu'une section non renforcé. Contre 187% pour la géogrille.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L' AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

Tableau 3. 5. Caractéristiques et propriétés des géo synthétiques utilisés(Guilbaud, 2011, p. 26)

Matériels	Direction	Ultime	
		Force (kN/m)	Allonger (%)
Pendant Installation			
Géotextile	Warp	27	23.6
	Fill	25	9.9
Géogrille	Machine	19	8.9
	X-Mach	33	9.3
Après Excavation			
Géotextile	Chaine	18	14.8
	Remplir	25	12.5
Géogrille	Machine	19	12. 4
	X-Mach	32	14.1

L'auteur donne ainsi pour des caractéristiques données d'un matériau géosynthétique et pour une configuration précise de la chaussée quelle est la déformation obtenue.

Aussi la profondeur d'orniérage peut s'interpréter aussi bien en termes de résistance mécanique puisque l'on peut décider de renforcer le sol afin de réduire la profondeur d'orniérage (augmentation de la capacité portante) ou bien se fixer une profondeur admissible et renforcer la chaussée afin d'autoriser un trafic plus important (performance).

III.5.2.3.3. Expérience: Roadway Subgrade Stabilization Study, Christopher (2008):

Il s'agit d'un essai de laboratoire testant un géo synthétique placé entre une couche de sol de 1m et une couche d'agrégat de 150 mm pour un CBR de 2% et 300mm pour un CBR de 1%. Une charge cyclique de 40 kN est utilisée pour simuler la pression dynamique des essieux.(Guilbaud, 2011)

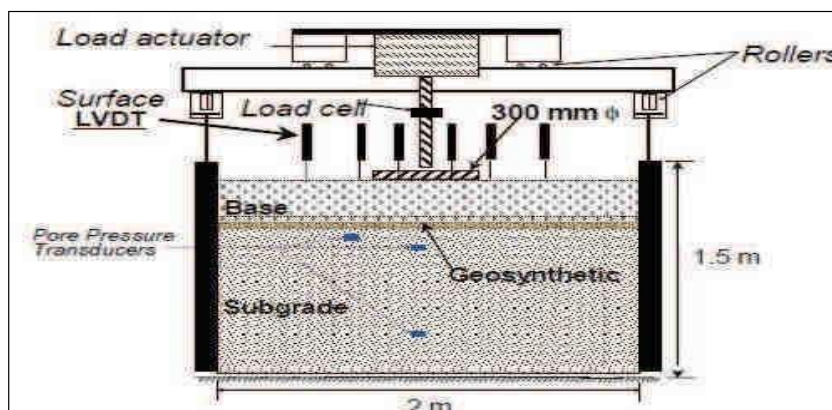


Figure3.7. Une charge cyclique pour simuler la pression dynamique des essieux.(Guilbaud, 2011, p. 27)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

Il faut une épaisseur de 300 mm (FHWA) pour limiter une profondeur d'orniérage de 75 à 100 mm pour un trafic modéré (1000 cycles) à 80 kN pour un CBR de 1%.

Les essais en laboratoire ont été réalisés sur plusieurs géo synthétiques afin d'évaluer leur capacité à renforcer une structure routière sur un sol limoneux pour un CBR de 1 à 2%.

Les résultats montrent que les sections d'essai contenant un géo composite hautement perméable avec un module de déformation faible, et pour une force faible un géotextile tissé avec une grande permittivité donnent de meilleurs résultats.

Tableau 3.6. Caractéristiques géo synthétiques (Guilbaud, 2011, p. 27)

Propriétés	Géo synthétique						
	G _{t_f} W1	G _{t_f} W2	G _{t_f} W3	GT _{sf}	GG _w	GC _{r-nw}	GG _{ex}
	Géotextile tissé fibrillé	Géotextile tissé fibrillé	Géotextile tissé fibrillé	Géotextile tissé de film de limon	Géogrille tissé	Géotextile non tissé renforcé composite	Géogrille extrudée
T _{ult} MD (KN/m)	NA	38.5	70.0	30.6	29.2	35	13.0
T _{ult} XD (KN/m)	NA	35.9	70.0	30.6	29.2	35	19.0
T _{2%} MD (KN/m)	NA	7.0	14.0	NA	7.3	4.4	7.3
T _{2%} XD (KN/m)	NA	8.6	19.3	NA	7.3	4.4	7.3
Ψ (Sec ⁻¹)	1.0* (0.46)**	0.7* (0.56)**	0.4* (0.32)**	0.05*	---	1* (1.44)**	---

* Résultats de test

* Littérature du fabricant (NA = not available (pas disponible)).

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

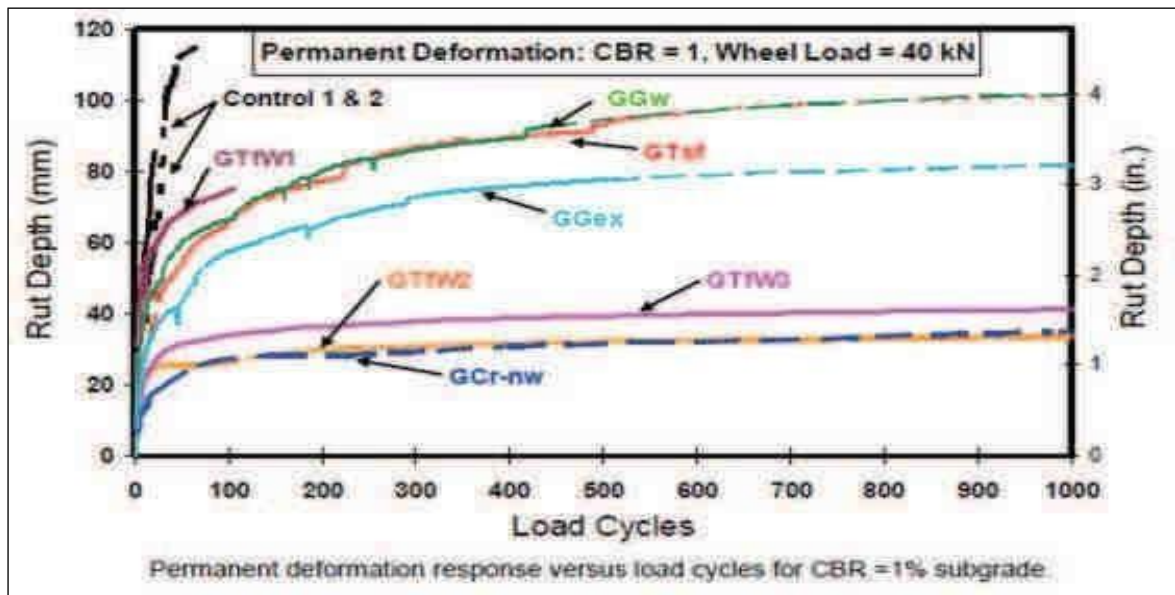


Figure3. 7. Réponse à la déformation permanente en fonction des cycles de charge pour cbr = 1 % du sol de fondation (Guilbaud, 2011, p. 27)

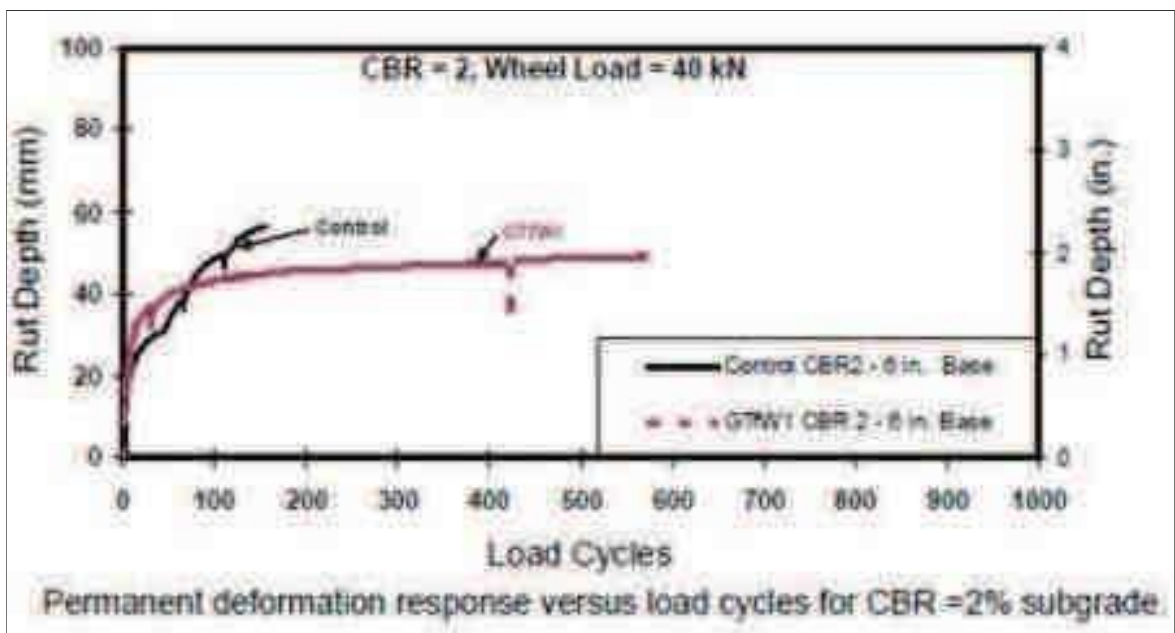


Figure3. 8. Réponse à la déformation permanente en fonction des cycles de charge pour cbr = 2 % (Guilbaud, 2011, p. 28)

Aussi cet essai permet de montrer quelle géo synthétique est plus efficace qu'un autre dans une configuration donnée. Cependant comme les deux expériences précédentes il montre qu'il est difficile de pouvoir prédire quelle géo synthétique sera le plus efficace de façon général juste à partir des caractéristiques intrinsèques du matériau.

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.5.2.3.4 .Méthode de conception :

Idéalement la conception d'une chaussée qui prendrait en compte le renforcement via les géosynthétiques devrait suivre les étapes décrites dans les deux organigrammes ci-dessous.:

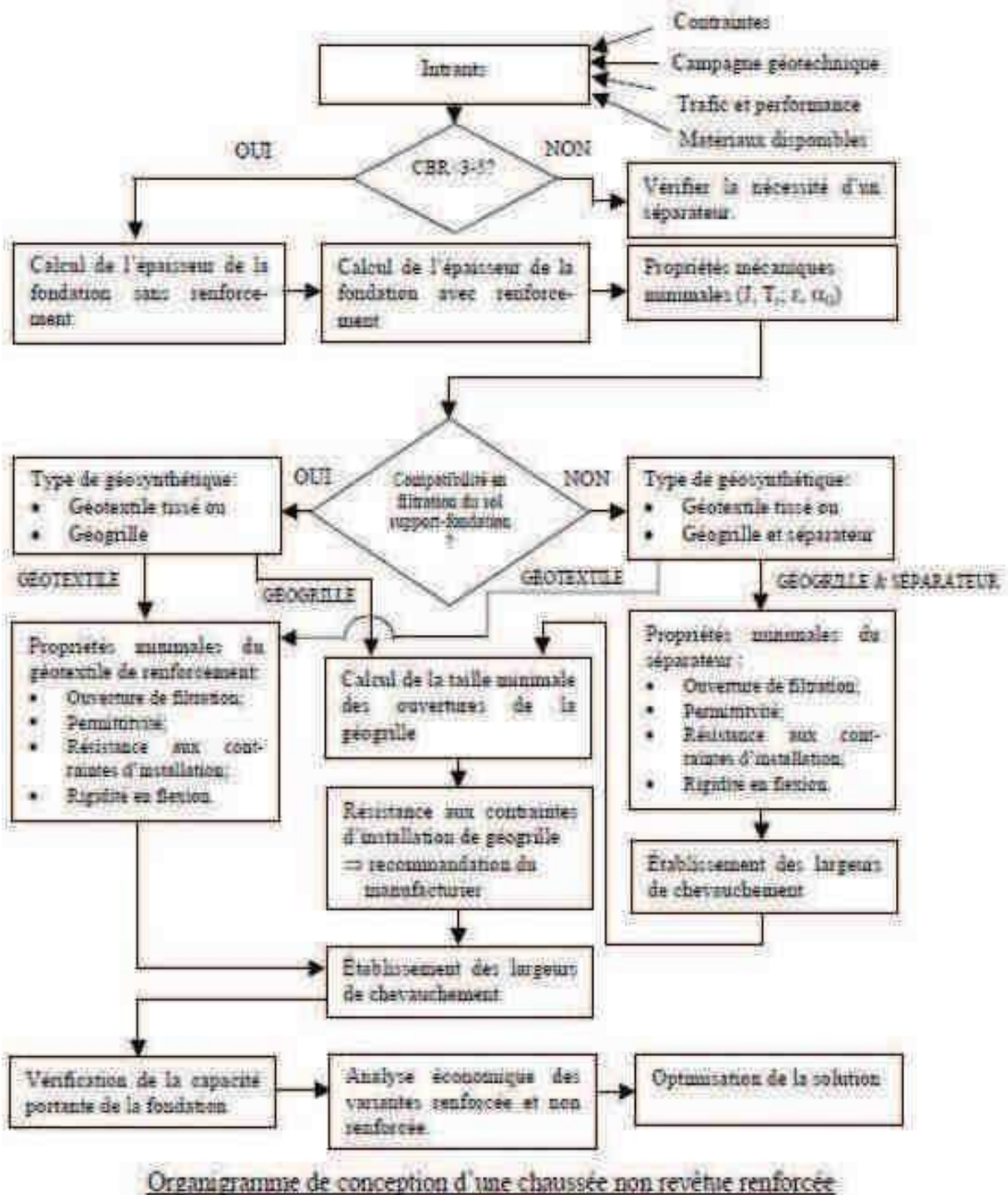


Figure3.9.Organigramme de conception d'une chaussée non revête renforcer (Guilbaud, 2011, p. 29)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVETE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.5. Bilan :

Tableau 3.7. Récapitulatif : mécanisme de renforcement (Guilbaud, 2011, p. 31)

Type de mécanisme	Champ d'application	Schéma	Facteurs Externe (sol)	Facteurs Interne (Geosynthétique)	Références
Effet de contrainte latérale	Couche de surface, d'assise et de sol		Résistance au cisaillement du sol, épaisseur de sol	Épaisseur nervure, ouvertures, rigidité en traction, coefficient de friction	Zornberg (2010)
Augmentation de la capacité portante + effet « raquette »	Interface sol-mou-couche granulaire		CBR sol, épaisseur de la couche granulaire, compactage du sol	Module de rigidité, résistance à la flexion	Zornberg (2010) Koerner (1994) <u>Tensar</u>
Effet de membrane sous tension	Pour des sols mous (CBR<3) Interface-couche de sol-couche d'assise ou couche d'assise-couche de surface		CBR<3, Nécessite faibles déformations dans le sol, pré-tension	Coefficient de raideur, résistance à la traction	Giroud (2001, 1961) Zornberg (2010) Lugmayr (2002)
Séparation	Interface entre deux couches de granulométrie différente		Granulométrie	Perméabilité, ouvertures des géogrilles	Lambert (2000) Giroud (1981)
Confinement mécanique	Couche granulaire ou interface sol-couche granulaire		Granulométrie	Dimension des ouvertures, résistance biaxiale, solidité joints joints géogrille	Tensar Giroud (2001)

CHAPITRE 3: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES NON REVELE A L'AIDE DES GEOSYNTHETIQUE

III.6. Conclusion :

En conclusion, les flux routiers occupent une place majeure au sein des flux de transports et aussi bien pour réduire les coûts de construction, de réhabilitation ou de maintenance, les géosynthétiques présentent une alternative intéressante pour les entrepreneurs afin d'améliorer la résistance mécanique et/ou la durée de vie de l'ouvrage routier.

Les nombreuses études ont montré les bénéfices de l'utilisation des géosynthétiques dans le renforcement des chaussées. Le mécanisme de renforcement permet le transfert des contraintes de cisaillement dû au chargement de la couche de base vers le géosynthétique alors mis en tension ce qui diminue les efforts latéraux et par conséquent les déformations verticales permanentes. Ou bien dans le cas d'une géogrille le fait qu'elle soit emboîtée dans le sol permet un véritable mécanisme de renforcement.

Pour une utilisation correcte, il convient que les matériaux géosynthétiques présentent les caractéristiques et propriétés appropriées pour un emplacement spécifique dans la chaussée. C'est pourquoi un type de renforcement est difficile à généraliser.

Des coefficients tels que le TBR et le CBR permettent de prédire de façon grossière quel type de renforcement peut être appliqué à un sol. De même la méthode de Giroud et Han permet de connaître l'épaisseur de granulat à disposer pour un renforcement donné. Cependant la majorité de ces directions résultent d'études empiriques précédentes et restent spécifiques à des configurations de chaussée données.

Des modèles numériques apparaissent de plus en plus (notamment la méthode des éléments finis) et pourraient ainsi prévoir le comportement d'un sol renforcé soumis à une charge.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'objectif de cette thèse était de développer le renforcement des chaussées non revêtu dans les sols faible résistance exemple des sols supports mous. Ce travail a permis d'améliorer la connaissance de l'interaction sol/renforcement.

Dans ce mémoire, nous avons commencée premier lieu par décrire des notions générales sur les chaussées et surtout non revêtu, ses différentes couches, et ses dégradations possibles.

De cela on a on a défini de manière générale ce que c'est une géosynthétique, ses matières premières, ses propriétés et ses principales fonctions. Les géo synthétiques sont utilisées quand ils conduisent à des solutions plus économiques que les autres techniques existantes ou encore quand ils apportent d'autres avantages tels que la mise en service plus rapide, économie de matériaux localement rares, limitation des perturbations de l'environnement, accroire la durée de vie des différents ouvrages contenant ces géosynthétiques.

D'autres parts, on a aussi défini le sens du renforcement, les méthodes de renforcement par les géo synthétiques et la méthode développée par les deux chercheurs Giroud et Han, et l'application des géo synthétiques dans le corps de la chaussée. Le renforcement de chaussée non revêtu par les géo synthétiques demande une efficacité qui dépend de plusieurs facteurs. Les géo synthétiques doivent être en mesure de distribuer efficacement la charge sur le sol support et nécessite une interaction complexe entre le géo synthétique, le sol et la fondation granulaire. Dans le chapitre qui suit, on cherche à mieux comprendre ce renforcement, de modéliser l'interface sol/Géo synthétique et d'optimiser les dimensions du géo synthétique utilisé par des outils informatiques développés.

Enfin, c'est la première expérience pour nous. C'est très bénéfique pour nous en termes de science et de technologie. C'est encore une étape très importante. Il est nécessaire de comprendre certains concepts de base des sciences de l'ingénieur.

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Autret, bulletin, Brousse, J. L., & Faure.** (2009). Catalogue des dégradation des routes non revêtues. egis bceom international; VIZIRET, Qualification et quantification des dégradations d'une route non revêtue pour la programmation et le suivi des travaux d'entretien, LCPC, P. Autret et J.L Brousse, bulletin réf. 4157, janvier-février 1998. https://www.google.dz/search?q=livre+d%C3%A9gradation+des+surface+des+routes+non+revetue+mali&hl=fr&sxsrf=APq-WBtbzz-BB15ifr4uTFW7W_3ZXczKVQ:1644230641670&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjv38y6tO31AhWeg_0HHbANAAAQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1920&bih=937&dpr=1#imgrc=YYQKOMj92qB44M
- BOUDOUAIA, Y., & GORINE, A.** (2020). méoie de master : Stabilisation et renforcement des corps de chaussée par utilisations des géosynthétiques.
- BOURABAH, A.** (2012). COMPORTEMENT MECANIQUE DES SOLS FINS Application à la valorisation des sédiments de barrages en technique routière. 237.
- BRIANÇON, L., & DELMAS, P.** (2020, juillet). Stabilité des sols, fondations. +33 (0)1 53 26 79 18, 104.
- DJENNAH, R.** (2016). Géosynthétiques pour la construction de routes et chaussées « Amélioration de la couche de forme ». 77.
- dupont, nathalie, & mlynarek, jacek.** (2019, octobre 31). La certification des géotextiles utilisés en génie routier : Une édition 2018 mieux ciblée sur les besoins du marché | AQTr—Association québécoise des transports. <https://aqtr.com/association/actualites/certification-geotextiles-utilises-genie-routier-edition-2018-mieux-ciblee-besoins-marche>
- Guilbaud, R.** (2011). Utilisation des matériaux géosynthétiques dans le renforcement des chaussées. 35.
- jafijaf, mohammed.** (2015). 2Caracteristiques_des_chaussees_cours-routes_procedes-generaux-de-construction. <https://fr.scribd.com/doc/290618897/2Caracteristiques-Des-Chaussees-Cours-Routes-Proc%C3%A9d%C3%A9s-Generaux-de-Construction>
- J.F.LAFON), M. R.** (2011). FONCTIONNEMENT D'UNE CHAUSSEE. Univercité Paul sabalier. <https://www.pinterest.fr/pin/735634920368415152/>
- kmer,** 18. (2019, mai 7). Création Des Profils En Travers Type Sous Piste—Infrastructures & VRD - CIVILMANIA. <https://www.civilmania.com/topic/31246-cr%C3%A9ation-des-profils-en-travers-type-sous-piste/>
- L'idrrim.** (2019). CT-T50 ,Tome 1. cim béton ,centre d'information sur le ciment et ses applications.
- Magnan, J.-P.** (2015). CP5809_Cahier_Gris_2.indd. 40.
- Mansour, C., Ayoub, M., & Abdessemed, D. M.** (2020). Confection des bétons bitumineux pour les chaussées souples en zones arides. 87.
- moula, chouaib.** (2020, août 25). Types de géotextiles—Fonctions et utilisations dans la construction. Un site dédié à la conception plan de maison,cuisine,salle de bain,décoration,étude structure,cours. <https://book4yours.blogspot.com/2020/08/types-de-geotextiles-fonctions-et-utilisations-dans-la-construction.html>
- ROUMEL, R., & BOURBIA, nawal.** (2020). Mémoire de master:Etude et modélisation

des corps de chaussées renforcés par des géogrilles. 187.

SEBAA, nacéra. (2006). Les routes non revetues en algerie. MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS DIRECTION DES ROUTES.

https://www.google.dz/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fclrtafrique.com%2Fdossier%2Fstage_tunisie%2Frts_non_revet%2FLes_routes_non_revetues_en_algerie.pdf&psig=AOvVaw1ghKdToIwTnD9QrSYRkBod&ust=1644352958515000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwiBz4uhuu71AhUGxosKHfCUA_4Q3YkBegQIABAL

Sere, A. (1995). Ouvrages renforcés par géotextiles chargés en tête : Comportement et dimensionnement. 344.

visa, F. (2009). LES ROUTES.

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CQo-_lreXAwJ:www.cours-genie-civil.com/wp-content/uploads/Cours_route_Module_C5_IUT.pdf+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=dz

Watn, A. (2011). GÉOSYNTHÉTIQUES DANS LES STRUCTURES ROUTIÈRES : EXPÉRIENCES EUROPÉENNES. 16.