

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد القادر
تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de **MASTER**

En : Travaux Publique

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Par :

SIAME LUBUTO NKONDE

Sujet

ETUDE ET CONCEPTION DES CHAUSSEES NON REVETUES

Soutenu publiquement, le 21 / 06 / 2022, devant le jury :

Mme BENCHOUK Assia	Professeur	Université de Tlemcen	Présidente
M ZADJAOUI Abdeldjalil	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
Mme BENADLA Zahira	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrante

Année universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

- Avant tout, je tiens à remercier dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce programme.
- Deuxièmement, je voudrais remercier ma famille pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis et les encouragements qu'ils m'ont donnés pour pouvoir terminer ce travail.
- Je tiens également à remercier énormément ma superviseure bien-aimée pour sa contribution massive et son encadrement : le meilleur professeur du monde

Pr. BENADLA Zahira.

- Que tous les membres du Jury trouvent ici l'expression de mon plus profond respect pour avoir pris le temps d'examiner ce mémoire.
- J'aimerais aussi remercier l'université de Kwazulu Natal en Afrique du Sud et le projet Académie pour l'opportunité d'apprendre les principes d'ingénierie en temps réel.

Mes remerciements vont également à ceux qui, bien que proches ou éloignés de moi, m'ont aidé et encouragé. Puissiez-vous trouver ici, l'expression de ma plus profonde gratitude.

DEDICACES

A ma mère Judith K Siame, pour son amour indéfectible, son soutien et ses encouragements.

A mon père Sunday Siame, d'avoir toujours cru en moi.

À ma sœur Mupelwa F Siame, qui pense que je suis la personne la plus intelligente qu'elle ait jamais rencontrée.

A mon frère Niza Siame, qui me rappelait constamment de donner à ce projet tous mes efforts.

A mes amis proches

Au reste de ma famille ; tantes, oncles et cousins

A l'Université d'AbouBakr Belkaïd Tlemcen ; Je dédie ce travail à être revu et utilisé dans de futurs projets similaires.

Le projet de l'Académie pour le privilège, l'opportunité et l'exposition qu'ils m'ont accordés pour assurer que ce travail était coordonné entre deux universités différentes ; l'Université d'AbouBakr Belkaïd Tlemcen et l'Université de Kwazulu-Natal Durban, Afrique du Sud dans un programme d'échange des étudiants.

Résumé

L'importance des routes en tant que système de transport ne saurait être surestimée car il s'agit du moyen de transport le plus utilisé au monde.

Ce mémoire donne un aperçu de la façon dont les routes de gravier sont conçues et réalisées ainsi que certaines des difficultés rencontrées dans leur entretien.

L'objectif est de concevoir une chaussée en gravier dont les performances ont été renforcées par un agent appelé l'émulsion nano modifiée.

La performance de l'agent sera démontrée à l'aide des expériences en laboratoire telles que le California Bearing Ratio (CBR) et le Pénétrömètre à cône dynamique (PCD) sur un échantillon de sol.

Ensuite, un échantillon du sol de test PCD sera analysé à l'aide du logiciel appelé Recap LVR PCD et modélisé par le logiciel Autodesk Civil 3d.

Mots-clés : Route de gravier, émulsion nano-modifiée, rapport de roulement californien, pénétromètre à cône dynamique, Recap LVR PCD

*

Abstract

The importance of roads as a transport system cannot be overemphasised as it is the most used form of transportation in the world.

This thesis gives an insight on how gravel roads are designed and how they are realised as well as some of the difficulties faced in their maintenance.

The objective is to design a gravel road pavement whose performance has been enhanced by an agent called Nano Modified Emulsion.

The performance of the agent will be demonstrated with the aid of laboratory experiments such as the California Bearing Ratio (CBR) and the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) on a soil sample.

Finally, a sample of the soil from the DCP test will be analysed using software called Recap LVR DCP and a model of a road will be made using software called Autodesk Civil 3d.

Keywords: Gravel road, Nano Modified Emulsion, California Bearing Ratio, Dynamic Cone Penetrometer (DCP) , Recap LVR DCP

ملخص

لا يمكننا المبالغة في أهمية الطرق كنظام نقل لأنها أكثر وسائل النقل استخدامًا في العالم. تقدم هذه المذكرة لمحة عامة عن كيفية تصميم وبناء الطرق المرصوفة بالحصى بالإضافة إلى بعض الصعوبات التي تواجهها خلال الصيانة.

الهدف هو تصميم رصيف من الحصى تم تحسين أدائه بواسطة العامل مستحلب معدل النانو Nano Modified Emulsion

سيتم عرض أداء العامل باستخدام التجارب المخبرية والميدانية مثل نسبة التحمل في كاليفورنيا ومقياس المخروط الديناميكي على عينة من التربة.

أخيرًا، سيتم تحليل عينة من التربة مع العامل باستخدام البرنامج المسمى Recap LVR DCP تقديم التوصيات.

الكلمات المفتاحية: طريق الحصى ، مستحلب معدل النانو ، نسبة لف كاليفورنيا، مقياس اختراق المخروط الديناميكي، LVR DCP

Table des matières

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
ملخص.....	v
Liste de figures	x
Liste de tableaux.....	xi
Liste des annexes.....	xii
Liste des acronymes	xiii
Introduction générale.....	1
La Structure du document	1
Chapitre 1 : Montions théoriques	2
I.1 Introduction	2
I.2 Définition d'une chaussée	2
I.3 Types de chaussées routières.....	2
I.3.1 Chaussées pavées.....	2
I.3.1.1 Chaussée souple	3
I.3.1.2 Chaussée semi-rigide	3
I.3.1.3 Chaussée rigide	4
I.3.1.4 Différences entre les chaussées souples, semi-rigides et rigides.....	5
I.3.2 Route en plastique	5
I.3.3 Chaussées non revêtues	6
I.4 Choix du type de chaussée	7
I.5 Matériaux utilisés dans les chaussées non revêtues	9
I.5.1 Émulsion nano-modifiée (NME).....	9
I.5.2 Le traitement à la chaux.....	10

I.5.3	Le traitement au ciment	11
I.6	Types de chaussées non revêtues	12
I.6.1	La piste en terre	12
I.6.2	La piste améliorée.....	13
I.6.3	La route de gravier.....	13
I.7	Les défauts typiques des chaussées non revêtues.....	14
I.7.1	La poussière.....	14
I.7.2	Le nid-de-poule.....	15
I.7.3	La forme	15
I.7.4	La perte du gravier.....	16
I.7.5	La pierrosite.....	16
I.7.6	La tôle ondulée	17
I.7.7	L'ornièrè	18
I.7.8	La fissure	19
I.7.9	L'érosion.....	19
I.7.10	La glissance	19
I.7.11	L'impassibilité.....	20
I.7.12	Les matériaux en vrac excessifs	20
I.8	Conclusion.....	20
Chapitre 2 : Etude d'une chaussée non revêtue en Afrique du Sud		21
II.1	Introduction	21
II.2	Présentation du projet.....	21
II.3	Essais utilisés dans la conception des chaussées non revêtues	22
II.4	Pénétromètre à cône dynamique (PCD).....	22
II.4.1	Recap LVR DCP	22
II.5	California bearing ratio (CBR).....	24
II.6	Test de perméabilité	25

II.7	Analyse granulométrique	25
II.8	Test de Proctor	26
II.9	Effet du NME sur l'efficacité de la chaussée	27
II.9.1	Effet sur la pénétration	27
II.9.2	Effet sur la résistance et pénétration de l'eau	28
II.9.3	Effet sur la traction	29
II.9.4	Effet sur la compression	30
II.9.5	Effet sur la perméabilité	30
II.10	Interprétations des résultats	32
II.10.1	Épaisseur de couche.....	32
II.10.2	Modélisation par Civil 3d.....	34
II.11	Conclusion.....	36
Chapitre 3: Les Chaussées non revêtues en Algérie		37
III.1	Introduction	37
III.2	Climat de l'Algérie.....	37
III.3	Nature des sols rencontrés au sud d'Algérie	38
III.4	Réseau routier algérien.....	38
III.5	Routes sahariennes	39
III.6	Matériaux utilisés dans les chaussées non revêtues en Algérie	41
III.7	Taches de réalisation des chaussées non revêtues en Algérie.....	42
III.8	L'entretien des chaussées non revêtues en Algérie	43
III.9	Les intervenants dans l'entretien des chaussées non revêtues algériennes	44
III.9.1	Au niveau du central : MTP / DEER.....	44
III.9.2	Au niveau de la wilaya : DTP/SEER.....	44
III.9.3	Au niveau local ou subdivision territoriale.....	45
III.9.3.1	Les Unités d'Intervention sur Piste (UIP).....	45
III.9.3.2	Les Unités d'Intervention de Soutien (UIS)	46

III.10	Avantages des chaussées non revêtues	46
III.11	Inconvénients des chaussées non revêtues	47
III.12	Conclusion	47
	Conclusion générale et perspectives	48
	Références bibliographiques	49
	Annexes	51

Liste de figures

Figure I - 1 : Structure type d'une chaussée souple	3
Figure I - 2 : Structure type d'une chaussée semi-rigide.....	4
Figure I - 3 : Structure type d'une chaussée rigide	4
Figure I - 4 : Route en plastique.....	6
Figure I - 5 : Chaussée non pavée	7
Figure I - 6 : Echantillon du sol et l'émulsion nano modifiée (NME).....	9
Figure I - 7 : Les pistes en terre.....	12
Figure I - 8 : Les pistes améliorées	13
Figure I - 9 : Les routes de gravier	14
Figure I - 10 : Nid-de-poule	15
Figure I - 11 : Couronne de la chaussée	16
Figure I - 12 : Ondulations lâches avec crête non compactée.....	17
Figure I - 13 : Ondulations fixes avec crête compactée	18
Figure II - 1 : Localisation du projet	21
Figure II - 2 : Interface de Recap.....	23
Figure II - 3 : Analyse des résultats par Recap	23
Figure II - 4 : Résultats du test CBR.....	24
Figure II - 5 : Analyse granulométrique.....	26
Figure II - 6 : Comparaison de performance de matériaux traité et non traité.....	27
Figure II - 7 : Comparaison de résultats d'un matériau traité et non traité	28
Figure II - 8 : Échantillon de CBR fragmenté montrant des plaques sèches dans la couche intermédiaire.....	29
Figure II - 9 : Résultats du test de perméabilité	31
Figure II - 10 : Tracé en plan du projet	34
Figure II - 11 : Profil en long du projet.....	34
Figure II - 12 : Profil en travers.....	35
Figure II - 13 : Les fossés adoptés.....	36

Liste de tableaux

Tableau I-1: Matériaux de chaussée courants utilisés en Algérie	5
Tableau II - 1: Test de perméabilité	30
Tableau III - 1 : Réseau routier d'Algérie	39
Tableau III - 2 : Catégories de routes en pourcentages	39
Tableau III - 3 : Etat de routes algériennes	40
Tableau III - 4 : Taches de l'entretien de chaussées non revêtues algériennes	43

Liste des annexes

Annexe I - 1: Le réseau routier algérien.....	51
Annexe I - 2 : Les routes non revêtues du Grand Sud.....	52
Annexe I - 3 : La zone climatique d'Algérie.....	53

Liste des acronymes

AASHTO	American Association of State Highway and Transport Officials
CBR	California Bearing Ratio
CC	Chemins communaux
CCTP	Cahier des clauses technique et particulières
CW	Chemins wilayas
C_t	Compactage induit par le trafic (%)
PCD	Pénétrromètre à cône dynamique
DEER	Direction de l'Exploitation et de l'Entretien Routier
DTP	Direction des Travaux Publics
GL_p	Perte annuelle de gravier prévue (mm)
GNT	Grave non traité
L_d	Durée de vie nominale de la route ou fréquence de rechargement (années)
MTP	Ministère des Travaux Publics
NME	Emulsion nano- modifiée
RC	Résistance à la compression
RN	Routes nationales
RT	Résistance à la traction
SEER	Service de l'Exploitation et de l'Entretien Routier
t	Épaisseur minimale pour la protection du sol de fondation
T	Épaisseur minimale requise pour la protection du sol de fondation (mm)
TJMA	Trafic journalier moyen annuel
TrH20	Recommandations techniques pour les autoroutes dossier 20
UIP	Unités d'Intervention sur Piste
UIS	Unités d'Intervention de Soutien
v/j	Véhicules par jour
W_{eau}	Teneur en eau
$W_{NMEoptimale}$	Teneur en émulsion nano modifiée optimale

Introduction générale

Le transport est une fonction horizontale qui affecte les activités d'un pays grâce au rôle qu'il joue dans les circulations des biens et des services qui contribuent au bien-être économique et social d'un pays. Le déplacement est très important et ça nous aide à faciliter la vie ; il n'y a pas de vie normale sans le déplacement en sécurité.

Ça fait beaucoup d'années depuis qu'on a commencé de construire des routes ; mais s'il y a encore un manque de la maîtrise de la conception, on va continuer d'avoir des accidents sur nos routes.

La plupart des chaussées, telles que les chaussées non revêtues, sont de mauvaise qualité, parce qu'il n'y a pas assez d'analyses de sol qui sont effectuées. D'autres fois, les travaux de maintenance et d'entretien ne sont pas correctement exécutés ; ils ont besoin de beaucoup d'attention.

Les chaussées de mauvaises qualités coutent plus d'argent pour corriger les défauts sur ces routes et la sécurité n'est pas être assurée pour les utilisateurs. Par la suite, la durée de vie du projet sera aussi en question.

Cette étude de chaussées non revêtues a été faite parce que j'ai reçu une bourse de recherche à l'Université de Kwazulu-Natal à Durban en Afrique du Sud pour une durée de 6 mois (juillet 2021 à janvier 2022).

La Structure du document

Le document est constitué de trois chapitres ainsi qu'une introduction générale. Et il est achevé par une conclusion générale.

Le premier chapitre va nous aider à nous familiariser avec les termes utilisés dans le monde des routes, en évoquant principalement les différents types de chaussées.

Dans le chapitre 2, la conception de la chaussée est effectuée de manière d'une étude pratique. Les travaux pratiques sont très nécessaires dans la conception des routes afin de garantir de bons résultats ainsi aider à construire des routes de très bonnes qualités qui remplissent pleinement leurs fonctions de sécurité et de confort.

Ces résultats vont nous servir de guide pour la modélisation d'une route par le logiciel Autodesk Civil 3d.

Par la suite au chapitre 3, nous allons voir les cas des chaussées non revêtues en Algérie qui est un pays des conditions arides et désertiques.

Une attention plus particulière est portée aux routes algériennes et aux routes sahariennes qui sont des chaussées non revêtues du Grand Sud.

Ensuite on va voir comment peut-on entretenir les chaussées non revêtues.

Chapitre 1 : Montions théoriques

I.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons voir les différents types de chaussées routières ainsi que les matériaux utilisés. Le choix du type de structure ainsi que les défauts typiques des chaussées non revêtues seront aussi abordés.

Le secteur des transports est en constante évolution, on va être initiés à une nouvelle technologie qui s'appelle route en plastique qui a l'aptitude de sauver la planète des déchets.

I.2 Définition d'une chaussée

On peut la définir comme une structure géométrique et structurelle ; la surface où circulent les véhicules et toutes les couches de matériaux superposées pour permettre la reprise de la charge respectivement. C'est pour cela, on dit que l'une des fonctions principales d'une chaussée est de répartir la charge induite par le trafic.

I.3 Types de chaussées routières

Il existe deux principaux types de chaussées routières ; chaussées pavées et chaussées non pavées. Ces chaussées facilitent le mouvement des biens et services d'un point à un autre, mêmes si elles sont constituées de matériaux différents.

I.3.1 Chaussées pavées

Une chaussée est une surface dure recouverte de béton ou d'asphalte comme une route. C'est le matériau de surface durable posé sur une zone marquée pour supporter les charges des véhicules ou la circulation piétonnière.

Simplement dit, une chaussée pavée est une structure routière qui a été, soit renforcée avec un hydrocarbure, soit avec du béton.

I.3.1.1 Chaussée souple

Elle est constituée d'une couche de fondation, une couche de base et une couche de surface de matériaux bitumineux imperméable montré en Tableau I - 1.

La couche de fondation peut être constituée de grave non traitée. [15]

Une chaussée souple, comme son nom l'indique, est de nature flexible sous l'action des charges des véhicules. Dans cette structure, les contraintes de charge des roues sont transférées de grain à grain vers les couches inférieures. Voit la Figure I-1.



Figure I - 1 : Structure type d'une chaussée souple

I.3.1.2 Chaussée semi-rigide

Elle est constituée d'une ou deux couches d'assises réalisées avec des graves traitées aux liants hydrauliques comme du ciment et d'une couche de surface en béton bitumineux [7] montré en Tableau I - 1.

Son comportement mécanique est intermédiaire entre celui des chaussées souples et celui des chaussées rigides.

La répartition des charges sur le sol support est bonne mais des contraintes de traction se développent à la base des couches. Voit la Figure I-2.

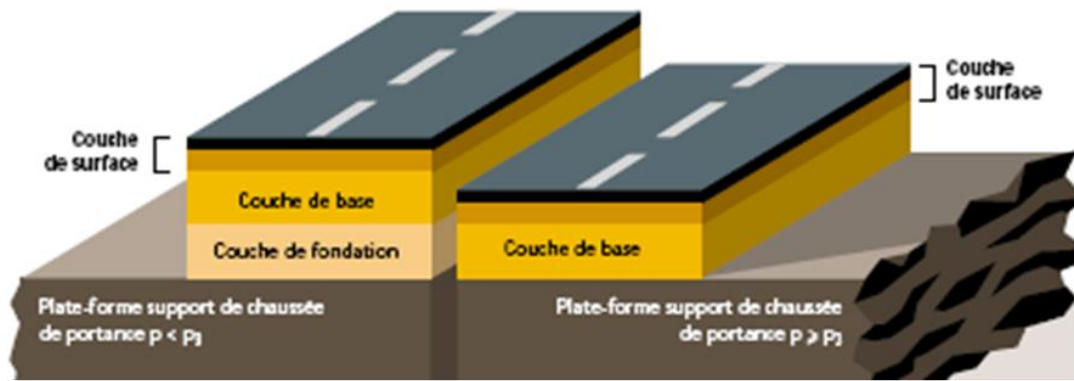


Figure I - 2 : Structure type d'une chaussée semi-rigide

I.3.1.3 Chaussée rigide

Ces ouvrages comportent une dalle de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur, éventuellement recouverte d'une mince couche de roulement de matériaux bitumineux [16] montré en Tableau I - 1.

Les structures rigides mobilisent d'importantes forces très élevées par rapport à celles subies par les structures semi-rigides et se déforment principalement par fissuration.

Pour un trafic important, ces types de chaussées présentent des performances mécaniques très intéressantes, par rapport à d'autres types d'ouvrages. Voit la Figure I-3.

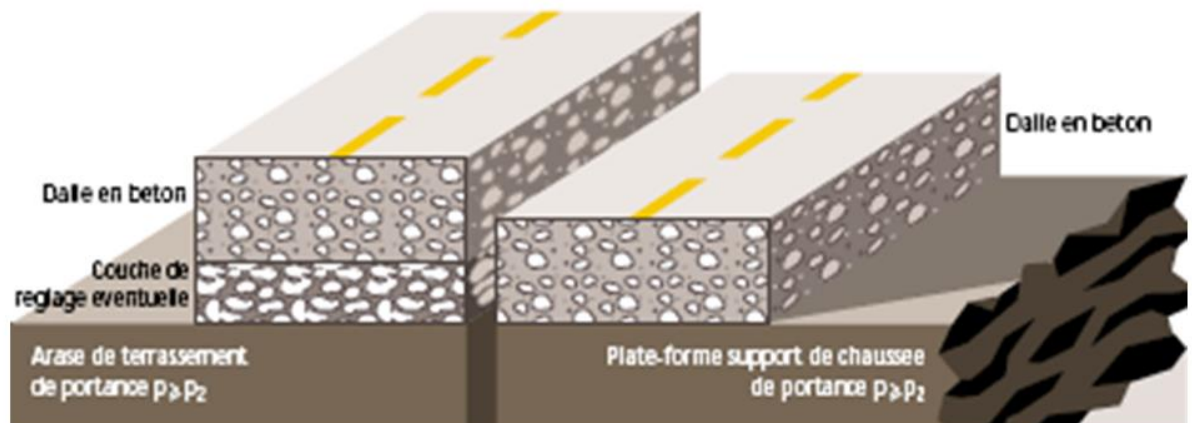


Figure I - 3 : Structure type d'une chaussée rigide

I.3.1.4 Différences entre les chaussées souples, semi-rigides et rigides

Les chaussées souples coutent moins cher que les chaussées semi-rigides et rigides. Les chaussées rigides ont une durée de vie plus longue que les chaussées souples. Les chaussées souples sont construites béton bitumineux tandis que les chaussées rigides ont une couche de roulement du béton. Les chaussées souples sont ouvertes peu de temps après la réalisation mais cela n'est pas le cas pour les chaussées rigides parce qu'il y a un besoin de durcissement du ciment. [17]

Tableau I-1: Matériaux de chaussée courants utilisés en Algérie

Couche	Souple	Semi rigide	Rigide
Surface	Béton bitumineux	Béton bitumineux	Béton
Base	Gravier bitumineux	Gravier bitumineux	Gravier traité
Fondation	GNT	Gravier traité	GNT

I.3.2 Route en plastique

Une technologie appelée la route en plastique est l'avenir des routes destinées à remplacer les chaussées en asphalte alors que les inventeurs réfléchissent à des matériaux qui valorise nos déchets. Il a déjà été mis en œuvre dans la couche de roulement de plus de 700 km de chaussées flexibles indiennes pour aider à réduire l'impact négatif des déchets plastiques dans ce pays. [5]

La route en plastique est composée de 6 à 8 % de plastique, tandis que 92 à 98 % est constituée de bitume. [5]

Les routes en plastique peuvent également être préfabriquées et transportées selon les besoins, réduisant les coûts de construction ainsi que les perturbations de la circulation. Les routes en plastique durent trois fois plus longues, sont quatre fois plus légères et peuvent être réalisées soixante-dix fois plus rapidement qu'une route normale en asphalte.

Autre avantage à ne pas négliger, la route en plastique valorise nos déchets. [6] Voit la Figure I – 4.

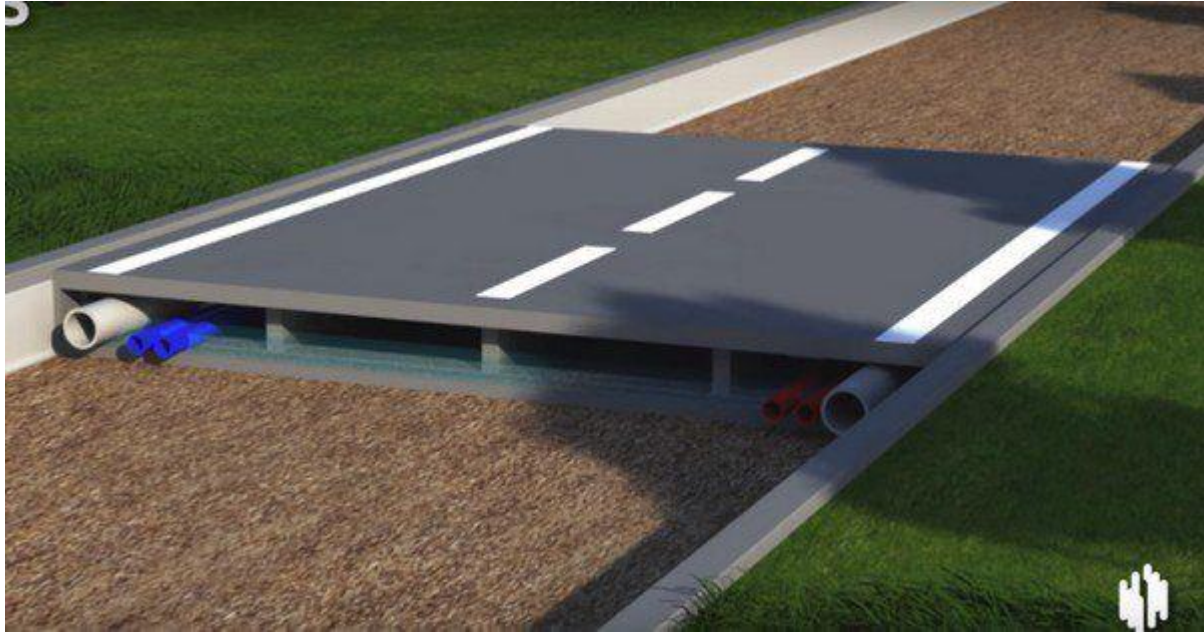


Figure I - 4 : Route en plastique

Il y a un vide à l'intérieur de route rempli des tuyaux dans le cas d'inondation et pour aider l'évacuation de l'eau.

I.3.3 Chaussées non revêtues

Une chaussée non pavée ou non revêtue est une structure routière constituée d'une couche de roulement de matériaux naturels compactés ; une couche de gravier. Ce type de chaussée n'est pas enduit d'un hydrocarbure. Sa couche de roulement convient à un matériau graveleux, à un sable ou une texture pierreuse. Voit la Figure I – 5.

Le laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) a montré que, pour le même investissement, on peut construire quatre fois plus de routes non revêtues de bon niveau de viabilité que de routes revêtues et dix fois plus de kilomètres de route en terre, ce qui est particulièrement important pour les pays à faibles ressources et à faible trafic. [18]

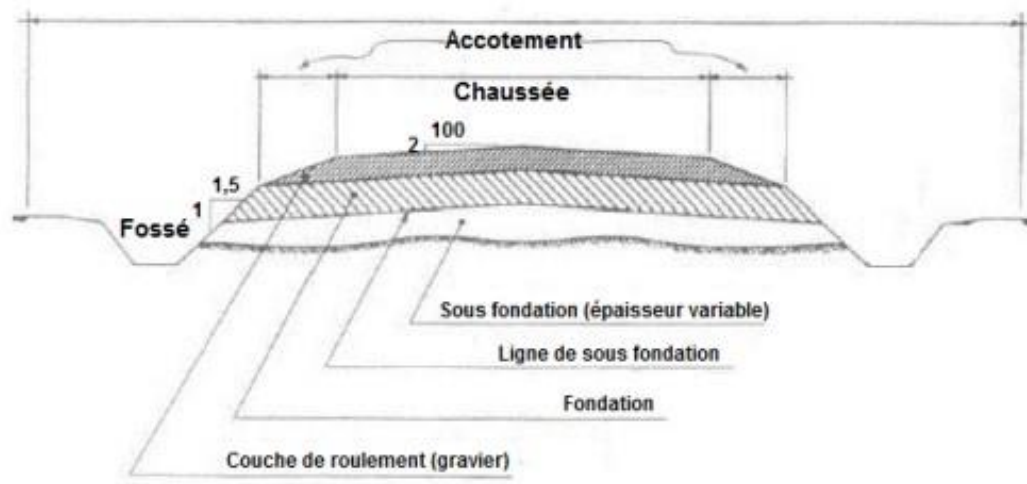


Figure I - 5 : Chaussée non pavée

Le rôle principal de la chaussée est de protéger le sol porteur du trafic et des agressions climatiques.

Le trafic est déterminé par comptage ou estimation future ; un trafic très fort dégrade la couche de roulement.

Les agents extérieurs sont l'action climatique et l'eau. L'eau est l'ennemi numéro un de chaussées non revêtues parce qu'elle prene une partie prépondérante dans la destruction de la chaussée, qu'elles soient ou non combinés au trafic. L'eau est beaucoup plus agressive, elle agit sur la portance, mais érode également la chaussée qu'elle peut détruire en un temps très court.

I.4 Choix du type de chaussée

Ce sont plusieurs types de chaussées qui existent et elles sont tous intégrées et réalisées pour répondre aux différents besoins. On ne peut pas les réaliser tous au même projet ; le choix du type de structure à adopter pour une chaussée dépend des facteurs suivants :

- L'importance du trafic ; s'il s'agit d'un trafic très fort, les chaussées pavées offrent plus des bénéfices. Un trafic fort détruit la surface de roulement plus rapidement qu'un trafic léger. Pour un trafic très léger, les chaussées non pavées offrent plus de bénéfices qu'elles sont compactes par les véhicules qui circulent sur sa surface.

Le comptage routier ; ce volet de gestion s'occupe du comptage des véhicules empruntant un tronçon dans un temps donnés. Elle permet à l'Etat de maîtriser le nombre de véhicule par jour ou par semestre ou trimestriellement utilisant les routes entretenues par lui soit pour maîtriser une gestion ou pour l'utilisation des données pour une future programmation des routes pour leur bitumage.

- La qualité du sol de la plate-forme est déterminée après des tests géotechniques et connaissances de sol in-situ. Si le terrain présente une mauvaise plateforme, on peut changer

le site mais on peut importer de matériaux et aussi ajouter une couche de forme au-dessous de la couche de base. Ensuite la chaussée qui offre plus de bénéfices en fonction de besoins sera adoptée et implémentée.

- Les financements disponibles jouent un grand rôle dans la sélection de type de chaussées. En fonction du budget, on peut passer à une solution beaucoup plus chère, comme une chaussée pavée. Pour un projet de financement limité une chaussée non pavée est la meilleure option.

I.5 Matériaux utilisés dans les chaussées non revêtues

Le matériau premier d'un projet routier est le terrain où cette nouvelle route est posée. Après les connaissances de sol, il y a l'importation des autres matériaux comme du graveleux ou du sable dépendant de la surface requise.

On a aussi, des adjuvants ou des matériaux stabilisants qu'on peut ajouter au terrain naturel. Ces stabilisants ont un rôle de protection contre l'eau et l'action climatique, de renforcement de la chaussée et de conservation du matériau de construction. On peut utiliser la chaux, le ciment ou l'émulsion nano modifiée.

I.5.1 Émulsion nano-modifiée (NME)

Le matériau à l'échelle nanométrique peut être utilisé comme agent stabilisant à la place de la chaux et du ciment. L'émulsion est constituée de bitume, d'eau et d'un agent émulsifiant. Ce produit est maintenant appliqué dans le milieu naturel où il agit comme agent de protection, de renforcement et de conservation du matériau de construction. Elle agit également comme agent adhésif destiné à lier définitivement le bitume au sol et elle peut être utilisée au désert. L'émulsion rend le sol imperméable car l'eau a un impact négatif sur la durabilité des matériaux. [8] Voir la Figure I – 6.



Figure I - 6 : Echantillon du sol et l'émulsion nano modifiée (NME)

L'avantage de l'NME est que c'est une substance organique donc,

- Elle rend un matériau sec.
- L'émulsion augmente la résistance du matériau ; il a été déjà appliqué aux anciens bâtiments d'Angleterre qui restent debout jusqu'à aujourd'hui. Il est plus efficace que la chaux et le ciment.
- Elle protège contre la perte des matériaux fins.

I.5.2 Le traitement à la chaux

Le traitement à la chaux, des chaussées en place permet d'éviter le décapage et le remplacement par des matériaux d'apport. Il faut savoir que le traitement à la chaux s'applique que sur une épaisseur de terrain extrêmement faible.

a) Le principe du traitement des chaussées à la chaux : L'incorporation de la chaux génère immédiatement la formation d'une masse granuleuse, et a pour effet de réduire le taux d'humidité.

b) Actions de la chaux sur le sol (les réactions de la chaux vive)

Réaction avec l'eau (hydratation)

La teneur en eau d'un mélange sol-chaux se trouve abaissée en raison de : -

- L'apport de matériaux secs ; -
- La consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux (chaux vive) ; -
- L'évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation et par l'énergie dégagée. En moyenne, la diminution de la teneur en eau d'un sol traité est de l'ordre $\sim 0,8$ % par % de la chaux. La chaux est fortement basique ; les solutions présentent un pH supérieur à 12.

L'incorporation de la chaux dans un sol argileux, développe une agglomération des fines particules argileuses en éléments plus grossiers et friables : c'est la floculation. [23]

I.5.3 Le traitement au ciment

La stabilisation est une technique de reconstruction qui consiste à décohéser la chaussée puis à la re-malaxer avec un liant (ciment). Cette technique d'injection des sols à partir d'une suspension susceptible de se solidifier dans le temps, en vue d'améliorer les caractéristiques mécaniques ou de diminuer la perméabilité est bien connue depuis plus de 40 ans. Elle a été pratiquée notamment aux U.S.A, puis en Grande -Bretagne et en Allemagne sous le nom de sol ciment.

L'objectif de cette technique permet de :

- Obtenir une aptitude à supporter les charges (portance) durant toute l'année (surface praticable par tout temps),
- Rendre la surface insensible à l'eau, aux intempéries (pluie, gel, dégel) et au ravinement,
- Réaliser une couche liée imperméable aux infiltrations et aux remontées des eaux.

L'avantage du procédé écologique : nous utilisons des matériaux mis en place, ce qui évite l'évacuation en décharge et l'apport d'autres matériaux, et permet de garder l'aspect naturel.

Un procédé durable : Les techniques conventionnelles mises en œuvre actuellement conduisent à un épuisement de ressources naturelles, mais entraînent aussi une pollution de l'environnement du fait des allées et venues des engins de chantier. Grâce au traitement des sols au ciment, nous obtenons des portances et des résistances (à l'érosion et au gel) dans le temps supérieur aux méthodes traditionnelles.

Le ciment semble être un produit stabilisant très efficace. Par contre, il présente un coût élevé et une mise en œuvre particulière. La stabilisation au ciment se développe à partir des liens cimentaires entre l'hydratation des produits à base de silicate de calcium et d'aluminate, et les particules du sol. L'addition de ciment dans les sols argileux réduit la limite de liquidité, l'indice de plasticité, le potentiel de gonflement et augmente la limite de retrait et la résistance au cisaillement. [23]

C'est une procédure très chère.

I.6 Types de chaussées non revêtues

On trouve différents types de routes non revêtues partout dans le monde, cela veut dire dans les pays développés et les pays non développés. Il existe plusieurs kilomètres de routes non revêtues aux Etats-Unis, et aussi dans le grand sud d'Algérie.

La route non revêtue est simplement une piste ou un chemin sur lequel des véhicules circulent donc, c'est une voie de circulation parfaitement distincte et relativement confortable mais dont la couche de roulement n'est pas traitée. [13]

Les routes non revêtues peuvent être divisées en plusieurs catégories allant des pistes en terre aux routes en gravier.

I.6.1 La piste en terre

Ce sont des routes très simples à faible volume qui ne sont pas aménagées. Elles sont accédées par un maximum de 50 v/j. Elles sont généralement utilisées comme routes d'accès locales de terre privée ou routes des petites communautés. Voit la Figure I – 7.



Figure I - 7 : Les pistes en terre

I.6.2 La piste améliorée

Ce sont des routes constituées de matériaux locaux, débarrassées de la végétation et légèrement compactées. Les routes reçoivent une forme qui les aide à former des drains latéraux. Elles sont importantes pour le développement économique ou social d'une région. C'est pourquoi, un entretien périodique doit être effectué. Voit la Figure I – 8.



Figure I - 8 : Les pistes améliorées

I.6.3 La route de gravier

Ces routes ont une couche de conception de matériaux importés qui est généralement construite selon une norme et une largeur spécifiée afin de fournir une surface toutes saisons. L'entretien est effectué de manière plus régulière et systématique.

Cette étude se concentre davantage sur les routes en gravier que sur les pistes, car ce sont généralement des routes non revêtues plus importantes. Voit la Figure I – 9.



Figure I - 9 : Les routes de gravier

I.7 Les défauts typiques des chaussées non revêtues

Les routes non pavées sont affectées par des défauts typiques qu'on va citer ci-dessous.

Ils ont un effet direct sur la rugosité et la sécurité de la route. Les causes et les remèdes, de ces pathologies, sont aussi discutés.

I.7.1 La poussière

C'est un matériau fin libéré de la surface des routes non revêtues sous les roues des véhicules en mouvement.

La poussière est indésirable car elle affecte considérablement la visibilité des utilisateurs de chaussées, ce qui est très dangereux.

Du point de vue économique, la perte de matériau de couche de roulement sous forme de poussière entraîne une modification des propriétés du gravier de la couche de roulement.

Il est nécessaire d'appliquer des palliatifs à la poussière qui peut être à base de bitume ou de goudron afin de lier les particules de poussière et réduire ce phénomène. [1]

I.7.2 Le nid-de-poule

Les nids-de-poule jouent un rôle important dans le développement de la rugosité sur les routes non revêtues et peuvent causer des dommages importants aux véhicules s'ils sont autorisés à se développer et à augmenter en taille.

Ceux qui affectent le plus les véhicules sont ceux de 250 mm à 1500 mm de diamètre avec une profondeur de plus de 50 à 75 mm.

Il peut provenir d'un mauvais drainage ou une plasticité excessive.

Le seul moyen efficace de les réparer est d'agrandir le trou, le remplir excessivement de gravier humide et compacter le trou. [2] Voit la Figure I – 10.



Figure I - 10 : Nid-de-poule

I.7.3 La forme

Une mauvaise forme transversale entraîne généralement un mauvais drainage qui accélère la dégradation totale de la route. Voit la Figure I – 11.

Un entretien de routine pour conserver la couronne de la route est essentiel car une détérioration excessive de la route entraîne des difficultés à obtenir la forme requise. [1]



Figure I - 11 : Couronne de la chaussée

I.7.4 La perte du gravier

L'opération de maintenance la plus coûteuse est le remplacement du matériau perdu car la perte du matériau de la couche de roulement de la surface de la route dans des conditions de circulation et climatiques telles que la pluie et le vent est inévitable.

Tout matériau qui s'effiloche est le plus susceptible d'entraîner une perte élevée de gravier. Le trafic est un autre contributeur majeur à la perte du gravier, il est donc essentiel de choisir un matériau avec un facteur plastique élevé.

L'érosion doit également être réduite autant que possible pour éviter une perte excessive de gravier sur les pentes longitudinales. [1]

I.7.5 La pierrosité

La pierrosité est le pourcentage relatif de matériau dans la route qui est supérieur à une taille maximale recommandée (généralement 37,5 mm) ; un défaut qui peut généralement être contrôlé.

Une route excessivement caillouteuse entraîne des routes cahoteuses inutiles, des difficultés d'entretien de la niveleuse et un mauvais compactage des zones adjacentes aux pierres conduisant à de nid-de-poule et à l'effilochage. Le développement des ondulations ; un matériau meuble épais est nécessaire pour couvrir les pierres. Ceux-ci peuvent causer des dommages importants aux pneus et affecter considérablement la sécurité des routes.

L'utilisation de matériaux tels que les roches de boue qui se détériorent rapidement lors de l'exposition à l'humidité d'un matériau dur à un sol mou à grain fin causant des problèmes importants, doit à tout prix être évitée.

I.7.6 La tôle ondulée

Les ondulations sont l'un des défauts les plus inquiétants des routes non pavées. Ils provoquent une rugosité excessive et une mauvaise stabilité directionnelle du véhicule.

Les ondulations sont formées par le déplacement de matériau résultant de l'action du pneu couplée à la masse et à la vitesse du véhicule. Les ondulations peuvent être lâches ou fixes. Les ondulations lâches sont constituées de crêtes parallèles de matériaux lâches et sablonneux perpendiculaires à la direction de déplacement. Ils s'enlèvent facilement à l'aide d'un couteau.

Voit la Figure I – 12.



Figure I - 12 : Ondulations lâches avec crête non compactée

Les ondulations fixes sont constituées de crêtes parallèles compactées de matériau dur et de sable fin. Les auges sont compactées par la force de la roue reprenant contact avec le sol. Les ondulations fixes doivent être coupées ou même étamées avec la niveleuse avant que le matériau ne soit uniformément étalé. Voit la Figure I – 13.

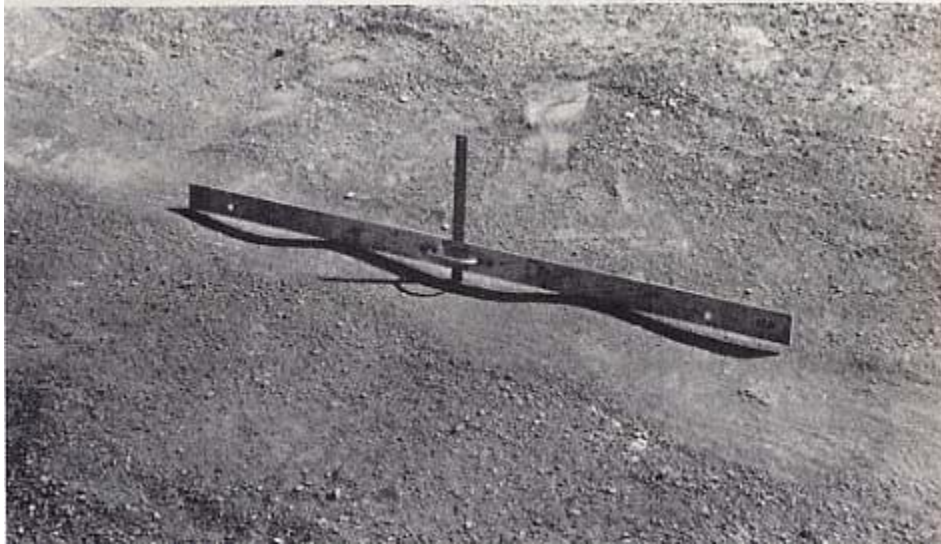


Figure I - 13 : Ondulations fixes avec crête compactée

Seuls les matériaux à faible plasticité s'ondulent de manière significative, en particulier avec une fraction élevée de sable et de gravier fin.

Les ondulations se forment à peine dans une mesure significative pendant la saison des pluies, car le matériau a tendance à être légèrement cohésif à l'état humide car il n'est pas assez mobile pour former des ondulations.

Des inspections où se forment des ondulations doivent être effectuées régulièrement pour éviter que des ondulations lâches ne se fixent.

I.7.7 L'ornière

Les ornières sont définies comme des dépressions parallèles de la surface dans les traces de roues. Ils se forment à la suite d'une déformation de la couche de fondation, d'un compactage de la couche de roulement ou d'une perte de gravier de la couche de roulement.

L'orniérage est généralement insignifiant mais peut poser des problèmes potentiels car ils ont tendance à retenir l'eau de pluie qui adoucit la couche de roulement et permet la déformation sous le trafic.

Le broyage de routine des routes non pavées remplace le gravier dans les ornières et compense simultanément toute déformation qui aurait pu se produire.

I.7.8 La fissure

Les fissures ne font pas partie de la catégorie des problèmes majeurs sur les routes pavées, mais une mauvaise fissuration peut entraîner la formation de nid-de-poule. La fissuration de la couche de roulement pendant la saison sèche est le résultat d'une plasticité trop élevée ou d'un matériau à grain très fin.

Les matériaux qui se fissurent mal ont tendance à devenir glissants lorsqu'ils sont mouillés et doivent être évités. Certaines routes très fissurées d'un diamètre de 100 mm à 150 mm se brisent sous le trafic et forment des nids-de-poule.

I.7.9 L'érosion

L'érosion est la perte de matériau de revêtement causée par l'écoulement de l'eau sur la route. La capacité d'un matériau à résister à l'érosion dépend de la résistance au cisaillement dans les conditions d'écoulement de l'eau. Les matériaux à haute plasticité peuvent résister à l'érosion.

L'érosion peut être évitée en augmentant la résistance au cisaillement du matériau de la couche de roulement et en diminuant les contraintes de cisaillement induites par l'écoulement de l'eau en retardant la vitesse d'écoulement.

I.7.10 La glissance

La glissance de la surface d'une route non pavée est un problème de sécurité important. Par temps humide, la glissance est causée par un matériau trop fin ou plastique dans la couche de roulement.

Par temps sec, les routes non pavées peuvent devenir glissantes si un excès de gravier fin et meuble s'accumule sur la surface de la route sous la circulation.

Le seul remède contre les routes glissantes lorsqu'elles sont mouillées est de graver avec un meilleur gravier.

I.7.11 L'impassibilité

L'objectif principal de l'importation de gravier de couche de roulement lors de la construction d'une route non revêtue est de fournir une surface toutes saisons.

C'est généralement un problème avec les routes en terre où des matériaux in situ sont utilisés. Ainsi, il est généralement recommandé que la résistance élevée du matériau en termes de rapport de roulement californien CBR fournisse une surface praticable dans toutes les conditions ; Valeurs CBR allant de 15 à 95%.

Le cisaillement répété du matériau rendra la route impraticable dans cette zone.

I.7.12 Les matériaux en vrac excessifs

Des matériaux en vrac excessifs sous forme de matériaux non compactés sur la majeure partie de la largeur de la route ou entre les traces de roues entraînent une augmentation des coûts pour les usagers de la route et des conditions de conduite dangereuses. C'est généralement le signe d'un entretien inefficace de la niveleuse.

I.8 Conclusion

La chaussée est un ouvrage plat et imperméable, conçu et dimensionné pour remplir son rôle sur une durée de service minimale fixée au stade de l'aménagement routier.

La chaussée doit protéger le sol porteur des agressions climatiques, de l'eau et répartir la charge induite par les véhicules qui circulent sur sa surface.

Les chaussées non revêtues sont beaucoup moins chères que les chaussées revêtues mais elles sont face à leurs propres problèmes.

Des routes révolutionnaires sont en cours de développement, il s'agit des routes en plastique qui remplissent pleinement leur rôle principal, tout en valorisant nos déchets.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter et effectuer une conception d'une chaussée non revêtue à l'aide de divers modèles expérimentaux et théoriques.

Chapitre 2 : Etude d'une chaussée non revêtue en Afrique du Sud

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons en premier lieu donner la localisation du projet de chaussée non revêtue. Ensuite, les différents essais réalisés avant la construction de la chaussée seront présentés. Ce qui nous mettra de déterminer la capacité portante du sol pour dimensionner l'épaisseur de la chaussée. Les interprétations de ces essais seront données en faisant des comparaisons entre les matériaux non traités et ainsi que ces mêmes matériaux traités cette fois-ci à l'émulsion nano modifiée. Enfin, la modélisation de la chaussée non revêtue en se basant sur les résultats obtenus et les points topographiques du site, est réalisée en se servant du logiciel Autodesk Civil 3d.

II.2 Présentation du projet

Le projet est situé en Afrique du Sud dans la wilaya de Kwazulu-Natal ; l'endroit est à une distance de 1 km, une latitude de $29^{\circ}49'38.21''S$ et une longitude de $30^{\circ}47'33.39''E$. Voit la Figure II – 1.



Figure II - 1 : Localisation du projet

Quelques expériences ont été faites en utilisant un échantillon de sol qui vient de cette région en ajoutant l'NME afin d'améliorer sa performance.

La zone du Giba Gorge Mountain Bike Park se trouve le long de l'autoroute N3 et ne reçoit donc pas de trafic intense par jour. La zone est un parc à vélos, il est donc supposé que la plupart des usagers de la route utiliseraient des véhicules légers pour l'accéder. [3]

On va passer à des essais nécessaires pour connaître la capacité portante du sol, la perméabilité du sol et l'épaisseur de la chaussée avant de réaliser une chaussée non revêtue.

II.3 Essais utilisés dans la conception des chaussées non revêtues

Avant la réalisation d'un projet routier, on doit tout d'abord passer aux tests qui nous aideront à savoir la capacité portante du sol. Après, nous pouvons dimensionner l'épaisseur de la chaussée non revêtue. Il est également important de passer au test de perméabilité pour voir comment peut-on réduire la pénétration de l'eau. En effet, l'eau à elle seule l'aptitude de détruire la chaussée.

Ces tests incluent le Pénétrromètre à cône dynamique (PCD), le California bearing ratio (CBR), le test de Perméabilité, l'Analyse granulométrique et l'essai de Proctor. On a fait les tests de PCD, CBR et Perméabilité, mais pour les restes on n'a que profité de résultats trouvés.

II.4 Pénétrromètre à cône dynamique (PCD)

Le principe est de connaître l'enfoncement dans le sol d'une tige munie d'une pointe cylindre conique en fonction d'une masse en chute libre. [13]

Ce test est utilisé pour déterminer la résistance du sous-sol et d'estimer la capacité portante d'un sol. Ces résultats peuvent être utilisés pour calculer les fondations appropriées en déterminant la pénétration en mm/coup.

II.4.1 Recap LVR DCP

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel ReCAP LVR DCP fourni par le Conseil pour la recherche scientifique et industrielle (CSIR). Recap nous donne la pénétration en mm/coup mais on peut également utiliser Microsoft Excel pour la déterminer. Il est intégré pour les chaussées à faible volume ; qu'il est le cas pour des chaussées non revêtues. Voir la Figure II - 2.

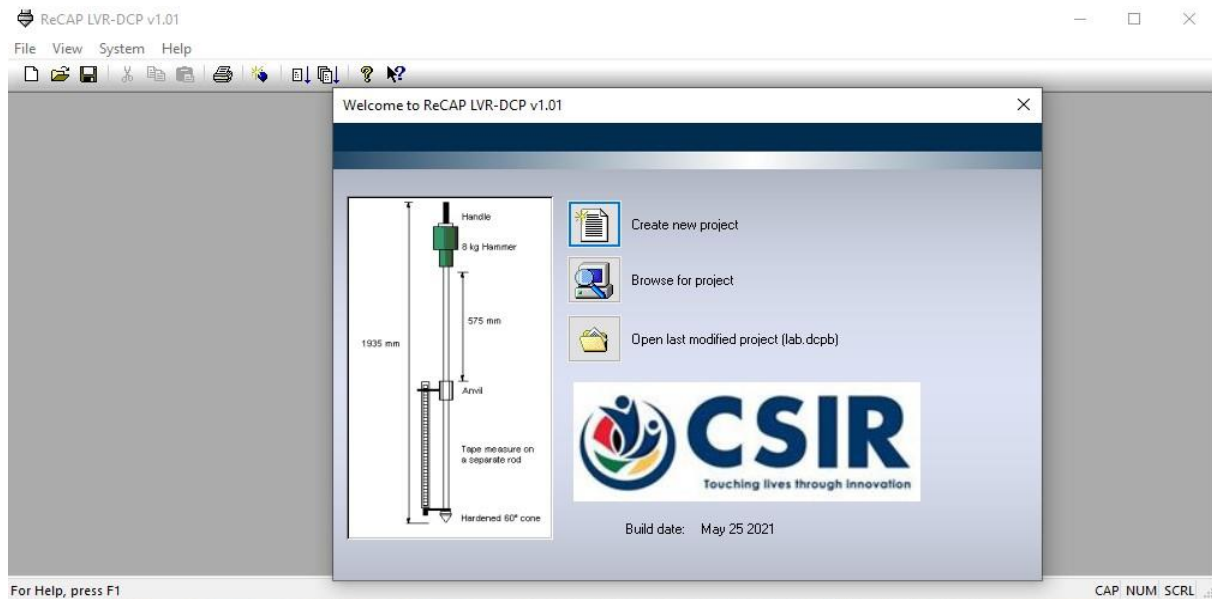


Figure II - 2 : Interface de Recap

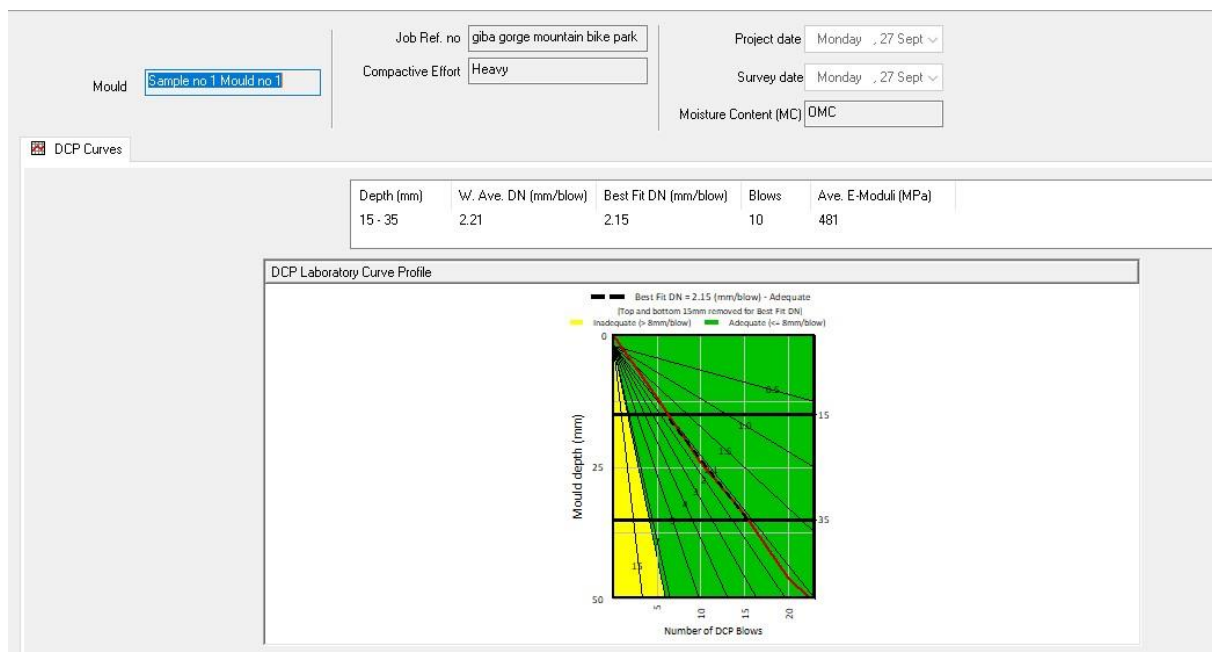


Figure II - 3 : Analyse des résultats par Recap

Le résultat que nous avons présenté est un exemple d'un refus ; après 10 coups, nous n'avons pénétré qu'une couche de 35 mm de profondeur à un taux de pénétration de 2,15 mm/coup. Cela veut dire que le matériau est très résistant. Il s'agit d'un matériau compacté et mit dans l'étuve pour une durée de 48 heures. Montré par la Figure II – 3.

On a gardé une valeur finale de DCP = 1,5 mm/coup.

II.5 California bearing ratio (CBR)

L'essai permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols naturels et de sols compactés dans des remblais et des couches de forme, de fondations et de sous-fondations de routes et aéroports. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement. [14]

Le nombre de coups est varié pour le test de CBR traditionnel à 11 coups, 22 coups et 55 coups par couche. Montré en la Figure II – 4. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau pendant 4 jours.

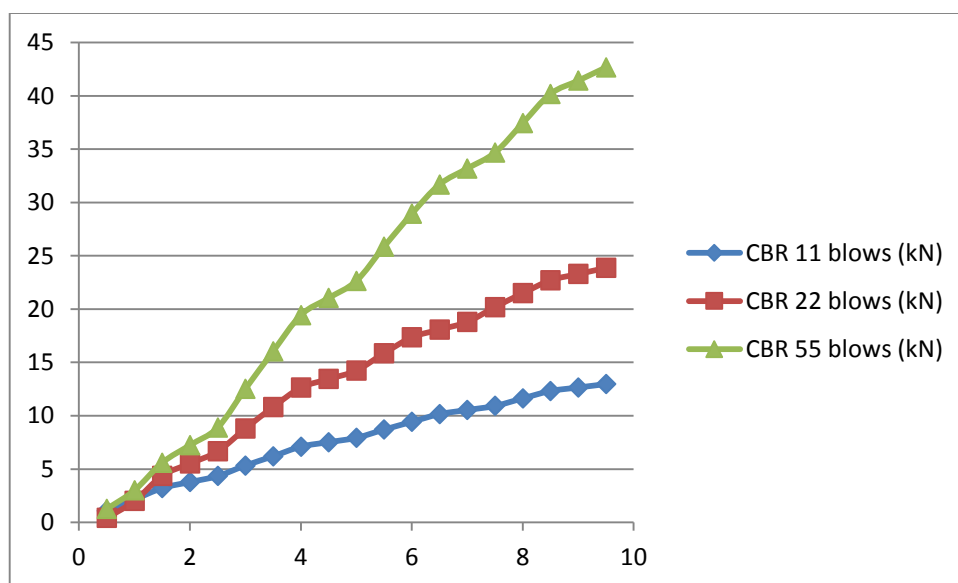


Figure II - 4 : Résultats du test CBR

La valeur CBR est directement proportionnelle au nombre de coups : si on augmente le nombre de coups, la résistance augmente également jusqu'à ce qu'elle atteigne sa limite élastique.

On a gardé une valeur finale de CBR de 45kN donné par l'appareil CBR.

II.6 Test de perméabilité

On a déjà dit que l'eau est l'ennemi numéro un des chaussées non revêtues, donc à l'aide de cette expérience, nous allons voir comment on peut diminuer l'influence de l'eau sur notre échantillon.

Le test a été effectué sur des échantillons compactés, durcis et séchés. Après durcissement rapide des échantillons, ils ont été soumis à une saturation jusqu'à ce qu'un écoulement en régime permanent, à travers les échantillons soit atteint. Par la suite, le test a continué. Il a été observé qu'un temps considérable (environ 5 jours) était nécessaire pour saturer l'échantillon avant qu'un débit constant d'eau à travers l'échantillon puisse être obtenu.

La teneur en eau est exprimée en pourcentage d'eau dans le sol par rapport à sa masse sèche. Elle signifie les diverses propriétés du sol tels que le compactage, la perméabilité et la taille des particules. Ce test prédit également le mouvement de l'eau du sol. [21]

On a remarqué une perméabilité égale à $1 * 10^{-8} \text{ cm/s}$.

II.7 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon de granulats, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille). [20] Voit la Figure II – 5.

Ce test nous aide à déterminer si les fines sont d'argile ou du limon. La couche de gravier qui est la couche de surface d'une chaussée non revêtue est constituée de la pierre, du sable et de fines d'une épaisseur minimale du 100 mm. Ce test est très important pour assurer un bon mélange des agrégats. Des pierres trop grandes posent de problèmes lors d'entretien et le résultat est une surface de roulement rugueuse. Du gravier de bonnes qualités nous donne une bonne surface. L'ajout d'argile améliore la cohésion et à la fin une surface de roulement lisse. Si on ne fait pas cette analyse, on ne peut pas déterminer si c'est un gravier de bonne qualité.

Une chaussée non revêtue remblai d'une bonne qualité de gravier réduit le coût d'entretien. Un bon gravier a une bonne gradation et une bonne plasticité qui le rend facile à compacter.

On n'a gardé que les matériaux inférieures de 100 mm.

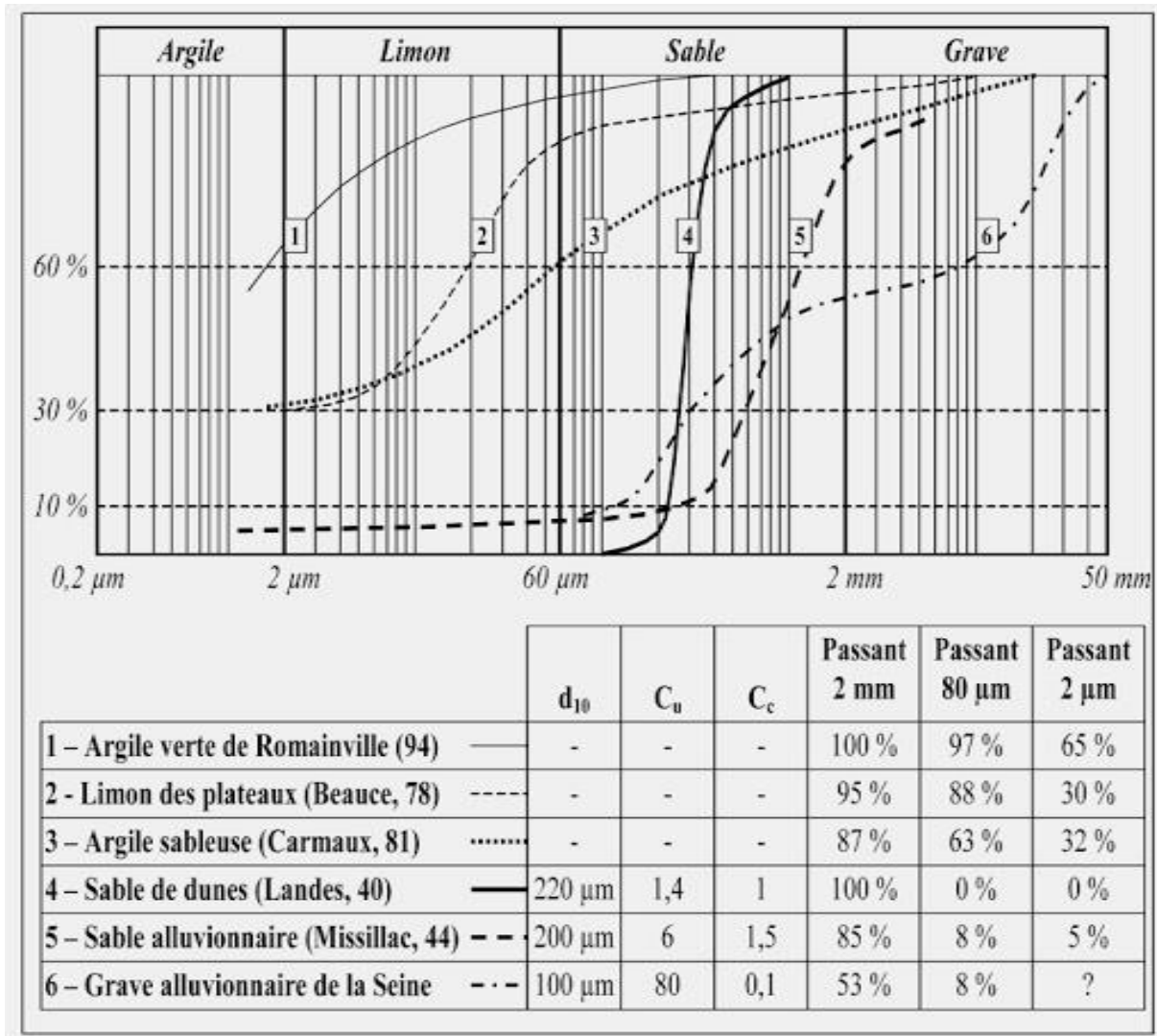


Figure II - 5 : Analyse granulométrique

Ce test détermine la distribution granulométrique du sol depuis la taille du sable grossier jusqu'à la taille de l'argile fine. Les données du test de distribution granulométrique sont utilisées pour déterminer l'aptitude du sol à la construction de routes. [21]

II.8 Essai Proctor

Ce test de compactage du sol est utilisé pour la détermination de la masse de sol sec par mètre cube, lorsque le sol est compacté sur une plage de teneurs en humidité, donnant la densité sèche maximale à une teneur en humidité optimale. Ceci est réalisé par la densification du sol en réduisant les vides d'air.

La densité sèche est maximale à la teneur en eau optimale.

La teneur en eau a été prédéterminée comme 5,8%.

II.9 Effet du NME sur l'efficacité de la chaussée

La teneur en NME optimale est 1,5%.

$$w_{eau} = 5,8\%$$

$$w_{NMEoptimale} = 1,5\%$$

Si on prend un échantillon du sol de 6,5kg :

$$1,5\% * 6,5 = 0,097 \text{ kg de NME ;}$$

$$5,8\% - 1,5\% = 4,3\% \text{ de l'eau}$$

$$4,3\% * 6,5 = 0,279 \text{ kg de l'eau}$$

Enfin on ajoute un mélange de (0,097 kg de NME + 0,279 kg de l'eau) à 6,5kg échantillon du sol.

Nous avons traité nos échantillons avec la stabilisante émulsion nano modifiée (NME) et on a vu son influence en comparant les résultats sur un matériau traité et un matériau non traité. Le NME a montré comment il va améliorer la performance du matériau contre l'action climatique, l'eau et la charge induites par le trafic.

II.9.1 Effet sur la pénétration

Après la détermination de la teneur optimale en NME, des tests ont été réalisés sur le matériau traité en NME. Cela a été fait après durcissement rapide du matériau. Voir la Figure II – 6.

Le test a été également réalisé sur un matériau non stabilisé pour faire des comparaisons.

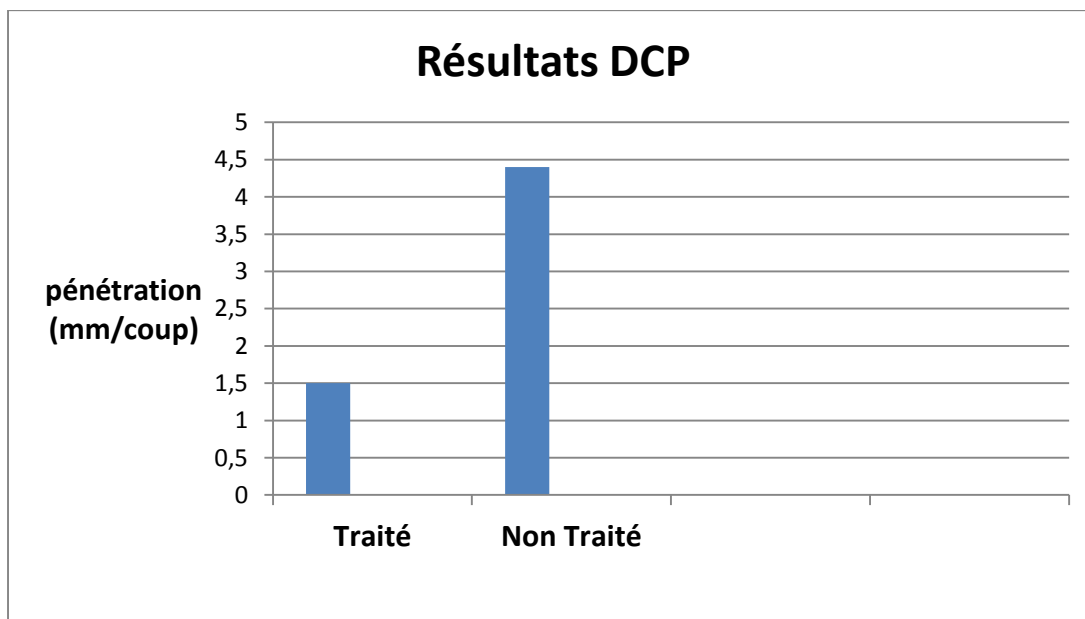


Figure II - 6 : Comparaison de performance de matériaux traité et non traité

Pour un matériau non traité en NME, la moyenne de pénétration est autour de 4,4 mm/coup tandis que pour le matériau traité en NME la moyenne de pénétration n'est que 1,5 mm/coup.

On note que le matériau traité a un taux de pénétration moins élevé, qui permet une construction des routes solides et durables.

II.9.2 Effet sur la résistance et pénétration de l'eau

Des tests CBR ont été menés sur le matériau stabilisé à la teneur optimale en NME. Les résultats à 93 % et 95 % de compactage ModAASHTO ont été comparés au CBR du matériau non stabilisé. Voit la Figure II – 7.

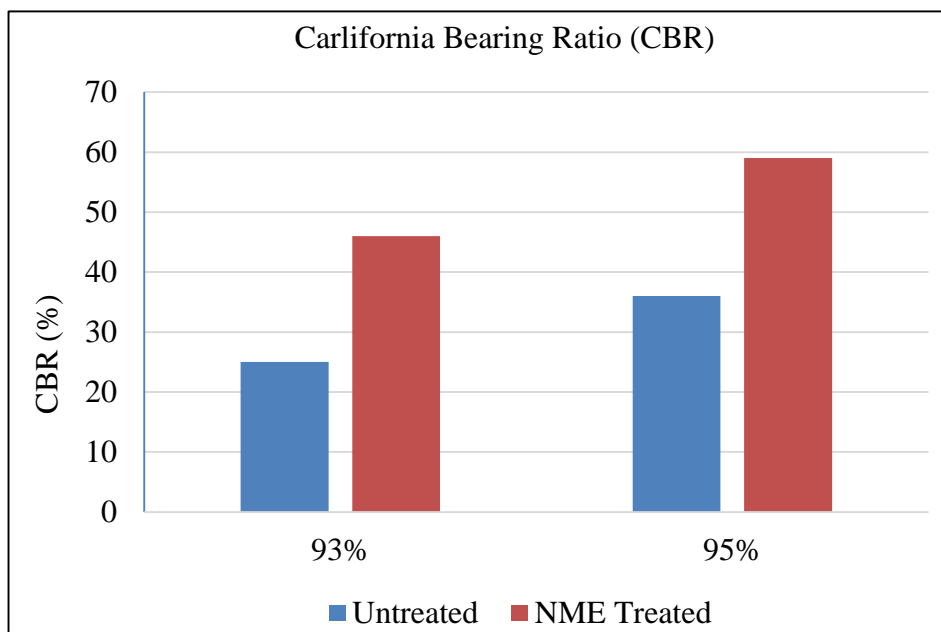


Figure II - 7 : Comparaison de résultats d'un matériau traité et non traité

Les résultats obtenus, après 4 jours de trempage, indiquent des résultats CBR accrus pour le matériau stabilisé NME de 74 % en moyenne à 93 et 95 % de la densité ModAASHTO. Voir la Figure II – 8.



Figure II - 8 : Échantillon de CBR fragmenté montrant des plaques sèches dans la couche intermédiaire

Il a été également remarqué que l'eau resterait à la surface de l'échantillon compacté à 95% ModAASHTO, attestant de sa perméabilité réduite. Les échantillons stabilisés au NME, inspectés après les tests, présentaient des taches sèches dans la couche intermédiaire de l'échantillon. Cela montre la capacité du NME à garder le matériau relativement sec même dans les pires conditions simulées par 4 jours de trempage.

II.9.3 Effet sur la traction

Ces tests ont été effectués sur des échantillons de matériaux durcis. Les tests ont été effectués aux teneurs recommandées en stabilisant de NME.

Des résultats quelque peu variables ont été obtenus pour les résistances des matériaux, secs et mouillés.

Les résultats montrent cependant que la résistance à la traction conservée (RTC), donnée par le rapport matériau mouillé/matériau sec, était relativement élevée, allant de 69 % à plus de 100 %.

Les normes d'essai recommandent que l'eau de trempage soit à une température de 22 à 25 C°. À cette température plus basse, la rigidité du bitume dans l'échantillon stabilisé NME augmentera, entraînant une augmentation des valeurs du matériau mouillé.

II.9.4 Effet sur la compression

Des tests ont été effectués sur des échantillons de matériau durci à la teneur recommandée en stabilisant NME.

Le matériau mouillé est passé de 1,8 MPa à 2,9 MPa. La résistance à la compression conservée (RCC), représentée par le rapport matériau mouillé/matériau sec, a également augmenté jusqu'à 90 %. Le minimum de RCC requis est de 75 % a été atteint à la teneur optimum en NME. C'est donc le facteur limitant qui détermine la teneur optimale en NME. Le RCC efficace à 316% est bien au-dessus du minimum de 100% requis.

II.9.5 Effet sur la perméabilité

On a deux échantillons qui sont mis aux mêmes conditions. Ils ne sont pas exactement les mêmes ; le premier est traité au NME et l'autre est non traité montré dans le Tableau II – 1.

Tableau II - 1: Test de perméabilité

	Matériau non traité	Matériau traité
Nombre d'échantillons	1	1
Total	2	

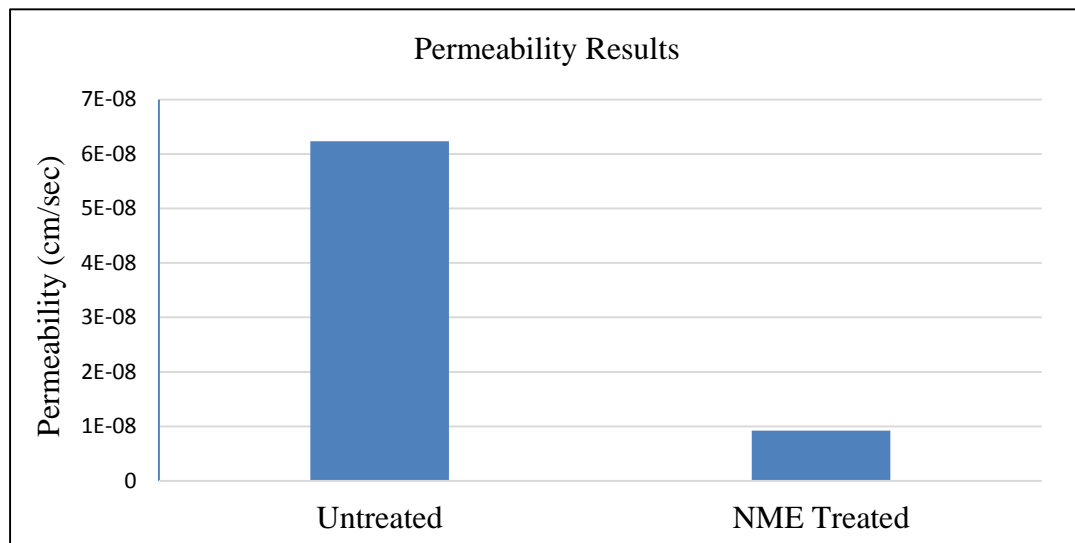


Figure II - 9 : Résultats du test de perméabilité

La perméabilité du matériau traité diminue par rapport à celle du matériau non traité parce qu'il contient du bitume qui est une substance organique ; on sait que l'eau et l'huile ne se mélangent pas. Voir la Figure II – 9.

Les résultats montrent une réduction de 85 % de la perméabilité du matériau traité au NME. Cela montre qu'en plus de repousser l'eau à la surface du sol, le bitume résiduel dans le sol agit également pour fermer les vides dans le matériau, inhibant la libre circulation de l'eau à travers l'échantillon. Ceci est inestimable pour les routes de gravier qui sont particulièrement sensibles aux dégâts d'eau.

II.10 Interprétations des résultats

On peut garder les résultats de nos essais et passer au dimensionnement de la chaussée en suivant un dossier qui s'appelle recommandations techniques pour les autoroutes dossier 20 (TRH20). C'est le guide pour la conception structurelle, la construction et l'entretien des routes non revêtues.

Pour le trafic de :

50 à 200 v/j largeur de route = 8m

> 200 v/j largeur de route = 9m

Ce manuel considère principalement les routes transportant moins de 200 véhicules par jour, dont moins de 60 d'entre elles sont lourdes (essieux de 80 kN), bien qu'une grande partie de la discussion soit applicable aux routes transportant 400 véhicules par jour ou plus.

II.10.1 Épaisseur de couche

Après la réalisation d'un test similaire, la pénétration du DCP est inférieure à 32 mm/coup indiquant que nous adoptons une épaisseur de 300 mm et une résistance CBR de 5%.

L'épaisseur de conception (T en mm) recommandée pour le gravier importé est donc :

$$T = t * \frac{C_t}{100} * GL_p * L_d \quad (2.1)$$

Où ;

C_t = compactage induit par le trafic (%)

GL_p = perte annuelle de gravier prévue (mm)

L_d = durée de vie nominale de la route ou fréquence de rechargement (années)

Afin de déterminer t à partir de l'équation (2.1), un test DCP est effectué.

DCP = 1,5 mm/coup

CBR = 45kN

Par conséquent ;

$t = 50$ mm : épaisseur minimale pour la protection du sol de fondation.

$C_t = 30\%$: compactage induit par le trafic

$GL_p = 11$ mm/an : perte annuelle de gravier

$L_d = 5$ ans : fréquence de rechargement

Application numérique :

$$T = 50 * \frac{30}{100} * 11 * 5 \quad (2.2)$$

T = 825 mm épaisseur de la chaussée

La valeur $T = 825$ mm est majorée à 830 mm pour faciliter la réalisation de la chaussée non revêtue ; avec 300 mm couche de gravier et 530 mm couche de fondation.

II.10.2 Modélisation par Civil 3d

On a passé à une modélisation en utilisant le logiciel Autodesk Civil 3d. On a utilisé les points topographiques pour modéliser un tracé en plan, un profil en long et un profil en travers. Voit la Figure II – 10.

Une conception d'une route bidirectionnelle en gravier est effectuée. Chaque voie est de 3,5 m chacune avec des accotements aux deux extrémités et un bon drainage. L'évacuation de l'eau d'une chaussée est très nécessaire pour conserver la section transversale de la route.

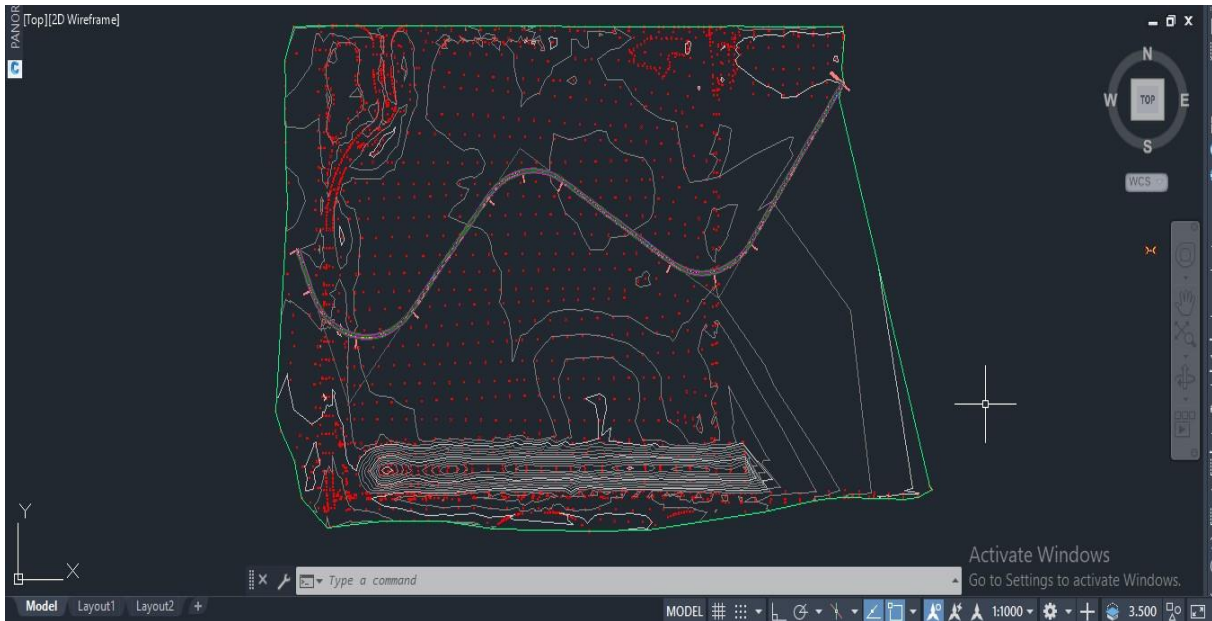


Figure II - 10 : Tracé en plan du projet

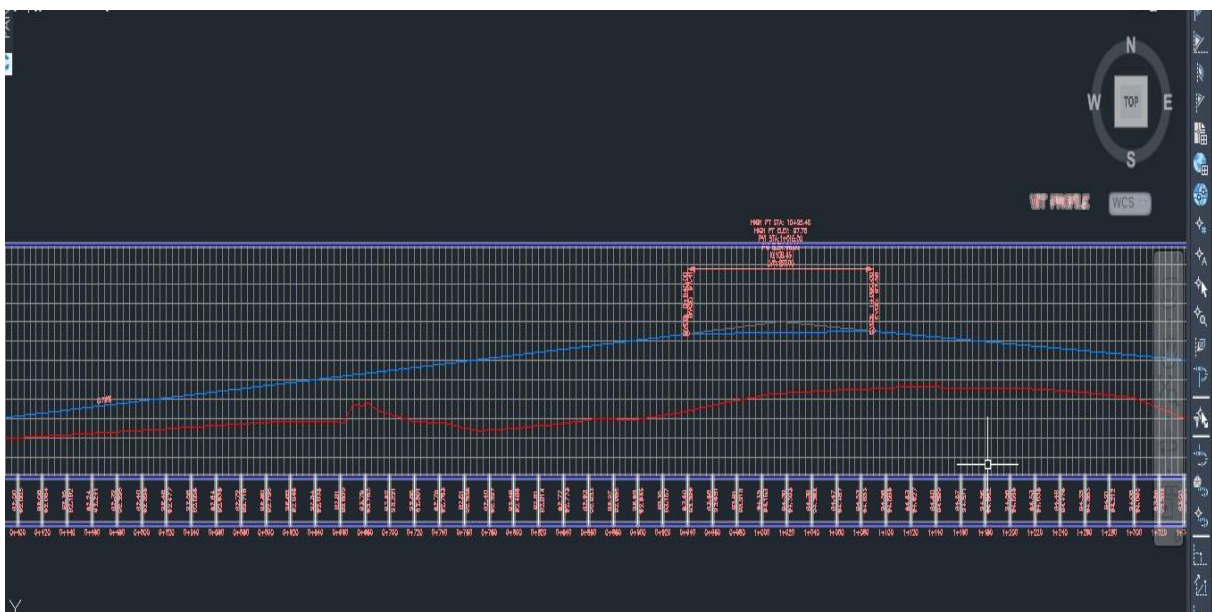


Figure II - 11 : Profil en long du projet

Le profil en long est une coupe verticale par l'axe de la route, développé et représenté sur un plan à une certaine échelle ce n'est pas une projection horizontale. C'est une représentation plane d'une surface à génératrice verticale contenant l'axe de la route. Voit la Figure II – 11.

Les déclivités d'une route sont appelées pente \uparrow ou rampe \downarrow raccordé par des éléments circulaires.

Pour le profil en long on a assuré une dénivelée entre 0,5% à 7% pour rester dans les normes.

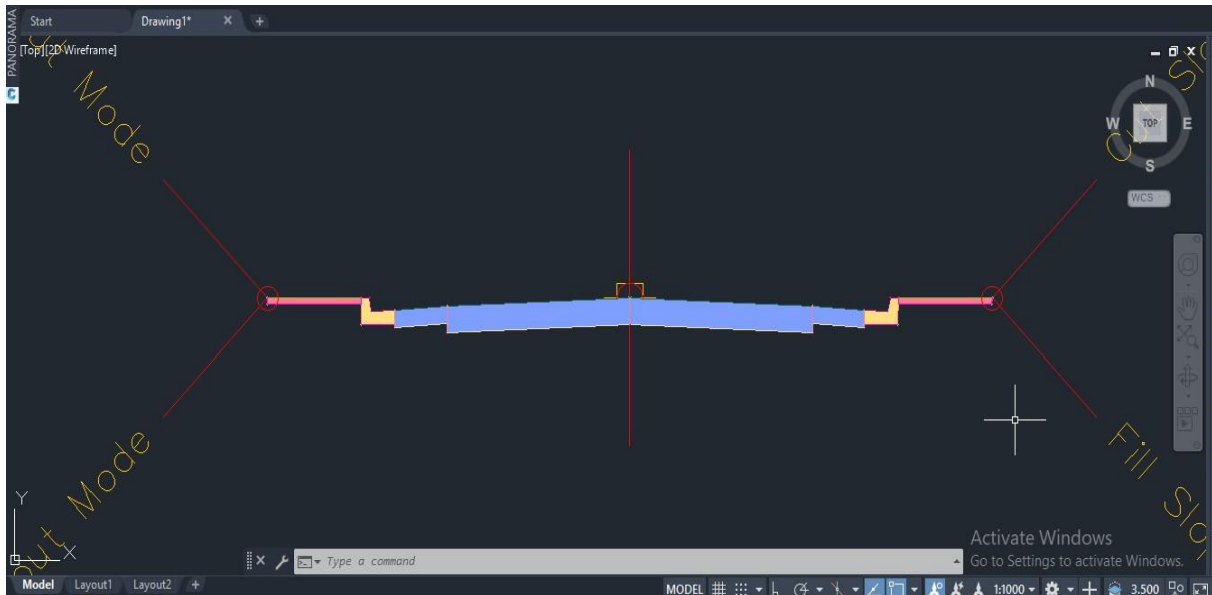


Figure II - 12 : Profil en travers

Le profil en travers est en forme de toit ; constitués de deux versants symétriques par rapport à l'axe de la route. La pente a été prise comme 4% et une largeur de 3,5 m pour les deux voies pour prévenir la stagnation des eaux. L'épaisseur est 0,45 m ; l'épaisseur minimale de couche du gravier est 0,1 m. Voit la Figure II – 12.

Les accotements ont un rôle de très important pour le fonctionnement de la chaussée. D'une part ils servent à consolider les bords de la chaussée. D'autre part, épauler les voies de circulation et servir comme bande d'arrêt d'urgence. Ils servent aussi comme berme de visibilité. L'écoulement des eaux est entravé par la végétation, alors l'accotement reçoit une pente de 6 – 10 % vers l'extérieur de la chaussée. La largeur normale de l'accotement varie entre 0,5 à 1,5 m.

On a choisi une pente de 6% et une largeur de 1 m pour les deux côtés.

Les fossés sont des structures linéaires initialement creusées pour drainer, collecter ou faire circuler des eaux. Pour leurs formes, ils ont une largeur de 1,5 m et une profondeur de 0,5 m. Voit la Figure II – 13 en conformité avec les normes algériennes B40.

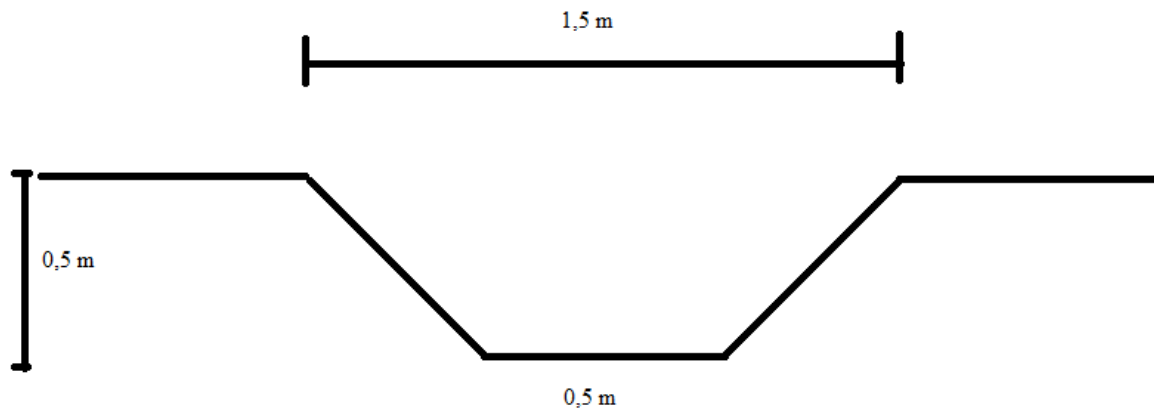


Figure II - 13 : Les fossés adoptés

II.11 Conclusion

Nous remarquons que les performances du matériau ont été améliorées après l'ajout de l'émulsion nano-modifiée (NME). Notre matériau était plus résistant observé à partir des expériences de compression et de traction et sa teneur en eau a été réduite suite aux résultats des tests de perméabilité. Par l'analyse granulométrique on a pu choisir des graviers de bonne qualité.

L'agent peut donc être appliqué sur le sol de n'importe quel site donné, y compris le sol désertique et aride, afin d'améliorer ses performances, ce qui se traduit par une chaussée non revêtue plus solide et durable.

Les résultats trouvés des expériences réalisées nous ont servi pour modéliser la route avec le logiciel Autodesk Civil 3d.

Chapitre 3: Les Chaussées non revêtues en Algérie

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on va voir le cas de chaussées non revêtues, le climat et la nature des sols en Algérie particulièrement au désert du Sahara. Les avantages et les inconvénients des revêtements routiers non revêtus seront également mis en évidence. Enfin, nous allons aborder comment les chaussées non revêtues sont entretenues en Algérie et voir les différents intervenants concernés.

La plupart de la terre algérienne est désertique allant à 90% de la superficie totale au sud du plus grand pays africain.

Même que l'environnement au sud d'Algérie est désertique et aride, on a une population d'environ 500 000 habitants qui doivent se déplacer nécessitant les chaussées non revêtues à cause du faible trafic.

III.2 Climat de l'Algérie

Le Sud Algérien est caractérisé par un climat généralement sec, aride et très chaud dont la température moyenne à l'ombre est supérieure à 40°C. On note aussi la rareté et l'irrégularité des pluies, la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 50mm. Par ailleurs, les crues sont rares mais instantanées et brutales, les vents de sable sont très fréquents, ils se manifestent souvent sur une grande partie du Sahara.

La faible pluviométrie du Sud et par conséquent, la faible teneur en eau des sols en place permet l'utilisation de nombreux matériaux dont l'indice de plasticité est élevé. De ce fait, toute action dirigée vers l'entretien ou la réhabilitation des pistes sahariennes comprend l'utilisation de matériaux locaux, en mettant à profit leur cohésion naturelle. [Annexe 3]

III.3 Nature des sols rencontrés au sud d'Algérie

1. Les hamadas sont de plateaux rocailleux rencontrés dans les régions désertiques telles que le Sahara. Elle est le plus souvent composée de calcaires lacustres ou de croûtes calcaires récentes. Ils peuvent constituer d'excellentes couches de base à condition de les mélanger à des matériaux ayant une bonne cohésion. [22]
2. Les ergs sont des amas de dunes de sable. Les pistes évitent en général le franchissement de telles zones. Néanmoins, la proportion de sable éolien dans ces sols est suffisamment élevée pour offrir une grande résistance au roulement.
3. Les sebkhas sont des zones de dépressions, généralement inondables, où s'amassent les eaux des rares pluies. Ces eaux ne s'éliminent que par infiltration et évaporation, laissant une surface unie de matériaux sédimentaires très cohésifs. Ces zones sont très favorables à la circulation et constituent des couloirs préférentiels pour les pistes. Toutefois, il faut les éviter en période de pluies.
4. Les chotts sont des dépressions où l'eau persiste toute l'année. Les sols de ces dépressions sont généralement composés de 4/5 d'insoluble et de 1/5 de sulfates, carbonate et chlorures. Quand elles ne sont pas submergées, ces zones offrent de très bonnes conditions de roulage.
5. Les lits d'oueds sont rencontrés au désert du Sahara. Les matériaux rencontrés sont des sables plus ou moins limoneux et très souvent des gros sables mélangés à des graviers. Lorsque les pluies sont faibles, ou lorsque le relief l'impose, la piste emprunte ces lits d'oueds. Les conditions de circulation sont généralement bonnes. La formation de tôle ondulée, dans ce type de sol, est très répandue, selon la nature du sol.
6. Les falaises se trouvent dans la partie nord du Sahara où il y a une succession de plateaux d'âges géologiques voisins. La piste rencontrera donc très souvent l'obstacle offert par le franchissement d'une falaise. Les dénivellations sont très variables de 20 m à 200 m.
7. Les zones rocheuses sont rencontrées très rarement. Les sections des pistes qui les traversent ont, en général, une bonne portance.

III.4 Réseau routier algérien

Situé à l'extrême nord du continent africain, l'Algérie est le pays le plus grand en Afrique avec une superficie de 2,382 millions de km². Il se divise en deux zones géographiques. La partie nord est entre la côte méditerranéenne et l'Atlas saharien. La partie sud est le désert du Sahara, qui couvre près de 90% de la superficie totale du pays.

Le transport routier est le mode le plus utilisé aussi bien pour le transport des voyageurs que des marchandises. Ce mode a connu un réel essor depuis sa libéralisation en 1988, d'où la nécessité d'une adaptation des infrastructures routières. 60% des routes Algériennes ont une

largeur supérieure ou égale à 7 m conçues totalement en structure souple. [Annexe 1] Voit le Tableau III – 1.

Tableau III - 1 : Réseau routier d'Algérie

Types de routes	Revêtue	Non revêtue	Total	Taux
RN	24 436	3 720	28 156	26%
CW	21 439	2 367	23 806	21,98%
CC	32 008	24 332	56 340	52,02%
Total	77 883	30 419	108 302	/

III.5 Routes sahariennes

Le grand Sud Algérien comprend plus 12500 km de routes revêtues et plus de 6000 km de pistes [11]. Les distances très grandes entre les agglomérations (supérieures à 500 km), la faiblesse des ressources financières et l'absence de moyens matériels rendent l'entretien très aléatoire. C'est ainsi par exemple que la route Transsaharienne se trouve dans un mauvais état entre Ain Salah et Tamanrasset alors que ce projet a des ambitions internationales. [Annexe 2]

Tableau III - 2 : Catégories de routes en pourcentages

Types de routes	Revêtue	Non revêtue
RN	87%	13%
CW	90%	10%
CC	57%	43%

Il y a un réel besoin de détermination et de définition d'une stratégie d'entretien. Voit le Tableau III – 3.

Quels que soient les moyens déployés par les pouvoirs publics, il apparaît plus que souhaitable d'attirer et de fixer des entreprises de métier par des contrats pluriannuels consistants quitte à regrouper les besoins de plusieurs wilayas pour en faire un programme homogène de région. Cette approche mérite d'être étudiée pour sortir de la situation qui a prévalu jusqu'à ce jour. Voit le Tableau III – 2.

Tableau III - 3 : Etat de routes algériennes

Etat	Bon	Moyen	Mauvais
Distance (km)	31 710	25 585	20 589
Taux	41%	33%	26%

La région du Grand sud est désertique et aride, dont la densité démographique ne dépasse pas 01 habitant/km avec une population d'environ 500 000 habitants, soit moins de 02 % de la population du pays.

Les pistes Sahariennes se distinguent par un très faible trafic constitué essentiellement de véhicules légers tout terrain, de camions légers et de camions lourds. Le plus important TJMA (trafic journalier moyen annuel) est de 97 v/j, enregistré dans la région de Bordj Badji Mokhtar sur la route nationale N° 06 dans la Wilaya d'Adrar.

III.6 Matériaux utilisés dans les chaussées non revêtues en Algérie

La pluviométrie moyenne annuelle d'Algérie est environ 50 mm. De ce fait, toute action dirigée vers l'entretien ou la réhabilitation des pistes sahariennes comprend l'utilisation de matériaux locaux, en mettant à profit leur cohésion naturelle. La gamme des matériaux utilisable est très large, dont les grandes classes sont :

- Les matériaux gypseux se présentent sous divers aspects en fonction de leur composition physico-chimique (les gypses micro cristallisés, les sables gypseux, les gypseux calcaires, les gypses à micro cristallisation), ils sont sensibles à l'imbibition, mais ce problème ne se pose pas au grand sud du pays.
- Les matériaux de Reg sont très intéressants par le squelette qu'ils procurent au corps de chaussée mais ils ne peuvent être utilisés seuls car ils n'ont aucune cohésion. Il faut les mélanger avec d'autres matériaux.
- Les sables sont des matériaux à éviter, vu qu'il y a absence totale de cohésion ; ils ont les grands grains.
- Les argiles et les marnes sont des matériaux très répandus au Sahara. Vu la faiblesse de la pluviométrie, ces matériaux peuvent être utilisés sans problème. Ils ont donné d'excellents résultats sur les chaussées non revêtues, toutefois, deux précautions sont à apprendre :
 - Ne pas trop les humidifier durant la mise en œuvre.
 - Faire attention avant de s'engager sur ces tronçons pendant ou après une averse de pluie.
- Les arènes granitiques proviennent de la décomposition du granite par la dégradation du feldspath. Ces matériaux, dont l'indice de plasticité varie de 10 à 15 %, possèdent une bonne cohésion et un grand angle de frottement, ils sont abondants dans le Hoggar et le Tassili.

III.7 Taches de réalisation des chaussées non revêtues en Algérie

Lors de l'intervention des entreprises sur les routes en terres, différentes tâches sont spécifiées dans le contrat plus particulièrement dans le CCTP (Cahier des Clauses Techniques et Particulières). Ces tâches sont généralement similaires pour tous les travaux concernant les routes en terre avec des variances au niveau des quantitatifs des travaux qu'il s'agisse de l'entretien ou de la réhabilitation. Le CCTP définit un certain nombre de prescriptions pour les travaux et les matériaux utilisés tels que (le CBR, granulométrie, IP, teneur en eau...). Ces prescriptions sont en général normatives et identiques pour tout le territoire. Ce qui, normalement doit tenir compte de la diversité des matériaux et de leur disponibilité sur le terrain.

Les principales tâches sont les suivantes :

- Reprofilage lourd : cette opération consiste à effacer les déformations de la couche de roulement, quelles qu'elles soient (tôle ondulée, flaches, ornières, ravines etc....)
- Reprofilage léger : consiste à effacer à l'aide d'une niveleuse les déformations de la couche de roulement d'amplitude inférieure à 5cm telles qu'ornières, flaches, tôle ondulée etc.
- Rechargement ponctuel et rechargement généralisé : consiste à rapporter les matériaux sélectionnés sur la chaussée existante dans les zones où celle-ci présente des défauts d'épaisseur ou de niveau par usure.
- Curage des ouvrages : consiste en l'élimination des branchages ou autres matériaux obstruant les têtes amont et aval des ouvrages.
- Réfection localisée de chaussée : c'est la reconstitution de la chaussée à son profil initial dans des zones de bourbiers, de matériaux pulvérulents ou d'ornières profondes, limitées à quelques dizaines de mètres de long sur toute la largeur de la chaussée. D'autres travaux de moindre importance sont aussi réalisés : Aménagement des fossés longitudinaux et transversaux, travaux de renforcement de l'assainissement.

III.8 L'entretien des chaussées non revêtues en Algérie

L'entretien courant est un ensemble de petits travaux réalisés tout au long de l'année. Il concerne l'ensemble des tâches élémentaires entreprises régulièrement sur toutes de la chaussée. N'importe quel type de chaussée a besoin d'un entretien régulier mais les horaires diffèrent dépendant sur le type de chaussée. Il s'agit des travaux partiels de remise en état de sections de routes présentant, d'une année à une autre, des dégradations pouvant être dues à des accidents ou à des faiblesses localisées de la structure ne mettant pas en péril l'ouvrage. Il doit être réalisé régulièrement tous les ans. La durée de vie pour une chaussée non revêtue est de 5 ans. Voit le Tableau III – 4.

Tableau III - 4 : Taches de l'entretien de chaussées non revêtues algériennes

Chaussées non revêtues
<ul style="list-style-type: none">• Bouchage des nids de poule• Reprofilage, reprise des affaissements• Dégagement des fosses de tout dépôt• Evacuation des obstacles déposés sur la piste• Amélioration du drainage et réfection de partie d'ouvrage• Renouvellement de panneau, balise, borne• Ouverture de saignée• Réparations accessoires de sécurité• Nettoyage panneau de signalisation• Désensablement

III.9 Les intervenants dans l'entretien des chaussées non revêtues algériennes

La prise en charge de l'entretien se fait par trois niveaux différents qui se résument comme suit :

Niveau Central : Ministère des Travaux Publics (MTP) / Direction de l'Exploitation et de l'Entretien Routier (DEER)

Niveau Wilaya : Direction des Travaux Publics (DTP) / Service d'Exploitation et Entretien Routier (SEER).

Niveau Local ou Subdivision territoriale

III.9.1 Au niveau du central : MTP / DEER

- Définir la stratégie globale d'entretien,
- Arrêter le budget National d'entretien,
- Vérifier et approuver les programmes d'entretien proposés par la DTP,
- Répartir le Budget d'entretien par Wilaya,
- Faire un suivi physique et financier de l'exécution des programmes arrêtés.

III.9.2 Au niveau de la wilaya : DTP/SEER

- Définir la demande en matière d'entretien,
- Planifier l'exécution de l'entretien,
- Superviser les travaux de l'entretien,
- Faire un suivi des coûts,
- Suivi de l'exécution du budget

III.9.3 Au niveau local ou subdivision territoriale

L'exécution des tâches d'entretien revient à la subdivision, elle doit superviser l'ensemble des travaux exécutés (travaux réalisés par la régie ou par l'entreprise) sur son territoire. Le subdivisionnaire doit être en possession de toutes les informations de son réseau. Ces informations lui parviennent régulièrement des UIP et ils sont confirmés par les visites périodiques de ses techniciens et de ceux de la DTP. Les UIP (unité d'intervention sur piste) et UIS (unité d'intervention de soutien) sont les moyens d'intervention de la subdivision.

III.9.3.1 Les Unités d'Intervention sur Piste (UIP)

Les UIP doivent être implantées le plus près possible d'un centre de vie ou tout au moins à proximité d'un point d'eau, pour minimiser les déplacements. Ces unités interviennent au moyen d'équipes volantes capables de travailler et de séjourner plusieurs jours à quelques dizaines de kilomètres du point d'attache principal de l'UIP, ils assureront l'entretien d'un réseau de pistes dont le linéaire varie entre 150km à 200 km. Chaque UIP disposera :

- D'une équipe (raclage de la tôle ondulée),
- D'une équipe (tache ponctuelle) comme rechargement ponctuel, balisage, etc.....
- Une équipe de désensablement.

Pour maintenir le réseau des pistes, elles doivent :

- Faire des visites régulières sur la totalité de leur réseau (minimum 1 fois /semaine),
- Réaliser les travaux d'entretien courant,
- Etablir des comptes- rendus et bilans sur de leurs activités,
- Transmettre régulièrement à leur hiérarchie un rapport sur l'état du réseau,
- Faire des propositions d'intervention des échelons (UIP, entreprise....),
- Participation à la programmation.

III.9.3.2 Les Unités d'Intervention de Soutien (UIS)

Les UIS interviennent sur un linéaire de 500 à 600 km de pistes, leur matériel doit être présent en permanence dans le champ d'action des UIP qui leur sont rattachées, pour réaliser certaines tâches spécifiques (exemple : réfection d'un passage d'oued).

Le rôle principal des UIP est de renforcer les UIP par certains matériels dont elles ne disposent. Les objectifs recherchés par les UIS doivent se limiter aux aspects suivants :

- Apporter aux UIP la capacité à assurer certaines tâches qu'elles sont incapables d'assurer avec le matériel dont elles disposent (gerbage des matériaux, remise en état des passages d'oued.....)
- Accroître temporairement les moyens des UIP

III.10 Avantages des chaussées non revêtues

Les chaussées routières non revêtues sont d'abord plus économiques que les chaussées routières revêtues.

Pour la pose d'un revêtement routier à surface bitumineuse ; le bitume doit être coulé à une température relativement élevée car la viscosité du bitume est faible, il faut donc plus d'énergie alors que pour une route non revêtue, une émulsion de bitume comme le NME peut être appliqué à une température normale et ce sera toujours aussi efficace. Cela signifie que les routes non revêtues sont plus faciles à réaliser.

La quantité d'émulsion de bitume nécessaire pour un tronçon routier donné est mille fois moindre par rapport à la quantité nécessaire pour le même tronçon routier si la route est une chaussée non revêtue. Par exemple, 1 litre de nano-silane pourrait facilement avoir la même zone de couverture d'environ 1000 litres de bitume. [13]

On ne saurait trop insister sur le compactage des chaussées routières, car il s'agit de l'une des phases les plus importantes de la réalisation des routes. Même pour les routes pavées, si le compactage n'est pas fait correctement, aucune quantité de la couche de surface ne peut résoudre le problème. Sur les routes non pavées, la surface de la route se compacte et devient plus résistante avec le temps. Il a un effet cumulatif, y compris lorsque on ajoute périodiquement plus de produits sur une base de maintenance. [14]

Le temps nécessaire pour construire une route goudronnée varie de 2 à 3 ans ou plus selon l'importance de la route, l'équipement utilisé et les installations d'autres éléments tels que le drainage. Alors que pour une route de gravier, cela peut prendre jusqu'à quelques mois, mais il faut généralement moins d'un an pour que toute une force de route prenne vie.

III.11 Inconvénients des chaussées non revêtues

Les routes de gravier peuvent se dégrader beaucoup plus rapidement que les routes pavées car elles sont plus fragiles sans revêtement d'asphalte sur la surface. [9]

Leur entretien nécessite un nivellement régulier, un gravillonnage avec plus de matériel et d'autres activités d'entretien, ainsi qu'un contrôle de la poussière.

De plus, les routes de gravier se détériorent lorsque les fines, ou les petites particules de poussière, quittent la surface de la route en raison du vent et de la circulation en mouvement qui les emportent. Cela crée les défauts cités précédemment au chapitre 1, tels que le nid-de-poule, la poussière et bien d'autres problèmes. [14]

III.12 Conclusion

Les milliers de kilomètres de chaussées non revêtues existent en Algérie juste comme les autres pays malgré qu'elles soient mal entretenues particulièrement dans le sud du pays où se trouve le désert Saharien.

Les chaussées non revêtues ont leurs avantages et leurs inconvénients, mais elles offrent une autre alternative là où une chaussée revêtue n'est pas nécessaire. Les conditions climatiques et géographiques entre l'Algérie et l'Afrique du Sud sont très différentes mais ils sont quand même des choses similaires et on peut donc adopter et mettre en œuvre certains processus.

Le trafic routier est plus faible sur les chaussées non revêtues que les chaussées revêtues, mais ceci n'empêche qu'un entretien régulier doit être pratiqué.

Conclusion générale et perspectives

L'objectif de la conception de la chaussée non revêtue est de fournir une structure économique, qui assure la sécurité, le confort et minimise le temps passé pour se déplacer d'un point à un autre.

L'application de l'émulsion nano-modifiée à notre échantillon de sol a prouvé que les performances des matériaux peuvent être améliorées, ce qui peut permettre d'assurer la sécurité et le confort des routes de gravier.

Il existe un certain nombre de chaussées non revêtues dans le Grand Sud de l'Algérie, mais elles sont mal entretenues. Donc, un entretien régulier peut être mis en œuvre et ces routes peuvent être introduites dans les autres régions du pays car elles sont effectives et faciles à construire.

Ceci dit, même si un entretien régulier soit assuré, nous avons une bonne surface et un bon drainage ; une chaussée non revêtue ne fonctionne pas comme une chaussée revêtue. Si le volume de trafic est très fort, la surface dégradera rapidement, donc ce type de chaussées est souhaitable pour des routes à faible trafic.

Lors de la réalisation de ce projet, nous avons rencontré ces difficultés :

- Le projet étudié étant réel en voie de changement de sa nature. En effet, il est en cours de transformation de destination finale, de chaussée non revêtue à une chaussée revêtue. C'est pour cette raison que les résultats présentés dans ce mémoire ne sont pas très riches en données nécessaires. Aussi, les essais réalisés ont été limités à notre séjour en Afrique du sud qui s'est achevé en janvier 2022.
- Ils n'existent pas beaucoup de documents sur les chaussées non revêtues en Algérie donc, la documentation présentée ici est très timide et ancienne datant d'une dizaine d'années.

Comme perspectives :

- Nous souhaitons que ce travail soit complété par une conception réelle d'une chaussée non revêtue construite en Algérie. En effet, les conditions climatiques en Afrique du Sud ne sont pas les mêmes que les conditions en Algérie, mais la technique utilisée qui concerne l'amélioration des matériaux, utilisés pour le sol d'assise, peut être adaptée aux nouvelles conditions, vu la disponibilité de la matière première du stabilisant (NME) en Algérie.
- Ainsi, faire une comparaison technico-économique entre une chaussée non revêtue et une chaussée revêtue.
- Enfin, le secteur de transport évolue toujours, pour la conception future des chaussées, nous devons prendre en considération de nouveaux types de technologies telles que les chaussées en plastique. Ce type de chaussées, permet d'aider la planète à devenir plus saine en recyclant nos déchets plastique.

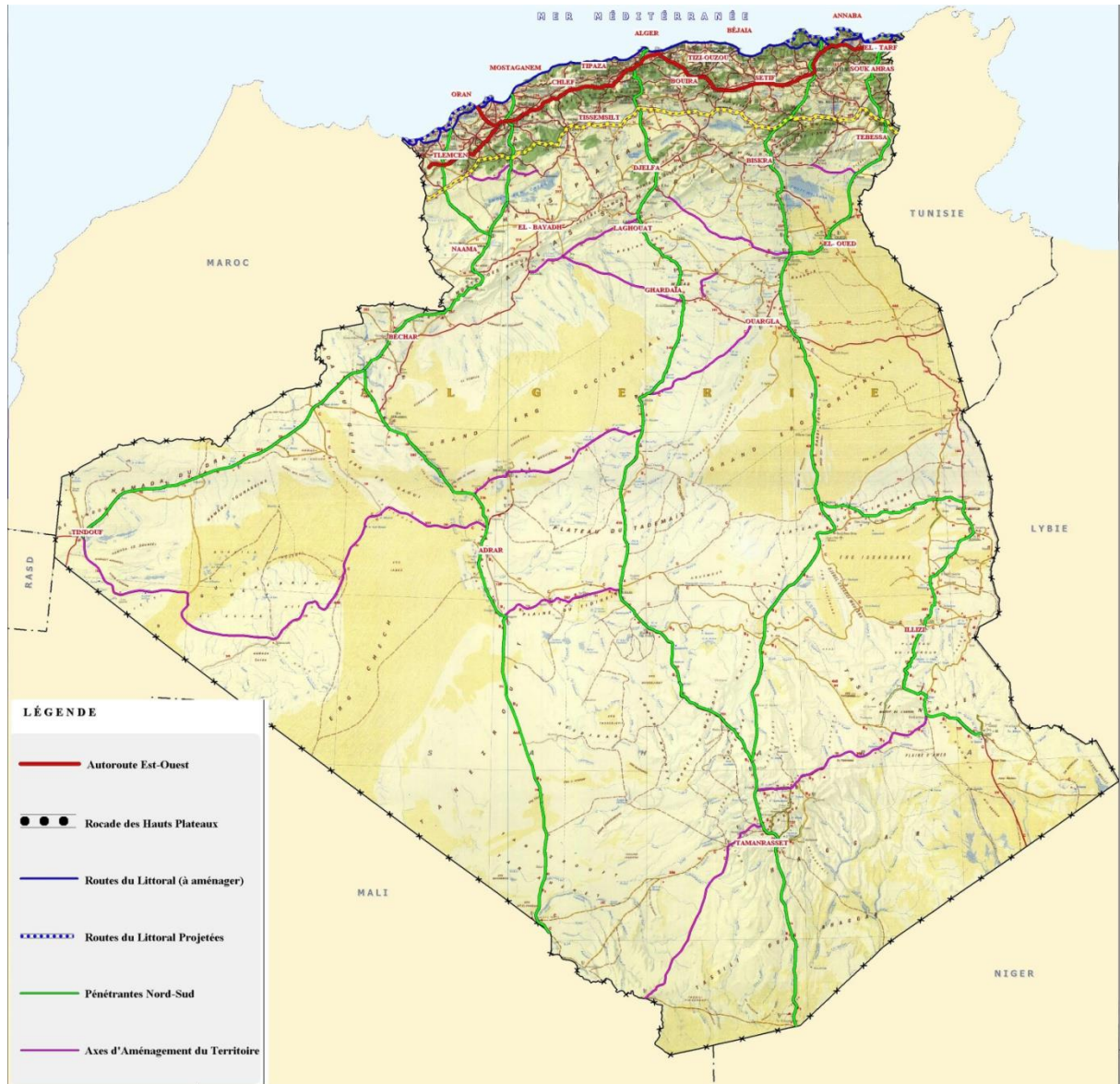
Références bibliographiques

1. P Paige-Green, « The structural design, construction and maintenance of unpaved roads: draft TRH20 », Technical Recommendations for Highways, 1990
2. Federal Highway Administration, « Gravel roads construction and maintenance guide », Technical guide, 2000
3. Site internet, « <https://www.gibagorge.co.za/about-us> », consulté 13 mai 2022
4. Site internet, « <https://www.khplant.co.za/blog/article/building-great-gravel-road-10-basic-principles> », consulté 13 mai 2022
5. Site internet, « <https://timesofindia.indiatimes.com/auto/news/india-constructed-703-km-of-highways-using-plastic-waste/articleshow/84883086.cms> », consulté 11 Novembre 2021
6. Site internet, « <https://www.wired.com/2015/07/future-highways-made-recycled-plastic-bottles/> », consulté 11 aout 2021
7. Site internet, « <https://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP/definition.html?id=2103> », consulté 26 mars 2022
8. Gerrit J. Jordaan et Wynand J. vdM. Steyn, « Engineering Properties of New-Age (Nano) Modified Emulsion (NME) Stabilised Naturally Available Granular Road Pavement Materials Explained Using Basic Chemistry », Article, 18 octobre 2021
9. Site internet, « <https://blog.midwestind.com/paved-and-unpaved-roads/> » consulté 11 février 2022
10. Site internet, « <https://www.sa-auto.co.za/portal/article/1700/how-to-build-a-gravel-road> », 14 février 2022
11. Site internet , « <https://documents1.worldbank.org/curated/en/515351468741849908/text/multi0page.txt> », consulté 11 mars 2022
12. Sebaa Nacera, « Les routes non revêtues en Algérie », Document de référence, février 2006
13. Hilario Ribeiro et al, « Pénétromètre dynamique », consulté 13 mai 2022
14. Site internet, « https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_CBR », 9 avril 2022
15. Site internet, « <https://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/view/vitrine/La%20structure%20de%20la%20chauss%C3%A9e%20#:~:text=2.2.1.-,Chauss%C3%A9es%20souples,constitu%C3%A9s%20de%20grave%20non%20trait%C3%A9e.> », pavement structure, consulté 10 avril 2022
16. Site internet, « <https://www.editions-eyrolles.com> », définition chaussée rigide, consulté 9 avril 2022

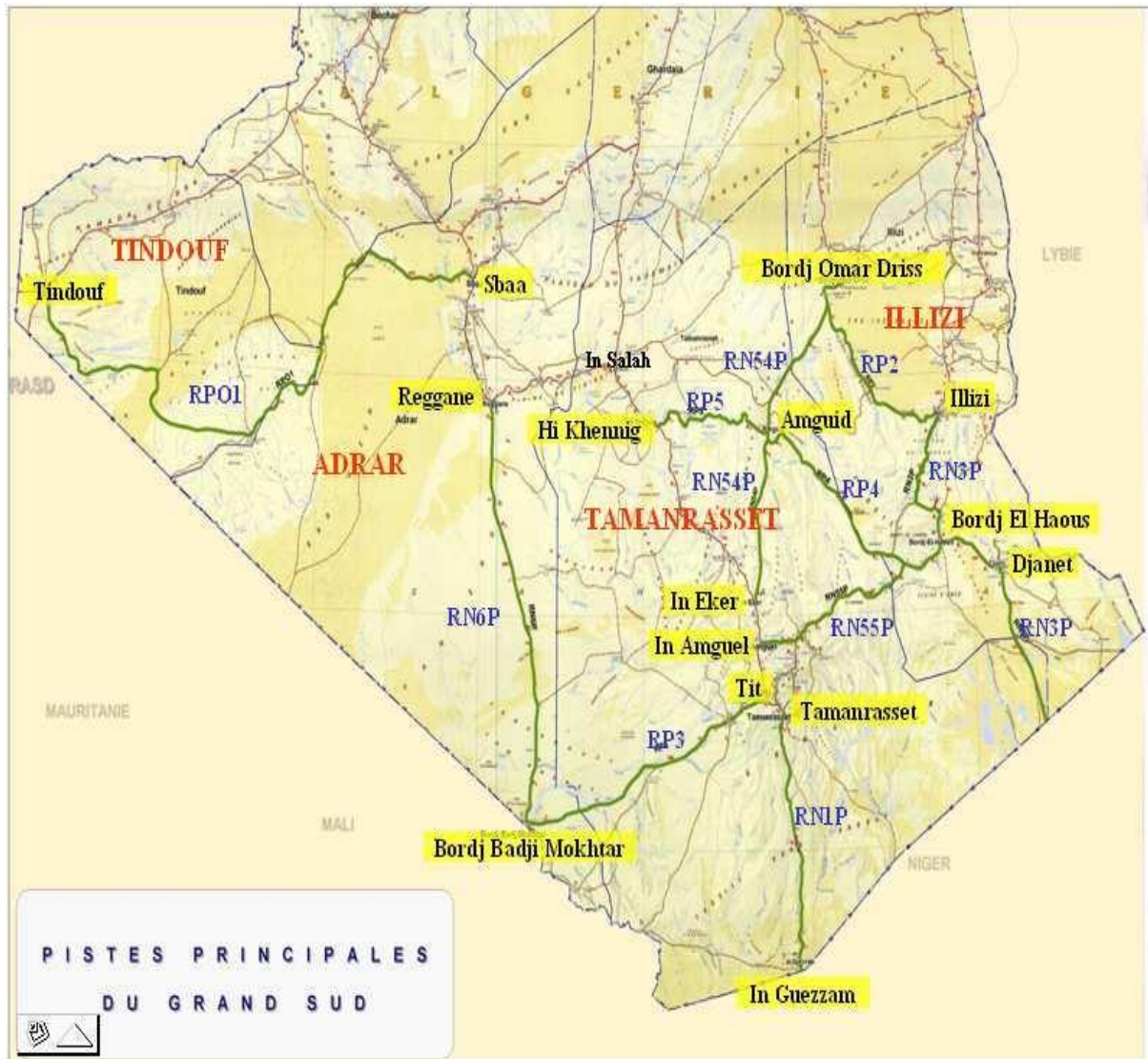
17. Site internet, « <https://dailycivil.com/difference-flexible-pavements-rigid-pavements/> », consulté 9 avril 2022
18. Paul Autret, « Etude des routes non revêtues VIZIRET système de gestion de l'entretien d'un réseau routier », Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, juillet-août 1997
19. Mahamat Moussa Gamar, « Routes non revêtues au Tchad construction et gestion » Document de référence, 16-28 mai 2006
20. Site internet, « https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_granulom%C3%A9trique », consulté 31 mars 2022
21. Site internet, « <https://theconstructor.org/transportation/types-soil-tests-for-road-construction/11502/> », consulté 31 mars 2022
22. Site internet, « <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/geologie-hamada-14282/> », consulté 1 mai 2022

Annexes

Annexe I - 1 : Le réseau routier algérien



Annexe I - 2 : Les routes non revêtues du Grand Sud



Annexe I - 3 : La zone climatique d'Algérie

