

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلم

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ziane Achour de Djelfa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences Technologiques



جامعة زيان عاشور الجلفة

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم العلوم والتكنولوجيا

Référence :FST/DST/M2/...../.....

Mémoire de fin d'études

Présenté au

Département : Sciences de la Technologie

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie civil

Spécialité : Infrastructure de Transport

Réalisé par

.HAFFAF M'BARK

.CHABIRA BELKHIR

Pour l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE

Intitulé

***Modernisation de la route nationale RN46 avec
valorisation du sable de dune dans le grave-ciment
comme couche de fondation.***

Soutenu le : **28/06/2016**

Devant le jury de soutenance composé de :

Président : Dr. DJELITA BELKHIR (MAB)

Univ. Djelfa

Encadreur : Mr. AZZOUZI BOULANOIAR (MAA)

Univ. Djelfa

Examineur: Mr. CHLALI MEHAMED (MAB)

Univ. Djelfa

Année Universitaire : 2015-2016

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

En second lieu, il nous est agréable d'exprimer nos grands remerciements et notre grande reconnaissance à notre encadreur

Mr. AZOUZI BOULANOIR Pour son sérieux, sa compétence Et ses orientations.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants et le personnel administratif de LNHC (Mr MANSOURI, OMAR et MONIR) qui ont contribué à notre formation et à l'élaboration de ce présent travail.

Nous remercions les membres de jury :

* Dr. DJELITA BELKHEIR

* Mr. CHLALI MEHAMED

qui nous ont Fait l'honneur de présider et d'examiner Ce modeste Travail.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

SOMMAIRE

PAGE	
REMERCIEMENT.....	I
RESUME.....	II
SOMMAIRE.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES.....	V
NOMENCLATURE.....	VI
INTRODUCTION GENERALE	1

PARTIE A : ETUDE DE LA ROUTE

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1 INTRODUCTION.....	02
I.2 OBJECTIF DE PROJET.....	05
I.3 CONCLUSION.....	06

CHAPITRE II : ETUDE DE TRAFIC

II.2.1 Introduction.....	07
II.1.2 Différents types de trafic.....	07
II.2.3 Modèles de présentation de trafic.....	08
II.2.4 Les données de trafic.....	09
II.2.5 Calcul de la capacité.....	09
II.2.6 Application au projet.....	10

CHAPITRE III : TRACE EN PLAN

III.1 Définition	12
III.2 Règles à respecter dans le tracé en plan.....	12
III.3 Les éléments du tracé en plan.....	13
III.4 Les courbe de raccordement.....	14
III.5 Paramètres fondamentaux.....	16

CHAPITRE IV : PROFIL EN LONG

IV.1 Définition.....	18
IV.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long.....	18
IV.3 Les éléments de composition du profil en long.....	19
IV.4 Déclivités.....	19
IV.5 Raccordements en profil en long.....	20
IV.6 Profil en long de la route.....	21

CHAPITRE V : PROFIL EN TRAVERS

VI.1 Définition.....	22
VI.2 Différent type de profils en travers	22
VI.3 Les éléments de composition du profil en long.....	23
VI.4 Profil en travers de la RN 46.....	24

CHAPITRE VI : CUBATURES

VII.1 Introduction.....	25
VII.2 Définition.....	25
VII.3 Méthode de calcul des cubatures.....	26

CHAPITRE VII : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEES

VII.1 introduction.....	28
VII.2 Objectifs du dimensionnement.....	28
VII.3 Principales méthodes de dimensionnement.....	28
VII.4 Principes du dimensionnement du catalogue.....	29
VII.5 Application au projet.....	30
VII. Conclusion.....	34

CHAPITRE VIII : SIGNALISATION

VIII.1 INTRODUCTION.....	35
VIII.2 OBJECTIFS DE SIGNALISATION ROUTIERE.....	35
VIII.3 CRITERES A RESPECTER POUR LES SIGNALISATIONS.....	35
VIII.4 TYPES DE SIGNALISATION.....	36
VIII.5 CHOIX DES MODULATIONS ET LARGEURS DES LIGNES.....	38
VIII.6 APPLICATION AU PROJET.....	39

PARTIE 02 : FORMULATION DE LA GRAVE CIMENT

CHAPITRE I : GRAVE-CIMENT

I.1 INTRODUCTION.....	42
I.2 MATERIAUX TRAITES CLASSIQUES.....	43
I.3 DEFINITION GRAVE CIMENT.....	44
I.4 LA STABILISATION DES FONDATIONS DE CHAUSSEES AUX LIANTS HYDRAULIQUES.....	44
I.5 DOMAINES D'APPLICATION.....	46
I.6 AVANTAGES ET INCONVENIENTS.....	46
I.7 CARACTERISTIQUES GRAVE-CIMENT.....	47

CHAPITRE II : SABLE DE DUNE

II .1 INTRODUCTION.....	49
II .2 DEFINITION SABLE DE DUNE	50
II .3 IDENTIFICATION DES SABLES DE DUNES.....	51
II .4 UTILISATION DU SABLE DE DUNE	55

CHAPITRE III: FORMULATION ET RESULTATS

III.1 FORMULATION D'ESSAIS DE LA GRAVE CIMENT.....	57
III.1.1 Propriétés des granulats.....	58
III.1.2 Plan d'essais du mélange GC.....	59

III.2 Caractéristiques des matériaux.....	60
III.2.1 Le gravier.....	60
III.2.2 Le sable.....	65
CONCLUSION GENERALE.....	75

Liste des tableaux

PARTIE01 : ETUDE DE LA ROUTE

Tableau 1 : Dairas et nombre de communes.....	03
Tableau 2 : statistiques du réseau routier de Djelfa.....	04
Tableau 3 : déterminer le coefficient d'équivalence « P ».....	10
Tableau 4 : Coefficient « K1 ».....	10
Tableau 5 : Coefficient « K2 ».....	11
Tableau 6: rayons du tracé en plan.....	14
Tableau 7: Paramètres fondamentaux.....	16
Tableau 8: Déclivité maximale Selon le B40.....	19
Tableau 9: les paramètres géométriques.....	21
Tableau 10 : classes de trafic (TPLi).....	31
Tableau 11 : classes de portance des sols.....	32
Tableau 12 : de sur classement avec couche de forme en matériaux non traité.....	32
Tableau 13 : les caractéristiques de lignes discontinues.....	37

PARTIE 02 : FORMULATION DELA GRAVE CIMENT

Tableau 14: Matériaux Les mélanges traités aux liants hydrauliques.....	27
Tableau 14: Grave-Ciment âne retardateur de prise.....	32
Tableau 15: Caractéristiques Ciments utilisés.....	33
Tableau 16: Matériaux constituant le mélange GC.....	57
Tableau 17: Les agrégats de GC (GTLH).....	58
Tableau 18: Propriétés des granulats.....	58
Tableau 19: Résultat d'analyse granulométrique échantillon gravie 0/40.....	61
Tableau 20: Résultat d'analyse sédimentométrique échantillon gravie 0/40.....	62
Tableau 21: Résultat Micro-Devel en présence d'eau échantillon gravie 0/40.....	63

Tableau 22: Résultat Los Angeles échantillon gravie 0/40.....	63
Tableau 23: Modalités d'exécution de l'essai Proctor.....	64
Tableau 24 : Résultat essai Proctor modifié échantillon gravie 0/40.....	65
Tableau 25: résultat l'Analyse chimique.....	65
Tableau 26: Essai de la masse volumique apparente de sable.....	66
Tableau 27: Essai de la masse volumique absolue de sable.....	66
Tableau 28: résultats de l'analyse granulométrique de sable de dune.....	66
Tableau 29 : résultats l'équivalent de sable.....	68
Tableau 30: résumé des résultats.....	70
Tableau 31: Composition chimique et minéralogique du ciment (%).....	71
Tableau 32: Propriétés physico – mécaniques du ciment.....	71
Tableau33: résultats de Proctor modifié échantillon mélange (A)	73
Tableau-34-: résultats de Proctor modifié échantillon mélange (B).....	74
Tableau-35-: résultats de Proctor modifié échantillon mélange (C).....	74

Liste des Figures

PARTIE 01 : ETUDE DE LA ROUTE

Figure 1: tracé en plan.....	17
Figure 2 : profil en long.....	21
Figure 3 : profil en travers type.....	24

PARTIE 02 : FORMULATION DE LA GRAVE-CIMENT

Figure 4: photo de couche fondation en Grave ciment.....	42
Figure 5: photo de fabriqué grave ciment.....	46
Figure 6: photo de transporté sur chantier par camion-benne.....	47
Figure 7: ci-dessous présents le plan d'essai du mélange GC.....	49
Figure 8: photo sable de dune.....	50
Figure 9: Dunes de sable.....	51
Figure 10: Morphologie de la barkhane.....	53
Figure 11: Photo montrant une barkhane	53
Figure 12: Photo montrant un SIF.....	53
Figure 13: courbe d'analyse granulométrique échantillon gravie 0/40.....	51
Figure 14: courbe de Proctor modifiée.....	54
Figure 15: Photo montrant le matériel de l'équivalent de sable et de piston.....	57
Figure 16: Burette graduée à 2ml, papier filtre, Bécher de capacité de 1 à 2 litres...	59
Figure 17: Tâches sur le papier filtre.....	59
Figure 18: courbe de Proctor modifiée échantillon mélange (A).....	61
Figure 19: courbe de Proctor modifiée échantillon mélange (B).....	62
Figure 20: courbe Proctor modifiée échantillon mélange (C).....	63

Nomenclatures

B40 : les normes algériennes routière

TJMA : le trafic journalier moyen annuel

VB : vitesse de bas

T_{eff} : trafic effectif.

K1, K2 : coefficients correcteur

C th: capacité théorique.

UVP :Unités des véhicules particuliers.

RHM : Rayon horizontal minimal (absolu)

RHN : Rayon horizontal normal

RHd : Rayon au dévers

RHnd : Rayon horizontal non déversé

RN : Route nationale

E1 : environnement (terrain plat),

E2 : environnement (terrain vallonné),

E3 : environnement (terrain montagneux).

C1 : catégorie de la route.

PL : poids lourds.

BB : béton bitumineux.

G.N.T : grave non traité.

GB : grave bitume.

GT : grave traité.

GC : grave ciment

SD : sable de dune

Résumé :

Le but de ce travail est l'étude en APD de la modernisation d'un tronçon de la route **RN46** entre **Mliliha** et **Slim** dans la wilaya de DJEJFA.

Du PK 84 au PK 100, commençant de **Slim** pour un linéaire de **16 km** de longueur et **7m** de largeur (chaussée bidirectionnelle), De plus, notre étude étale une étude de la formulation de la Grave Ciment avec l'ajout de sable de dune et voir leur influence sur la résistance de la couche en ajoutant 10,20 et 30% a chaque fois.

Les résultats sont très acceptable et la résistance de la GC est bonne pour la fabrication de la couche de fondation en utilisons les granulats et le sable de dune local.

Mots clés: étude en APD, modernisation, sable de dune, GC.

المخلص:

الهدف من هذا العمل هو الدراسة التفصيلية لتحديث جزء من الطريق الوطني رقم 46 ما بين بلديتي الملييحة و سليم في مدينة الجلفة.

ابتداء من الحجر الكيلو متري رقم 84 إلى الحجر الكيلو متري رقم 100 على امتداد 16 كم من بلدية سليم,,بالإضافة لذلك تستمر دراستنا من خلال فرش طبقة الأساس بخليط من الحصى والإسمنت ونضيف له في كل مرة نسبة 10,20, و30% من الكثبان الرملية للتأثير على قوة طبقة الأساس.

النتائج جد مقبولة لصنع طبقة أساس مقاومة عن طريق استخدام مزيج من الحصى والإسمنت واستخدام الكثبان الرملية المحلية المتوفرة في صحرائنا الكبيرة.

الكلمات الدلالية : الدراسة التفصيلية/تحديث/الكثبان الرملية/الحصى-إسمنت

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les infrastructures de transport, et en particulier les routes, doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et des coûts sociaux des aménagements réalisés, elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie social. Parmi les problèmes fondamentaux auxquels sont confrontés les projets d'infrastructure routière est souvent liée à l'insuffisance de réseau existant par saturation, il est alors nécessaire, pour bien cerner cette problématique, d'en préciser les contours, puis pour en dessiner les solutions et d'en quantifier précisément les composantes. Cela conduit à mener des études sur le terrain naturel.

Les terrains naturels surtout en phase humide, sont incapables de supporter un trafic soutenu de véhicules lourds, le rôle d'une chaussée est de pallier à cette inaptitude, elle sera constituée par la superposition de plusieurs couches de matériaux. C'est pour la route, l'équivalent des fondations d'une maison qui vont permettre à la couche de roulement de ne point se déformer sous le passage des poids lourds. En effet le sol est incapable de supporter le trafic et le corps de chaussée va répartir les charges roulantes évitant ainsi les déformations du sol support.

Il est mis en œuvre en deux couches (de fondation et de base) lorsque l'épaisseur totale est trop importante pour faire une seule couche.

On distingue deux grandes catégories de corps de chaussées :

- les assises non traitées constituées seulement de matériaux granulaires (sable, gravier), leur épaisseur assurant seule la répartition des charges. (cas de routes de trafic faible à moyen)
- Les assises constituées de matériaux traités aux liants hydrauliques (Ciment, laitier, cendre) ou aux liants hydrocarbonés (bitume) pour accroître la rigidité et la portance de la chaussée (routes à trafic élevé).

Ce que nous allons aborder à travers cette note mémoire en intégrant certains des matériaux utilisés dans la création de la route à travers les différentes couches afin d'assurer une plus grande résistance et de la vie de la route.

PARTIE 01:
ETUDE DE LA ROUTE

CHAPTER I : PRESENTATION DU PROJET

I.PRESENTATION DU PROJET :

I.1 INTRODUCTION :

La wilaya est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Elle est limitée par les wilayas suivantes :

- ✓ Au Nord : Médéa et Tissemsilt
- ✓ Au Sud : Ouargla, El Oued et Ghardaïa
- ✓ A l'Est : M'sila et Biskra
- ✓ A l'Ouest : Laghouat et Tiaret

Le Chef lieu de la wilaya est située à **400 km** à l'est de la capitale, Alger.

La wilaya s'étend sur une superficie de **32 256,35 km²**.



Daïras et nombre de communes

Denominations Daira	Nombre de communes	Superficies (km ²)
DJELFA	1	542.17
AIN OUSSERA	2	1.333,39
BIRINE	2	1.870,00
SIDI LAADJEL	3	1.364,86
HAD SHARY	3	1.696,73
DAR CHIOUKH	3	1.770,67
CHARFE	3	1.936,88
EL IDRISIA	3	1.089,10
AIN EL BELL	3	2.313,67
MESSAAD	4	9.721,06
FEIDH EL BOTMA	5	5.809,12
HASSI BAHBAH	4	2.808,70

Tableau 1 : Daïras et nombre de communes



I.2.1.Aspect Administratif :

Erigée au rang de Wilaya à la faveur du découpage administratif de 1974, cette partie du territoire d'une superficie totale de 32.256,35 km² représentant 1,36% de la superficie totale du pays se compose actuellement de 36 communes regroupées en 12 Daïras.

I.2.2.Le relief :

Assurant le lien entre le Nord et le Sud du pays, le relief de la Wilaya de Djelfa est caractérisé par la succession de quatre (04) zones distinctes du Nord au Sud de son territoire. Le point culminant de la Wilaya se trouve à l'Est de l'agglomération de Benyagoub dans la Daira de Charef avec une altitude de 1.613 mètres et le point le plus bas est à l'extrême Sud de la Wilaya avec une altitude de 150 mètres.

I.2.3.Le climat :

Le climat de la Wilaya de Djelfa est nettement semi-aride à aride avec une nuance continentale. En effet, le climat est semi-aride dans les zones situées dans les parties du Centre et du Nord de la Wilaya avec une moyenne de 200 mm à 350 mm d'eau de pluie par an et aride dans toute la zone située dans la partie Sud de la Wilaya et qui reçoit moins de 200 mm d'eau de pluie en moyenne par an.

Les vents dans la Wilaya de Djelfa sont caractérisés par leur intensité et leur fréquence. Les vents les plus fréquents sont ceux d'orientation Nord-est et Nord-Ouest d'origine océanique et nordique. Cependant, la principale caractéristique des vents dominants dans la région est matérialisée par la fréquence du sirocco, d'origine désertique, chaude et sèche, dont la durée peut varier de 20 à 30 jours par an.

I.2.4.Réseau routier :

Est d'une consistance de 2 276.6 Km, se présente comme suit :

Routes nationales	1010.5	Km	Soit	44	%
Chemin de wilaya	446.5	Km	Soit	20	%
Chemins communaux	819.6	Km	Soit	36	%

Tableau 2 statistiques du réseau routier de Djelfa

I.2.5.Hydraulique:

Ressource hydrologique de la Wilaya

D'une superficie de 32 256,35 km², les approvisionnements en eau de la wilaya de Djelfa, tout usage confondu, provient principalement des nappes d'eau souterraines.

Les potentialités s'élèvent globalement à 200 Hm³ /an.

Aspect hydrologique et exploitation des eaux souterraines

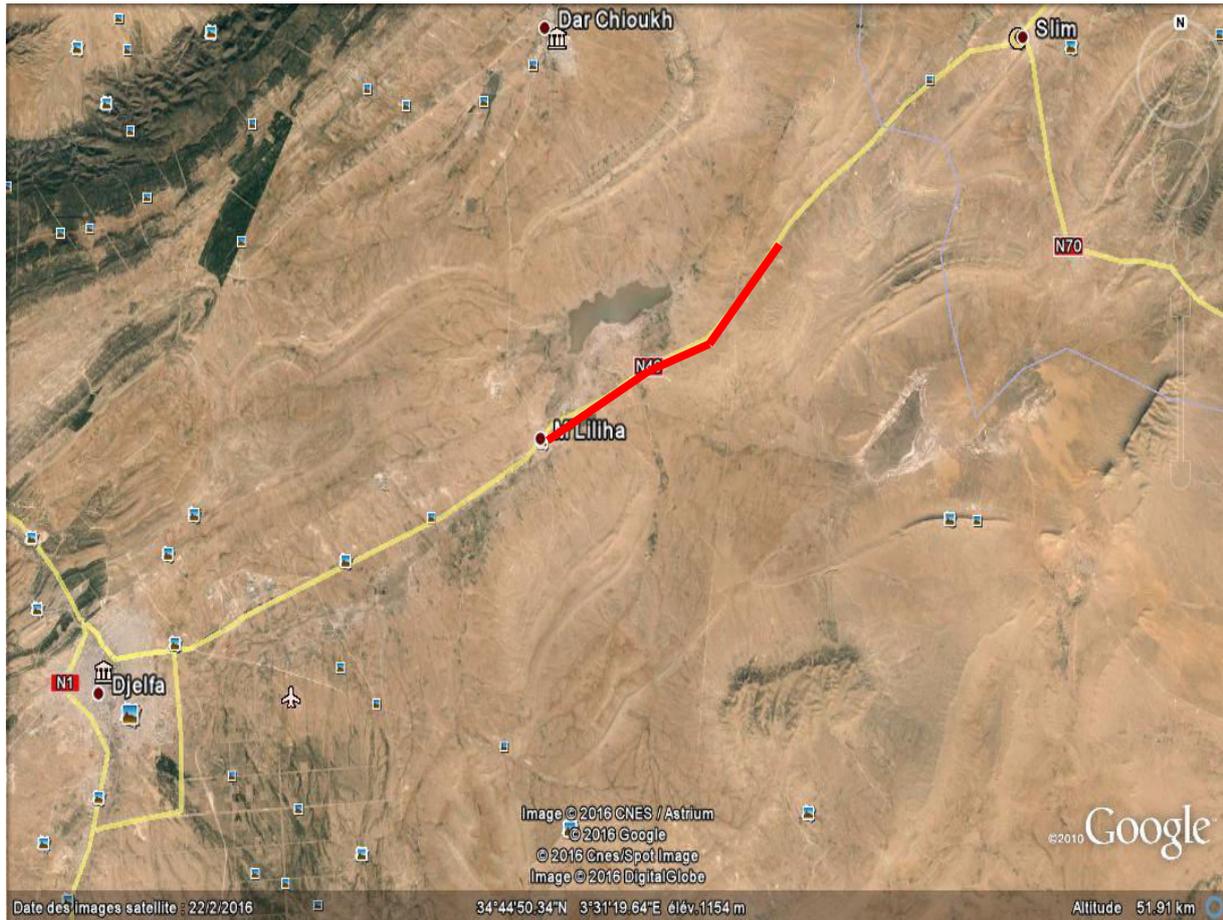
Les approvisionnements en eau de la wilaya de Djelfa, tout usage confondu, proviennent principalement des nappes d'eau souterraines,

I.2 Objectifs du projet :

L'étude de la modernisation de la route nationale RN46 vise à atteindre les objectifs suivants :

- Disposer d'une nouvelle infrastructure, offrant une capacité suffisante pour répondre à une demande de transport sans cesse croissante ;
- Le développement économique de la région ;
- Caractéristique géométrique entravant la fluidité de la circulation et réduisant la capacité ;
- L'amélioration notable de la sécurité de l'utilisateur.





I.3 Conclusion :

Après avoir savoir tous les caractéristiques de wilaya en générale et le site de projet, il faut concevoir l'infrastructure en tenant compte les données géotechniques et hydrologique et hydraulique pour éviter les problèmes techniques qui pourront trouver durant l'exécution des travaux.

CHAPITER II :

ETUDE DE TRAFIC

II.ETUDE DU TRAFIC :

II.1 Introduction :

L'étude du trafic est un élément essentiel qui doit être préalable à tout projet de réalisation ou d'aménagement d'infrastructure de transport, elle permet de déterminer le type d'aménagement qui convient et, au-delà les caractéristiques à lui donner depuis le nombre de voie jusqu'à l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée.

L'étude du trafic constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers.

Cette conception repose, sur une partie « stratégie, planification », sur la prévision des trafics, sur les réseaux routiers, qui est nécessaire pour :

- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretien du réseau routiers, qui sont en fonction du volume de circulation.
- Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons de la route constituant le réseau qui doit être adapté au volume et la nature des circulations attendues (nombre de voies).

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise au point d'un projet routier et consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route (volume, composition, conditions de circulation, saturation, origine et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

II.2 Différents types de trafic :

On distingue deux types de trafic:

a) Trafic normal:

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet.

b) Trafic dévié:

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.

c) Trafic total:

C'est la somme du trafic annuel et du trafic dévié.

II.3 Modèles de présentation de trafic :

La première étape de ce type d'étude est le recensement de l'existant .Ce recensement permettra de hiérarchiser le réseau routier par rapport aux fonctions qu'il assure, et de mettre en évidence les difficultés dans l'écoulement du trafic et de ses conséquences sur l'activité humains.

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont :

➤ **Prolongation de l'évolution passée :**

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir,

L'évolution des trafics observés dans le passé. On établit en général un modèle de croissance du type exponentiel.

Le trafic T_n à l'année n sera:

$$T_n = T_0 (1+\tau)^n$$

Où : T_0 : est le trafic à l'arrivée pour l'origine.

τ : est le taux de croissance.

➤ **Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques :**

Elle consiste à rechercher dans le passé une corrélation entre le niveau de trafic d'une part et certains indicateurs macro-économiques :

- ✓ Produit national brut (PNB).
- ✓ Produits des carburants, d'autres part, si on pense que cette corrélation restera à vérifier dans le taux de croissance du trafic, mais cette méthode nécessite l'utilisation d'un modèle de simulation, ce qui sort du cadre de notre étude.

➤ **Modèle gravitaire :**

Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, mais il se prête mal à la projection.

➤ **Modèle de facteur de croissance :**

Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine –

Destination. La méthode la plus utilisée est celle de FRATAR qui prend en considération les facteurs suivants:

- ✓ Le taux de motorisation des véhicules légers et leur utilisation.
- ✓ Le nombre d'emploi.
- ✓ La population de la zone.

Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie de la zone à étudier.

II.4 Les données de trafic:

Année de comptage.2010

Année de mise en service 2016

Taux de croissance 4.5%

Le pourcentage (%) des poids lourds **Z = 10%**

TJMA 2010: 3111v/j/sens

La durée de vie de projet 20 ans

La vitesse de base VB=80 km/h

Année horizon: 2016/2036

Catégorie C3

L'enivrement E1

II.5 Calcul de la capacité :

II.5.1 Définition de la capacité :

La capacité pratique est le débit horaire moyen à saturation. C'est le trafic horaire au-delà duquel le plus petit incident risque d'entraîner la formation de bouchons.

La capacité dépend:

- Des distances de sécurité (en milieu urbain ce facteur est favorable, il est beaucoup moins en rase campagne, ou la densité de véhicules sera beaucoup plus faible).
- Des conditions météorologiques.
- Des caractéristiques géométriques de la route.

II.5.2 Détermination de nombre de voies :

La problématique qui est à la base des projets d'infrastructure routière est souvent liée à l'insuffisance de réseau existant, soit par défaut, soit par insuffisance. Une des solutions est basée sur le nombre de voies.

A partir de là, l'ingénieur fait une comparaison entre le débit admissible et le débit prévisible pour obtenir le choix de nombre de voies pour un tronçon routier. Donc il est nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour les 20^{ème} années d'exploitation.

II.6 Application au projet

II.6.1 Calcul de Trafic à l'horizon 2036 :

$TJMA_{2036} = TJMA_{2016} (1+\tau)^n$ Avec:

- ✓ TJMAh : le trafic (L'année horizon)
- ✓ TJMAo : le trafic (L'année de référence (origine 2013) .
- ✓ n : nombres d'années .

✓ τ : taux d'accroissement du trafic (%).

$$TJMA_{2016} = (1 + \tau)^6 TJMA_{2010} = (1 + 0.045)^6 \times 3111 = 4051 \text{ UVP/J.}$$

$$TJMA_{2036} = (1 + \tau)^{20} TJMA_{2016} = (1 + 0.045)^{20} \times 4051 = 9769 \text{ UVP/J.}$$

II.6.2 Calcul de Trafic effectif :

a l'année horizon 2036 (le trafic par unité de véhicule), qui est en fonction de catégorie de la route et de l'environnement est donné par :

$$T_{\text{eff}} = [(1 - Z) + Z.P] TJMA_{2036}$$

Avec :

- T_{eff} : trafic effectif a l'année horizon en (UVP/jour).
- P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds, il dépend de la nature de la route.
- Z : pourcentage de poids lourd $Z = 10\%$

Selon le B40, le coefficient d'équivalence « P » pour un terrain plat (E1) est

P = 3.

Environnement	E1	E2	E3
Route à bonne caractéristique	2-3	4-6	8-12
Route étroite, ou à visibilité réduite	3-6	6-12	16-24

Tableau 3 : déterminer le coefficient d'équivalence « P »

$$T_{\text{eff}} (2036) = [(1 - 0.10) + 0.10 \times 3] \times 9769 = 11\,722 \text{ UVP/J.}$$

II.6.3 Le débit de pointe horaire normale

$$\text{Est donc : } Q = T_{\text{eff}} * \frac{1}{n}$$

n étant le nombre d'heure, qui est en général (n = 8 heures). $\frac{1}{n} = 0.12$

$$\text{Soit : } Q (2036) = T_{\text{eff}}(2036) \times 0.12 = 11722 \times 0.12 = 1\,406 \text{ UVP/H}$$

II.6.4 Débit horaire admissible :

que peut supporter la route est : $Q_{\text{adm}} (\text{uvp/h}) = K1.K2. C_{th}$

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Tableau 4 : Coefficient « K1 »

Pour notre projet l'environnement est E1, donc **K1=0.75.**

Environnement	Catégorie de la route				
	C1	C2	C3	C4	C5
E1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau 5 : Coefficient « K2 »

Pour notre projet (E1, C1), donc K2=1

$$Q \leq Q_{adm} = K1 \times K2 \times C_{th}$$

$$C_{th} \geq Q / (K1 \times K2)$$

$$C_{th} \geq 1406 / (1 \times 0.75)$$

$$C_{th} \geq 1874 \quad C_{th} = 1900 \text{ uvp/h}$$

A partir ce tableau on a : $C_{th} = 1900 \text{ uvp/h}$. Débit horaire admissible, donc, est

$$Q_{adm} = 0.75 \times 1 \times 1900 = 1425 \text{ uvp/h.}$$

II.6.5 Détermination du nombre des voies :

➤ Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

On compare Q à Q_{adm} et on prend le profil permettant d'avoir : $Q_{adm} \geq Q$

➤ Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport $S \cdot Q / Q_{adm}$

Tel que : S : coefficient de dissymétrie, en général égal à 2/3 ;

Q_{adm} : Débit admissible par voie.

$$N = \frac{S \times Q}{Q_{adm}}$$

Pour notre projet on a une chaussée bidirectionnelle :

$$AN : \quad N = \frac{2}{3} \times \frac{1406}{1425} = 1.04$$

Donc : n=1 voie/sens.

II.6.6 Conclusion :

Selon les normes de B40, notre route est une chaussée bidirectionnelle de 2 voies de 7m de largeur et deux accotements de 1.5 m.

CHAPTER III :

TRACE EN PLAN

III TRACE EN PLAN :

III.1 Définition:

Le tracé en plan d'une route est obtenu par projection de tous les points de cette route sur un plan horizontale, Il est constitué en général par une succession des alignements droits et des arcs reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

Ce tracé est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on pourra déterminer les caractéristiques géométriques de la route.

Le tracé en plan d'une route doit permettre d'assurer de bonne sécurité.

III.2 Règles à respecter dans le tracé en plan :

- Appliquer les normes du **B40** si possible.
- Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles.
- Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum de constructions des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, si on n'a pas le choix on essaie de les franchir perpendiculairement.
- Adapter au maximum le terrain naturel.
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau.
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.
- Se raccorder sur les réseaux existants.
- S'inscrire dans le couloir choisi.
- Eviter les sites qui sont sujets a des problèmes géologiques.
- Il est recommandé que les alignements représentent 60% au plus de la longueur totale du trajet.
- En présence des lignes électriques aérienne prévoir une hauteur minimale de 10m.

III.3 Les éléments du tracé en plan :

Le tracé en plan est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes, il est caractérisé par la vitesse de référence appelée ainsi vitesse de base qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes entre elles d'autre part, elle se fait à l'aide des **Clothoïdes** qui assurent un raccordement progressif par nécessité de sécurité et de confort des usagers de la route.

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments:

III.3.1 Des droites (alignements) :

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes est restreint.

La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

- * De nuit, éblouissement prolongé des phares.
- * Monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents.
- * Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés.
- * Mauvaise adaptation de la route au paysage.

Il existe toutefois des cas où l'emploi d'alignement se justifie:

- * En plaine ou, des sinuosités ne seraient absolument pas motivées.
- * Dans des vallées étroites.
- * Pour donner la possibilité de dépassement.

Donc la longueur des alignements dépend de:

- * La vitesse de base, plus précisément de la durée du parcours rectiligne.
- * Des sinuosités précédentes et suivant l'alignement.
- * Du rayon de courbure de ces sinuosités.

III.3.2 Des arcs de cercle :

a)- Rayon minimal absolu (RHM) :

C'est le rayon qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal.

b)- Rayon minimal normal (RHN) :

Le rayon minimal normal doit permettre à des véhicules dépassant V_r de **20km/h** de rouler en sécurité.

c)- Rayon au dévers minimal (RHd) :

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et telle que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_r serait équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Dévers associé $d_{min} = 2.5\%$ en catégorie 1 – 2.

$d_{min} = 3\%$ en catégorie 3 – 4.

d)- Rayon minimal non déversé (RHnd):

C'est le rayon non déversé telle que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_r une courbe de devers égal à d_{min} vers l'extérieur reste inférieur à valeur limitée.

Pour notre projet (RN 46) situé dans un environnement (E1), et classé en catégorie (C3) avec une vitesse de référence de 80km/h , donc à partir du règlement B40 on peut avoir le tableau suivant:

Paramètres	symboles	Valeurs
Vitesse (km/h)	V	80
Rayon horizontal minimal (m)	RHm (8%)	220
Rayon horizontal normal (m)	RHN (6%)	375
Rayon horizontal déversé (m)	RHd (3%)	800
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd (-3%)	1200

Tableau 6: rayons du tracé en plan.

III.4 Les Courbes De Raccordement :

Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des courbures progressives permettant l'introduction du devers et la condition du confort et de sécurité.

La courbe de raccordement la plus utilisée est la **Clothoïde** grâce à ses particularités.

III.4.1 Rôle Et Nécessité Des Courbes De Raccordement :

L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre conditions suivantes :

- Stabilité transversale du véhicule.
- Confort des passagers du véhicule.
- Transition de la forme de la chaussée.
- Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

III.4.2 Types De Courbe De Raccordement :

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une variation continue de la courbure, nous avons retenu les trois courbes suivantes :

a)-Parabole cubique :

Cette courbe est d'un emploi très limité vu le maximum de sa courbure vite atteint (utilisée dans les tracés de chemin de fer).

b)- Lemniscate :

Cette courbe utilisée pour certains problèmes de tracés de routes « **trèfle d'autoroute** » sa courbure est proportionnelle à la longueur de rayon vecteur mesuré à partir du point d'inflexion.

c)- Clothoïde :

La **Clothoïde** est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul.

La courbure de la **Clothoïde**, est linéaire par rapport à la longueur de l'arc.

Parcourue à vitesse constante, la **Clothoïde** maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.

III.4.3 Les conditions de raccordement :

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes:

a) Condition de confort optique :

Cette condition permet d'assurer à l'utilisateur une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels.

L'orientation de la tangente doit être supérieure à 3° pour être perceptible à l'oeil.

b) Condition de confort dynamique :

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours Δt du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

c) Condition de gauchissement :

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation de dévers, elle s'applique par rapport à son axe.

NB : La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique, peut se faire à l'aide d'une seule condition qui sert à limiter pendant le temps de parcours du raccordement, la variation par unité de temps, du dévers de la demie -chaussée extérieure au virage.

Cette variation est limitée à 2%.

III.5 Paramètres fondamentaux :

D'après le règlement des normes algériennes **B40**, pour un environnement **E1** et une catégorie **C3**, avec une vitesse de référence de **80km/h**, on définit les paramètres suivants :

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse (km/h)	V	80
Longueur minimale (m)	L_{min}	77
Longueur maximale (m)	L_{max}	1000
Devers minimal (%)	D_{min}	3
Devers maximal (%)	D_{max}	8
Temps de perception réaction (s)	t₁	2
Frottement longitudinal	f_L	0.43
Frottement transversal	f_t	0.15
Distance de freinage (m)	d₀	59
Distance d'arrêt (m)	d₁	99
Distance de visibilité de dépassement minimale (m)	d_m	325
Distance de visibilité de dépassement normale (m)	d_n	500
Distance de visibilité de manoeuvre de dépassement (m)	d_{md}	200
RHm (m) (devers associe %)	RHm	220(8%)
RHN (m) (devers associe %)	RHN	375(6%)
RHd (m) (devers associe %)	RHd	800(3%)
RHnd (m) (devers associe %)	RHnd	1200(-3%)

Tableau7: Paramètres fondamentaux

III.6 Trace en plan de la route:

L'étude de notre route est faite par le logiciel Autocad civil 3D, qui facilite le travail et présente des avantages très utiles par rapport les autre logiciels.

Nous présente ci dessous le graphisme du tracé en plan de notre projet :

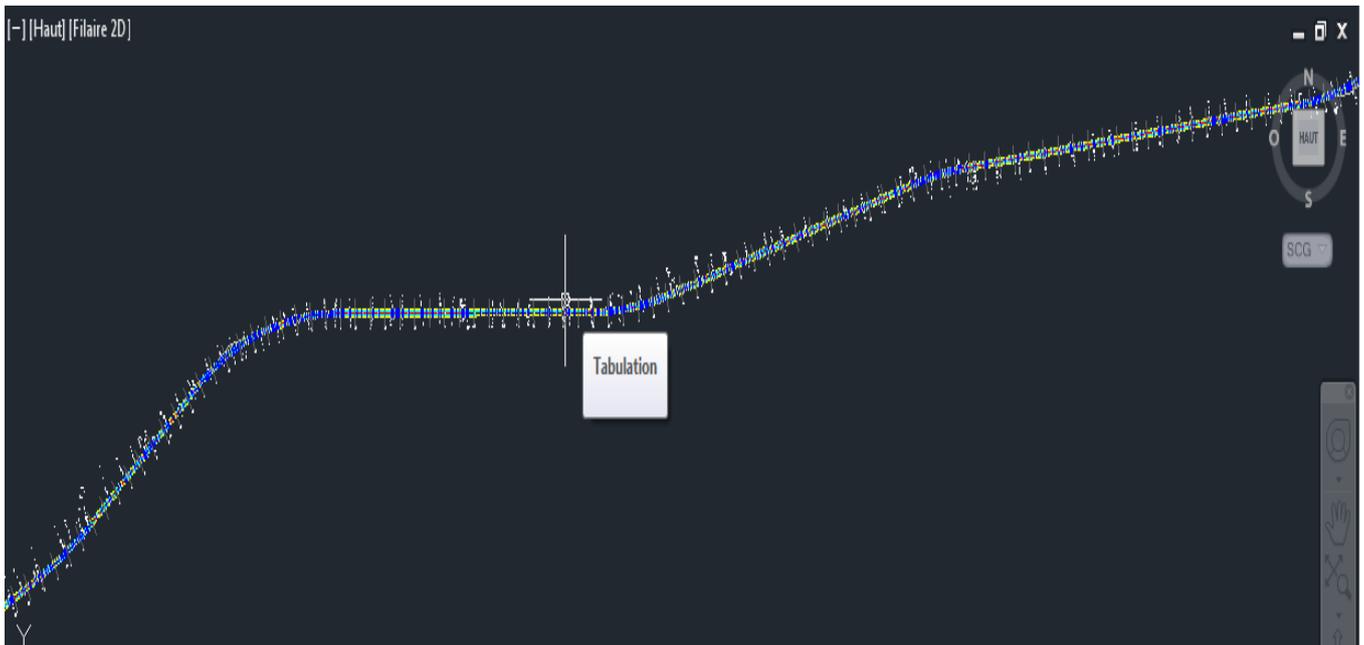


Fig : tracé en plan

Le tableau des résultats détaillés du tracé en plan est jointé en annexe.

CHAPTER IV : PROFIL EN LONG

IV PROFIL EN LONG:

IV.1. Définition:

Le profil en long est la coupe longitudinale suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé. Il est constitué généralement d'une succession d'alignements droits raccordés par des paraboles (courbes circulaires).

Le but principal du profil en long est d'assurer pour le conducteur une continuité dans la lisibilité de la route afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers.

Dans la conception l'échelle des longueurs (en abscisse) est en général celle du plan de situation, tandis que l'échelle des hauteurs (en ordonnées) est 10 fois plus grand pour accuser les déclivités qui sans cela seraient presque imperceptibles.

IV.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long:

Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur:

- * Eviter les angles entrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- * Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- * Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des devers nuls dans une pente du profil en long.
- * Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais dans la partie de tracé neuve.
- * Eviter une hauteur excessive en remblai.
- * Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles notamment.
- * Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison des cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
- * Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
- * Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- * Limité la déclivité pour une catégorie donnée ($i \leq i_{max}$)

IV.3 Les éléments de composition du profil en long :

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires, pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude du projet.
- La déclivité du projet, etc....

IV.4.Déclivités:

On appelle déclivité d'une route la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montés.

IV.4.1. Déclivité Minimum:

Dans un terrain plat on n'emploie normalement jamais de pente nulle de façon à ce que l'écoulement des eaux pluviales s'effectue facilement au long de la route au bord de la chaussée.

On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes :

- * Au moins **0,5%** et de préférences **1 %**, si possible.
- * **I_{min}=0,5 %** dans les longues sections en déblai : pour que l'ouvrage d'évacuation des eaux ne soit pas trop profondément.
- * **I_{min}= 0,5 %** dans les sections en remblai prévues avec des descentes d'eau.

IV.4.2. Déclivité Maximum:

La déclivité maximale est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures à **1500m**, à cause de :

- * la réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (cas de rampe Max).
- * l'effort de freinage des poids lourds est très important qui fait l'usure de pneumatique (cas de pente max.).

Donc, La déclivité maximale dépend de :

- * Condition d'adhérence.
- * Vitesse minimum de **PL**.
- * Condition économique.

V _R Km/h	40	60	80	100	120	140
I max %	8	7	6	5	4	4

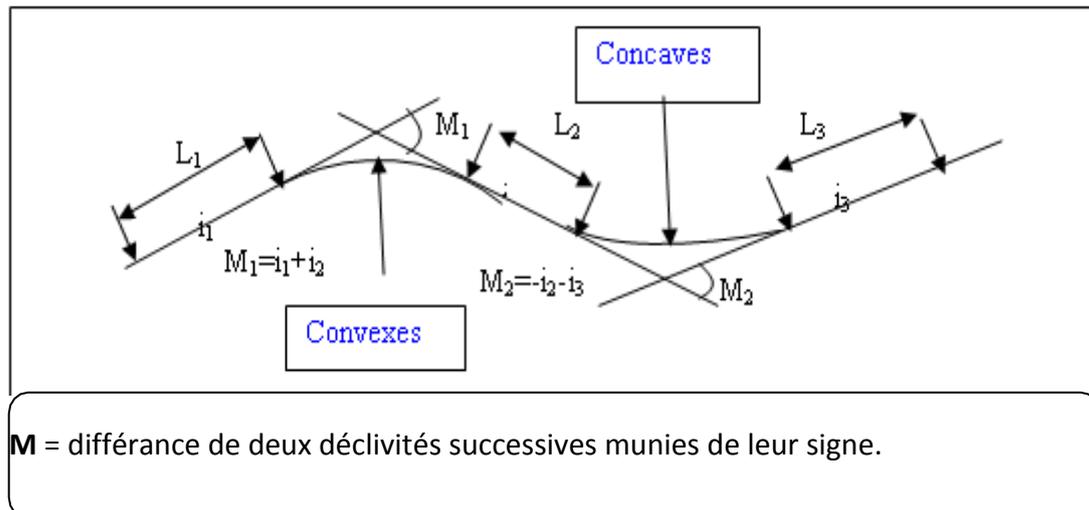
Tableau-8 Déclivité maximale Selon le B40

Pour notre cas la vitesse **V_r=80 Km/h** donc la pente maximale

I_{max} =6%.

IV.5. Raccordements en profil en long:

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long ; ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort, on distingue deux types raccords : :



IV.5.1. Raccordements Convexes (Angle Saillant):

Les rayons minimums admissibles des raccords paraboliques en angles saillants sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'oeil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et de visibilité d'autre part.

a) Condition de confort :

Elle consiste à limiter l'accélération verticale à laquelle le véhicule sera soumis lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe.

b) Condition de visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccords des points hauts comme conditions supplémentaires à celle de confort.

IV.5.2. Raccordements Concaves (Angle Rentrant):

a) Le confort dynamique :

En angle rentrant, le problème de visibilité ne se pose pas, mais il y a apparition d'une accélération importante (accélération centrifuge) qui influence sur le confort des véhicules.

b)-La visibilité nocturne :

Dans un raccordement concave, les conditions de visibilité du jour ne sont pas déterminantes, lorsque la route n'est pas éclairée la visibilité de nuit doit par contre être prise en compte.

c) Condition esthétique :

Il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivités sur des distances courtes, pour éviter cet effet on imposera une longueur de raccordement minimale ($L > 50m$) pour des devers $d < 10\%$ (spécial échangeur).

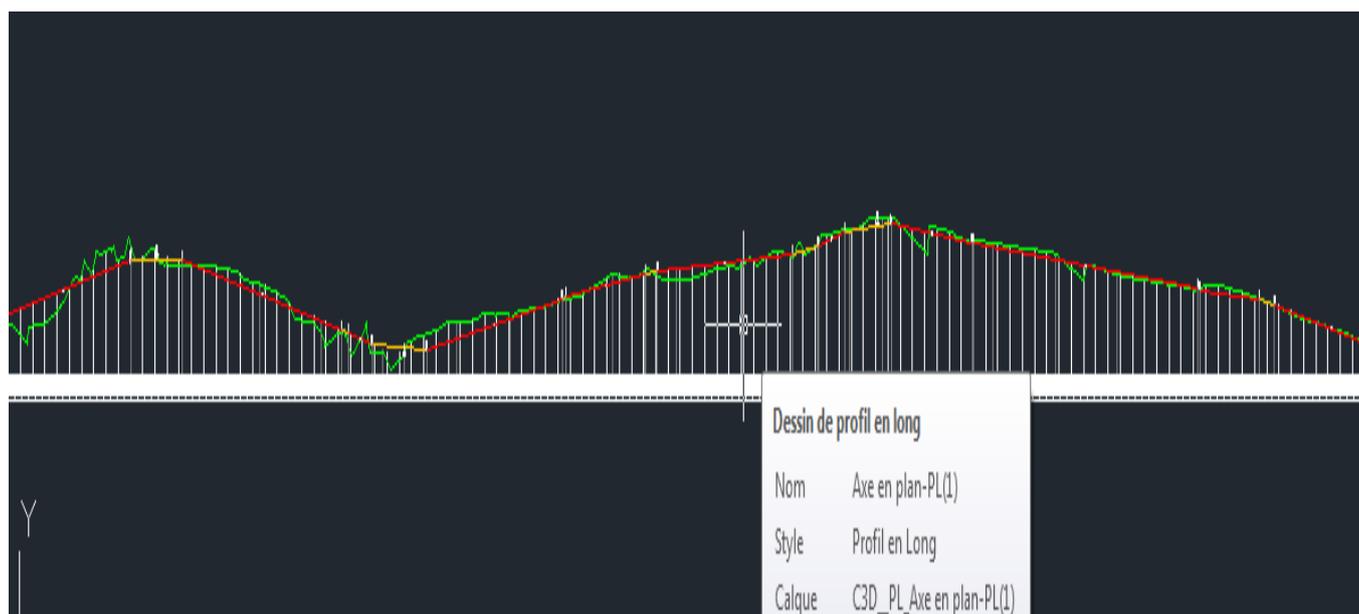
Catégorie		C3
Environnement		E1
Vitesses de référence (Km/h)		80
Rayon en angle saillant RV	Route bidirectionnelle : (2 voies)	
	RVm2 (minimal absolu) en m	3500
	RVn2 (minimal normal) en m	8000
Rayon en angle rentrant RV	Route bidirectionnelle : (2 voies)	
	R'Vm (minimal absolu) en m	1600
	R'Vn (minimal normal) en m	2400

Tableau -9- les paramètres géométriques

IV.6 Profil en long de la route:

L'étude de notre route est faite par le logiciel Autocad civil 3D, qui facilite le travail et présente des avantages très utiles par rapport les autre logiciels.

Nous présente ci dessous le graphisme du profil en long de notre projet :



Le tableau des résultats détaillés du profil en long est jointé en annexe.

CHAPTER V : PROFIL EN TRAVERS

VI. PROFIL EN TRAVERS:

VI.1. Définition:

Le profil en travers d'une chaussée est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de l'ensemble des points définissant sa surface sur un plan vertical.

Un projet routier comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d'abord un profil unique appelé « profil en travers » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eauxetc).

VI.2. Différent type de profils en travers:

Dans une étude d'un projet de route l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers :

VI.2.1 Profil en travers type:

Il contient tous les éléments constructifs de la future route dans toutes les situations (en remblai, en déblai, en alignement et en courbe).

VI.2.2 Profil en travers courants:

Se sont des profils dessinés à des distances régulières qui dépendent du terrain naturel (accidenté ou plat).

VI.3. Les éléments de composition du profils en travers:

Le profil en travers doit être constitué par les éléments suivants:

a)La chaussée:

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules.

La route peut être à chaussée unique ou à chaussée séparée par un terre-plein central.

b) La largeur rouable:

Elle comprend les sur largeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt.

Sur largeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive.

c)La plate-forme:

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais, comprenant la ou les deux chaussées et les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêts.

d) Assiette:

Surface de terrain réellement occupé par la route, ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai.

e) L'emprise:

C'est la surface du terrain naturel appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances (talus, chemins de désenclavement, exutoires, etc...), elle coïncidant généralement avec le domaine public.

f) Les accotements:

Les accotements sont les zones latérales de la plate-forme qui bordent extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés.

g) Le terre-plein central:

Le T.P.C assure la séparation des deux sens de circulation, Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il comprend :

- * Les sur largeurs de chaussée (bande de guidage).
- * Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.

h) Le fossé:

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route et talus et les eaux de pluie.

i) Le talus:

Le talus est l'inclinaison de terrain qui dépend de la cohésion des sols qui le constitue. Cette inclinaison exprimé par une fraction (A/B) telle que :

A : la distance sur la base du talus.

B : la hauteur du talus

En terre de moyenne cohésion, l'inclinaison de talus est de (3/2) pour les remblais et (1/1) pour les déblais.

j) La largeur de la chaussée :

La largeur de la chaussée dépend surtout de l'importance de la circulation à écouler.

La largeur du gabarit des véhicules étant de 2.50 m, cette même largeur constitue un minimum pour la largeur d'une voie Sur les routes à circulation intense et rapide, une largeur de voie de 2.50m est insuffisante, il faut au moins 3 m et mieux encore 3.50 m pour que les véhicules de tous gabarits qui puissent se croiser et se dépasser en toute sécurité.

La largeur de voie peut être réduite à 3m(exceptionnellement 2.50 m) sur les routes peu fréquentées

k) Pente transversale :

La pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface de la chaussée, en alignement droit le profil en travers de la chaussée est caractérisé par une pente transversal varie de 2% à 5% vers l'extérieur.

En courbe, la pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de $1/R$, cette variation de la pente transversale s'appelle : « le dévers »

Les dévers doivent rester constants tout au long de la partie circulaire des virages car $1/R$ est constant.

1) Point de rotation des dévers :

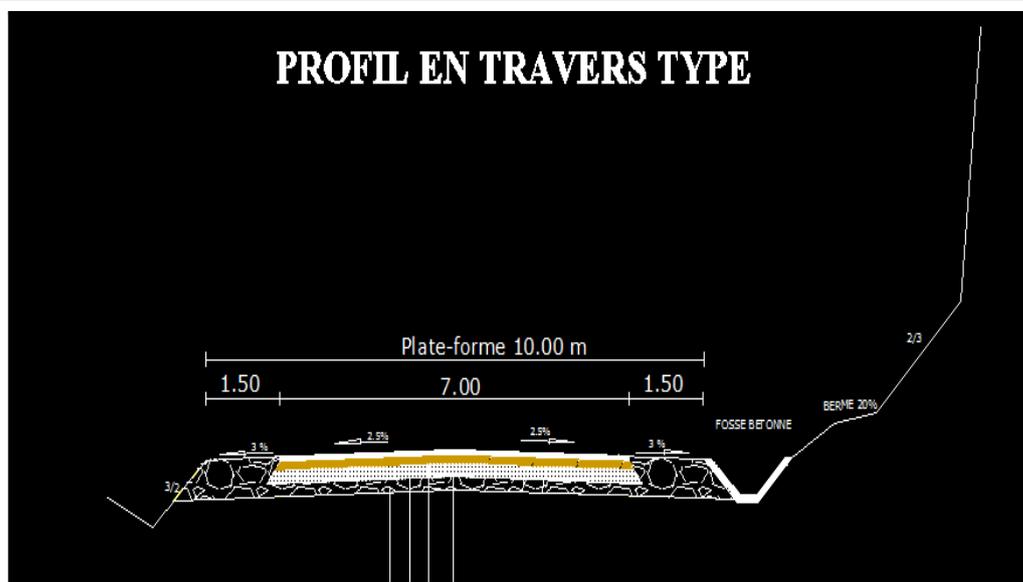
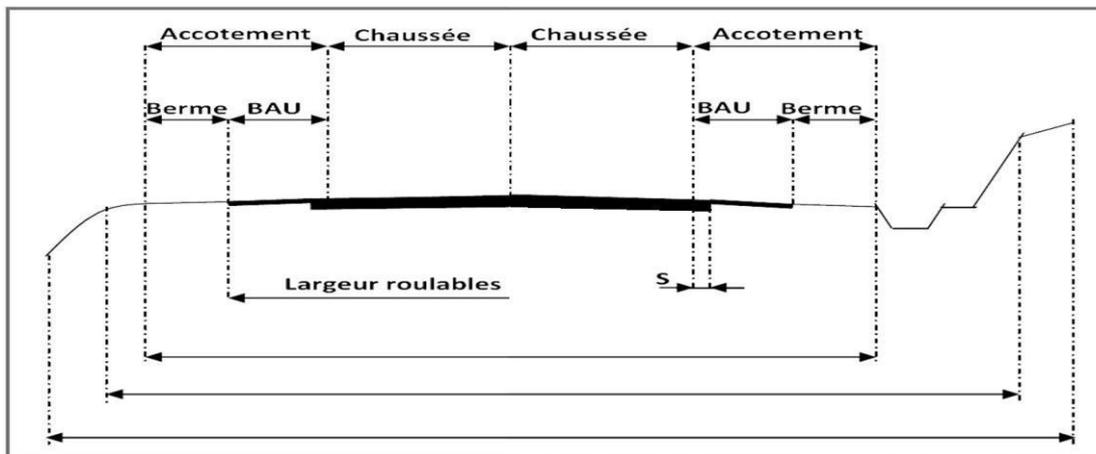
Le choix du point de rotation des dévers dépend essentiellement de la disposition des lieux.

Lorsque le T.P.C est revêtu, le point de rotation des dévers se situe habituellement sur l'axe de la plateforme, sinon le point de rotation des dévers de chaque chaussée se situe sur le bord de la chaussée.

VI.4. Profil En Travers de la RN 46 :

Les éléments constitutifs du profil en type sont :

- chaussée bidirectionnelle de 7m de largeur.
- 2 accotements de 1.5 m.
- Berme de 0.6m.



CHAPTER VI : CUBATURES

VII. CUBATURES :

VII.1 Introduction :

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont objectif primordial de modifier la forme du terrain naturel pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général.

Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les profils en travers.

La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième s'agit d'enlever des terres (déblai).

Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle **les cubatures des terrassements**.

VII.2 Définition :

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- * les profils en long.
- * les profils en travers.
- * Les distances entre les profils.

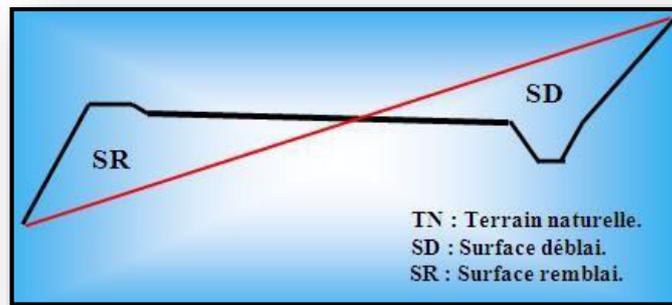
Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

VII.3 Méthode de calcul des cubatures :

Les cubatures sont Les calculs effectués pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Les cubatures sont fastidieuses, mais il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures qui simplifie le calcul.

Le travail consiste a calculé les surfaces SD et SR pour chaque profil en travers, en suite on les soustrait pour trouver la section pour notre projet.

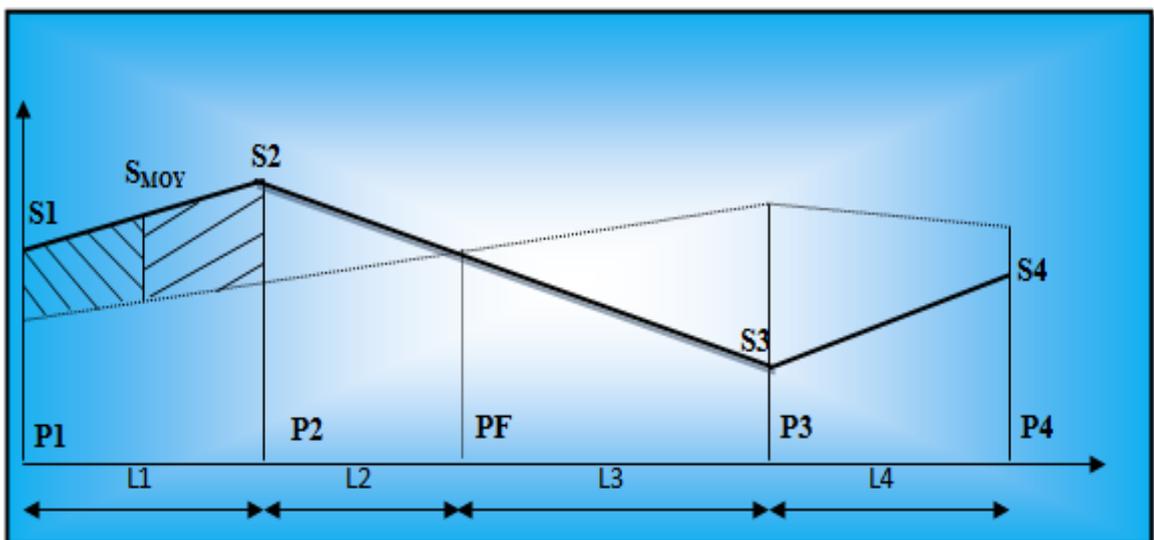
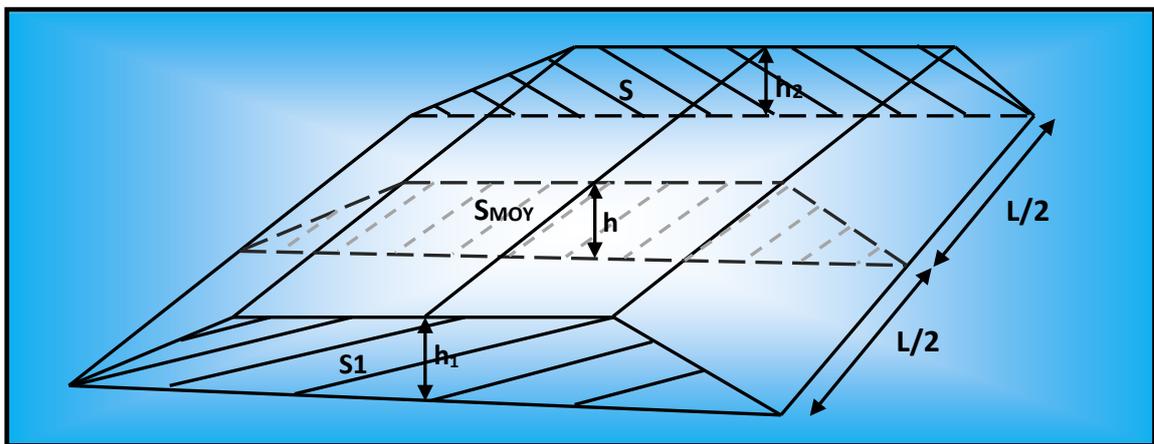
On utilise la méthode SARRAUS, c'est une méthode simple qui se résume dans le calcul des volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs.



Formule de Mr SARRAUS :

Cette méthode « formule des trois niveaux » consiste à calculer le volume déblai ou remblai des tronçons compris entre deux profils en travers successifs.

$$V = \frac{L}{6} (S_1 + S_2 + 4 \times S_{MOY})$$



- ✓ **PF**: profil fictive, surface nulle.
- ✓ **Si**: surface de profil en travers Pi.
- ✓ **Li** : distance entre ces deux profils.
- ✓ **SMOY** : surface intermédiaire (surface parallèle et à mi-distance Li).

RESULTATS :

Vol. Net Cum. (m3)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	VOLUME de remblai (m3)	Surface de remblai (m2)	VOLUME de déblai (m3)	Surface de déblai (m2)
16576270.1	368406.46	16944676.3	1556.34	31.1	100548.81	2020.33

- Le volume de déblai total de notre projet: **100548.81 m³**
- Le volume de remblai total de notre projet: **1556.34 m³**

CHAPITRE VII :
DIMENSIONNEMENT DU
CORPS DE CHAUSSEES

VII. DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEES :

VII.1 Introduction :

Le réseau routier joue un rôle vital dans l'économie du pays et l'état de son infrastructure est par conséquent crucial. Si les routes ne sont pas correctement construites ou ne sont pas entretenues en temps opportun elles se dégradent, le dimensionnement de la chaussée est fonction de la politique de gestion du réseau routier. Cette politique est définie par le maître de l'ouvrage en fonction de la hiérarchisation de son réseau routier.

Le dimensionnement s'agit en même temps, de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises, et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de chaussée.

VII.2 Objectifs du dimensionnement :

En fonction du trafic, du sol support, des matériaux utilisés et de la durée de vie de la chaussée, on devra déterminer les épaisseurs des différentes couches constituant la structure et qui sont :

- ✓ La couche de surface.
- ✓ La couche de base.
- ✓ La couche de fondation.

Cela constitue l'objectif fondamental des techniques de dimensionnement des structures de chaussées.

VII.3 Principales méthodes de dimensionnement :

On distingue deux familles:

- ✓ **Les méthodes empiriques** dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées.
- ✓ **Les méthodes** dites « **rationnelles** » basées sur l'étude théorique du comportement des chaussées.

Vu de la :

- ✓ Rapidité du dimensionnement.
- ✓ Simplicité de la méthode.
- ✓ l'obtention d'une structure standard permettant une bonne maîtrise de la technique et une capitalisation de l'expérience.

On a choisi **la méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves** comme une méthode rationnelle pour le dimensionnement du corps de chaussée de notre projet.

VII.4 Principes du dimensionnement du catalogue :

L'utilisation d'un catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres fondamentaux utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussée, rappelons-le, trafic, matériaux, sol support, environnement. Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour le dimensionnement. En fonction de cela, on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée.

VII.5 Application au projet :

VII.5.1 Méthode C.B.R :

➤ Données de l'étude :

- Année de comptage : 2010.
- TJMA2010= 3111 v/j
- Mise en service : 2016
- Durée de vie : 20 ans
- Taux d'accroissement : $\tau = 4.5 \%$
- Pourcentage de poids lourds : $Z = 10 \%$
- ICBR=5.

➤ Détermination de NPL2035:

$$\text{TJMA 2016} = \text{TJMA 2010} (1 + \tau)^3$$

$$= 3111 (1 + 0.045)^3$$

$$= 3550 \text{ v/j}$$

$$\text{NPL2035} = \text{TJMA 2016} \times 0.5 \times \% \text{PL} \times (1 + \tau)^{20}$$

$$= 3550 \times 0.5 \times 0.10 \times (1 + 0.045)^{20}$$

$$= 428 \text{ PL/j/sens}$$

Détermination de l'épaisseur équivalente :

Pour I=5

$$E_{\text{équi}} = [100 + \sqrt{P} (75 + 50 \log (N/10))] / (\text{ICBR} + 5)$$

$$E_{\text{équi}} = [100 + \sqrt{\frac{13}{2}} (75 + 50 \log (428/10))] / (5 + 5)$$

$$E_{\text{équi}} = 49.92 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm.}$$

Donc l'épaisseur équivalente : $a1.e1 + a2.e2 + a3.e3 = 50 \text{ cm}$

Où

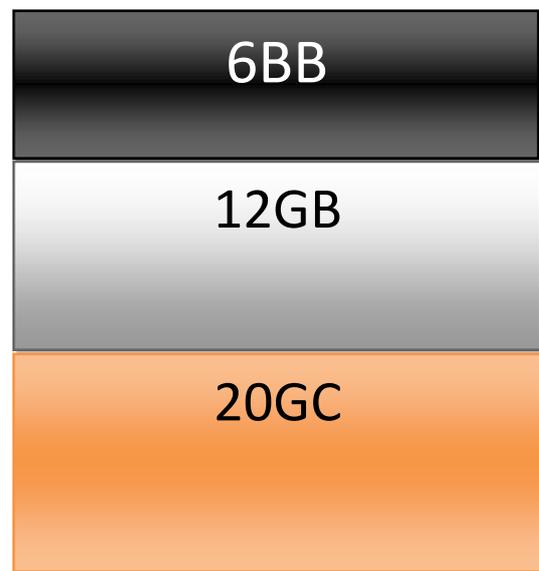
a_i : coefficient d'équivalence des différents matériaux.

Nom de la couche	Matériaux	Coefficient d'équivalence	L'épaisseur de la couche(cm)
Roulement	BB	2	6
Base	GB	1.5	12
Fondation	GC	1	?

$$e_3 = 50 - (2 \times 6 + 1,5 \times 12) / 1 = 20 \text{ cm.}$$

Alors : $e_3 = 20 \text{ cm}$

L'épaisseur réelle: $6 + 12 + 20 = 38 \text{ cm}$



VIII.5.2 La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées

Neuves :

Données de l'étude :

Année de comptage.2010

Année de mise en service 2016

Taux de croissance 4.5%

Le pourcentage (%) des poids lourds $Z = 10\%$

TJMA 2010: 3111v/j/sens

La durée de vie de projet 20 ans

La vitesse de base $V_B = 80 \text{ km/h}$

Année horizon: 2016/2036

Détermination du type de réseaux principaux :

D'après le catalogue on a la classification des réseaux principaux suivante :

Réseau principal	Trafic (véhicules/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

TJMA2010 = 3111 (V/j).

3111(V/j) >**1500**

le réseau principal est RP1.

➤ **Détermination de la classe de trafic :**

Définition du poids lourd :

Un poids lourd (PL) est un véhicule de plus de 3.5 tonnes de poids total autorisé en charge.

- TJMA2016 =4051v/j.

- τ = 4.5 %.

- Z=10%.

- TPL2016=4051 \times 0.1 \times 0.5 = 202 (PL/ j/sens).

➤ **Détermination de la classe de trafic (TPLi) :**

Les classes de trafic (TPLi) adoptées dans les fiches structures de dimensionnement sont données, pour chaque niveau de réseau principal, en nombre PL par jour et par sens à l'année de mise en service.

Classe TPLi pour RP1 :

<u>TPLi</u>	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
PL/j/sens	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

Tableau 10 : classes de trafic (TPLi)

TPL₂₀₁₆ = 202(PL/j/sens) : La classe de trafic est **TPL₃**

➤ **Détermination de la portance de sol-support de chaussée :**

Présentation des classes de portance des sols :

Le tableau suivant regroupe les classes de portance des sols par ordre de S4 à S0. Cette classification sera également utilisée pour les sol-supports de chaussée.

PORTANCE (SI)	CBR
S4	<5
S3	5-10
S2	10-25
S1	25-40
S0	>40

Tableau 11 : classes de portance des sols

Classes de portances de sols supports pour le dimensionnement :

Pour le dimensionnement des structures, on distingue 4 classes de sols support à savoir : S3, S2, S1, S0. Les valeurs des modules indiqués sur le tableau ci-dessous, ont été calculées à partir de la relation empirique suivante :

Classes de sol-support	S3	S2	S1	S0
Module (MPa)	25-50	50-125	125-200	>200

$$E \text{ (MPa)} = 5 \cdot \text{CBR}$$

$$E(\text{MPa}) = 5 \cdot 5 = 25 \text{ donc S3}$$

D'après le rapport géotechnique, nous avons un indice de CBR= 5, donc

La portance de sol support est de S3 .On doit prévoir une couche de forme en Matériau non traité de 40 cm (en deux couches), pour améliorer la portance de Sol support (**Voir le tableau ci-dessous**).

_Class de portance de sol terrassé(si)	Matériaux de couche de forme	Epaisseur de matériaux de couche de forme	Classe de portance de sol support visée (si)
S03	Matériaux non traités (*)	40 CM (en 2 couches)	S02
Matériaux non traités(*) :grave naturelle propre(T.V.O ,T.V.C),Matériaux locaux			

Tableau 12 : de sur classement avec couche de forme en matériaux non traité

Catalogue de Dimensionnement des Chaussées Nouvelles

RESEAU PRINCIPAL DE NIVEAU 1 (RP1) GB/GNT**FICHE STRUCTURE GRAVE BITUME/GRAVE NON TRAITEE**

Type : MTB

Zone climatique : I et II

Durée de vie : 20 ans, taux d'accroissement : 4%

TPLi PL/j/sens	Si	S2	S1	S0
		50 MPa	12,5 MPa	200 MPa
6000				
TPL7				
5000				
3000				
TPL6				
1500				
TPL5				
600				
TPL4				
300				
TPL3				
150				

Si : Classe de sol support, TPLi : Classe de trafic PL/jour/sens

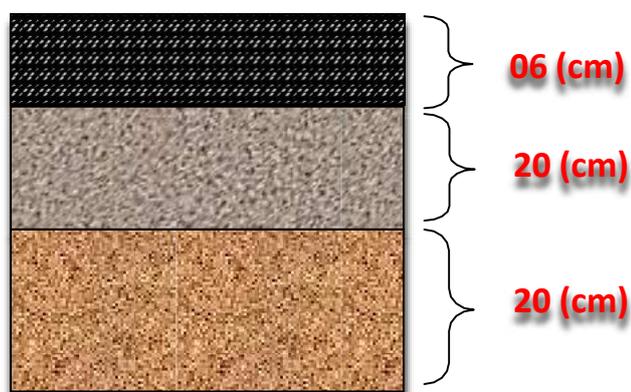
BB : Béton bitumineux, GB : Grave bitume (0/20), GNT : Grave non traitée

Épaisseurs de mise en œuvre : GB (min = 10, max = 15), GNT : (min = 15, max = 25)

Toutes les épaisseurs sont données en cm

Avec une zone climatique I, et d'après le catalogue on obtient la structure de chaussée suivante: **06BB + 20GB + 30GC**.

- ❖ **Couche de roulement.**
- ❖ **couche de base.**
- ❖ **Couche de fondation.**



L'application des deux méthodes nous donne les résultats suivants :

Méthode CBR	Méthode de catalogue Algérien
06BB+12GB+20GC	06BB + 20GB + 20GC

VII. Conclusion :

D'après le tableau ci-dessus, on remarque bien que la méthode dite du catalogue de dimensionnement de chaussée, nous donne un corps de chaussée avec une épaisseur de structure importante et uniforme pour l'ensemble du tracé, alors que la méthode dite CBR nous propose une structure de chaussée avec des épaisseurs nettement moins importantes. La méthode du catalogue de dimensionnement de chaussée étant une méthode qui s'appuie sur des lois de comportement à la fatigue, nous nous proposons de l'appliquer à notre projet pour les raisons suivantes :

- Augmentation de la longévité de la route.
- Disponibilité de crédit d'investissement à court terme pour éviter les fluctuations dans le cas d'un investissement différé à long terme.
- Minimiser les coûts d'entretien.
- Expérimentation de la méthode pour avoir un retour d'expérience suffisant pour sa généralisation et son adoption ou bien à sa révision selon les observations qui seront faites.
- Un meilleur comportement à l'agressivité des charges son cesse croissantes (l'orniérage).

A signaler que le Corps de chaussée est de : 6BB+20GB+ 20GC. Plus la couche de forme

CHAPTER VIII: SIGNALISATION

VIII SIGNALISATION :

VIII.1 INTRODUCTION :

La signalisation routière est un moyen de communication avec les usagers.

- ✓ Bien signaler c'est bien communiquer.
- ✓ Bien signaler, c'est assurer l'écoulement du trafic dans les meilleures conditions de circulation, de gestion du trafic et de sécurité routière.

VIII.2 OBJECTIFS DE SIGNALISATION ROUTIERE :

La signalisation routière a pour rôle:

- ✓ De rendre plus sûre et plus facile la circulation routière.
- ✓ De rappeler certaines prescriptions du code de la route.
- ✓ D'indiquer et de rappeler les diverses prescriptions particulières.
- ✓ De donner des informations relatives à l'usage de la route.

VIII.3 CRITERES A RESPECTER POUR LES SIGNALISATIONS

Il est indispensable avant d'entamer la conception de la signalisation de respecter certains critères, afin que celle-ci soit bien vue, lue, et comprise :

- ✓ Homogénéité entre la géométrie de la route et la signalisation.
- ✓ Respecter les règles d'implantation
- ✓ Cohérence entre les signalisations verticales et horizontales.
- ✓ Eviter les panneaux publicitaires irréguliers.
- ✓ Eviter la multiplication des signaux et des super signaux, car la surabondance nuit à l'efficacité.

VIII.4 TYPES DE SIGNALISATION :

On distingue deux types de signalisation :

- ✓ Signalisation verticale.
- ✓ Signalisation horizontale.
 - A. **Signalisation verticale** : Elle se fait à l'aide de panneaux, ces derniers sont des objets qui transmettent un message visuel grâce à leur emplacement, leur type, leur couleur et leur forme. Elles peuvent être classées dans quatre classes:
 - Signaux de danger : Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à **150m** en avant de l'obstacle à signaler (signalisation avancée).
 - Signaux comportant une prescription absolue : Panneaux de forme circulaire, on trouve :

- ✓ L'interdiction.
 - ✓ L'obligation.
 - ✓ La fin de prescription.
- Signaux à simple indication : Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminés en pointe de flèche :
- ✓ Signaux d'indication.
 - ✓ Signaux de direction.
 - ✓ Signaux de localisation.
 - ✓ Signaux divers.

Signaux de position des dangers : Toujours implantés en pré signalisation, ils sont d'un emploi peu fréquent en milieu urbain.

B. Signalisation horizontale : Elle concerne uniquement les marques sur chaussées qui sont employées pour régler la circulation, avertir ou guider les usagers. Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages sur chaussées, et pour certains marquages spéciaux, on utilise d'autres couleurs dans les conditions suivantes :

- ***Le jaune pour***
 - ✓ Les marques interdisant l'arrêt ou le stationnement ;
 - ✓ Les lignes zigzag indiquant les arrêts d'autobus ;
 - ✓ Le marquage temporaire.
- ***Le bleu*** éventuellement pour les limites de stationnement en zone bleue.
- ***Le rouge*** pour les damiers rouge et blanc matérialisant le début des voies de détresse.

La signalisation horizontale se divise en trois types :

Marquages longitudinales :

- ***Lignes continues :***

Elles ont un caractère impératif (non franchissables sauf du côté où elles sont doublées par une ligne discontinue). Ces lignes sont utilisées pour indiquer les sections de route où le dépassement est interdit.

- ***Lignes discontinues :***

Ce sont des lignes utilisées pour le marquage, elles se différencient par leur module, c'est-à-dire le rapport de la longueur des traits à celle de leurs intervalles. On distingue :

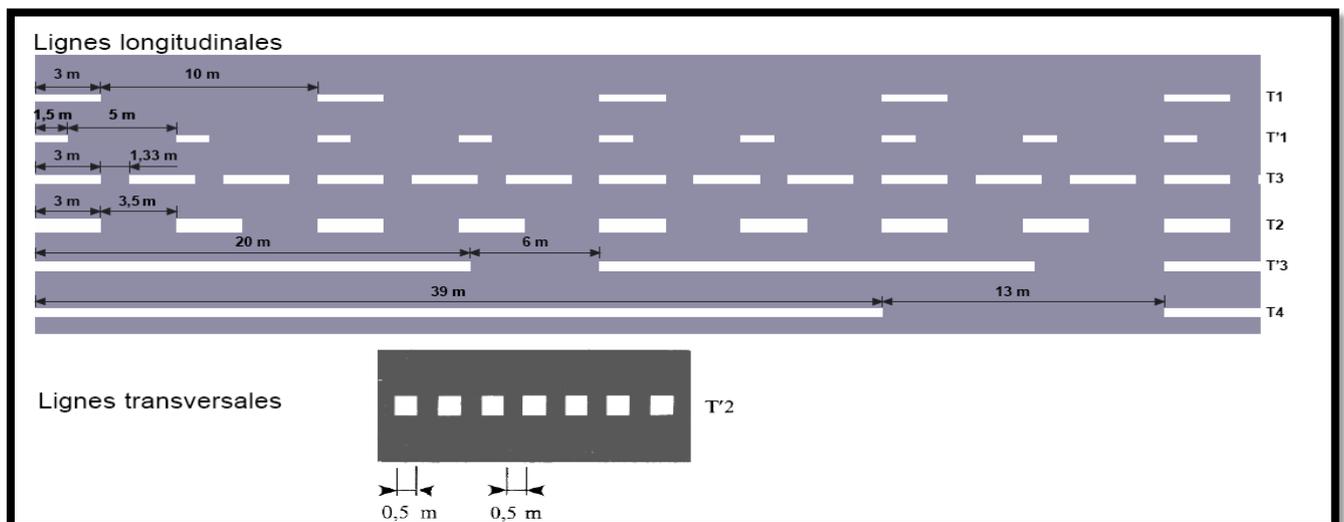
- Les lignes axiales ou lignes de délimitation de voies pour lesquelles la longueur des traits est égale au tiers de leurs intervalles.
- Les lignes de rive, les lignes de délimitation des voies d'accélération, de décélération ou d'entrecroisement pour lesquelles la longueur des traits est sensiblement égale à celle de leurs intervalles.
- Les lignes d'avertissement de lignes continues, les lignes délimitant les bandes d'arrêt d'urgence, par lesquelles la longueur des traits est sensiblement triple de celle de leurs intervalles.
- Le tableau ci-après donne les caractéristiques de tous les types de lignes discontinues selon les normes européennes :

Type de marquage	Type de modulation	Longueur du trait (m)	Intervalle entre 2 traits successifs (m)	Rapport Pleins/vides
Axial longitudinal	T ₁	3,00	10,00	1/3
	T' ₁	1,50	5,00	1/3
	T ₃	3,00	1,33	3
Rive	T ₂	3,00	3,50	1
	T' ₃	20,00	6,00	3
	T ₄	39,00	13,00	3
Transversal	T' ₂	0,50	0,50	3

Tableau 13 : les caractéristiques de lignes discontinues.

- Largeur Des Lignes:

La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité “ *u* ” différente selon



le type de route. On adopte les valeurs suivantes pour “ *u* ”.

u = 7,5 cm sur les autoroutes, les routes à chaussées séparées, les routes à 4 voies de rase campagne.

u = 6 cm sur les routes importantes, notamment sur les routes à grande circulation.

u = 5 cm sur toutes les autres routes ;

u = 3 cm pour les lignes tracées sur les pistes cyclables.

La valeur de “ *u* ” doit être homogène sur tout un itinéraire. En particulier, elle ne doit pas varier au passage d'un département à l'autre.

Marquages transversales :

- **Lignes transversales continue** : éventuellement tracées à la limite où les conducteurs devraient marquer un temps d'arrêt.
- **Lignes transversales discontinue** : éventuellement tracées à la limite où les conducteurs devaient céder le passage aux intersections.

C. Autres signalisation :

- **les flèches de rabattement :**

Ces flèches légèrement incurvées signalent aux usagers qu'ils doivent emprunter la voie située du côté qu'elles indiquent.

- **Les flèches de sélection :**

Ces flèches situées au milieu d'une voie signalent aux usagers, notamment à proximité des intersections, qu'il doit suivre la direction indiquée.

- ✓ Pour piétons,
- ✓ Pour cyclistes,
- ✓ Pour le stationnement,
- ✓ Pour les ralentisseurs de type dos d'âne.

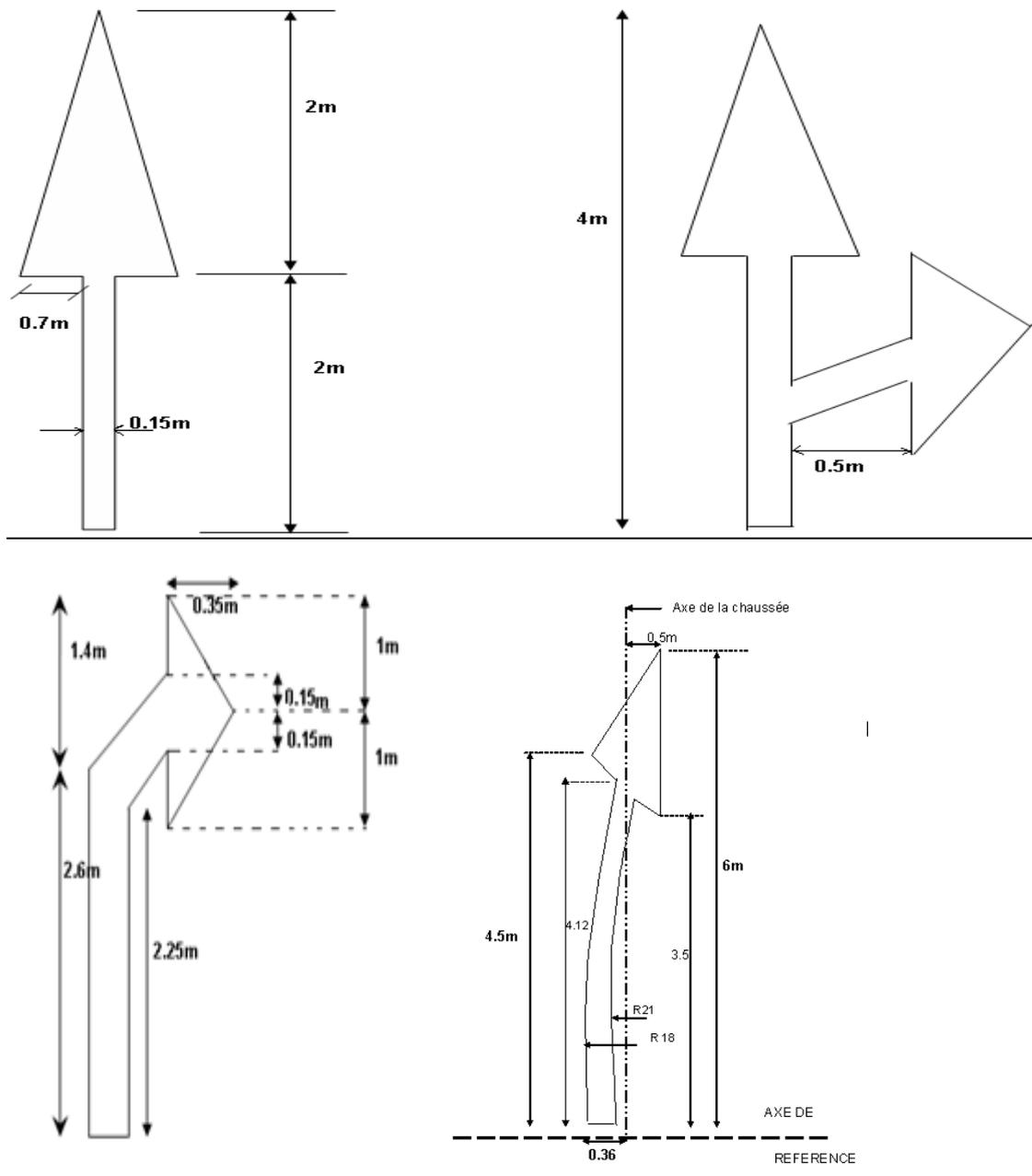
XI.5 Choix des modulations et largeurs des lignes :

Le tableau ci-après indique pour chaque type de marquage la modulation et la largeur à adopter.

Désignation des marques	Modulation	Largeur
A - Lignes longitudinales axiales		
1-Lignes continues cas general		
Ligne axiale ou de délimitation des voies	Continue	2u (1)
Ligne axiale sur chaussée à 4 voies	Continue	5u
Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies situées hors agglomération, avec deux voies affectées à un sens de circulation et ligne oblique marquant un rétrécissement de route de trois à deux voies	Continue	3u
2- lignes discontinues de type T1		
Ligne axiale ou de délimitation de voie en rase campagne	T1	2u
Ligne axiale ou de délimitation de voie en agglomération ou de piste cyclable	T1, T'1 ou T3	2u
3- lignes discontinues de type T3		
Ligne d'annonce d'une ligne continue	T3	2u
Ligne de dissuasion en remplacement d'une ligne continue	T3	2u
Ligne d'annonce d'une ligne continue sur les routes à trois voies situées hors agglomération, avec deux voies affectées à un sens de circulation	T3	3u
4 - Lignes mixtes :		
La ligne mixte est constituée par une ligne continue doublée par une ligne discontinue de type T1 ou T3	T1 ou T3	2u (3)
5- Interruption d'une ligne continue pour permettre l'accès direct aux propriétés riveraines.	T'2	2u-3u
(1) A porter à 3u à l'approche d'un îlot		
(2) Cela se produit par exemple aux abords d'un point d'inflexion ou d'un point bas entre deux dos-d'âne rapprochés (schémas A1 et A2 en annexe).		
(3) Chacune (espacement entre les lignes : 2u).		
B - Lignes longitudinales de rives ou de délimitation de certaines voies		
1 - Lignes discontinues de type T2		
Ligne de rive de chaussée	T2	3u
Ligne de délimitation des voies de décélération, d'insertion ou d'entrecroisement	T2	5u
Ligne d'entrée et de sortie des voies pour véhicules lents	T2	5u

VIII.6 APPLICATION AU PROJET :

Les panneaux horizontaux :



Les panneaux verticaux :**A1b : virage à gauche****A1a : virage à droite****Succession de virage dont le 1^{ère} est à droite****Succession de virage dont le 1^{ère} est à gauche****Limiteur de vitesse**

PARTIE 02 :
FORMULATION DE LA
GRAVE CIMENT

CHAPITRE I : GRAVE-CIMENT

I.1 INTRODUCTION :

Les matériaux traités au liant hydraulique sont fréquemment utilisés en technique routière notamment pour réaliser les couches de base et de fondation. Ces matériaux offrent de bonnes caractéristiques techniques de résistance et sont particulièrement appréciées pour les chaussées fortement circulées ou les sols industriels. Euro via produit ces matériaux afin d'offrir une gamme complète de solutions pour la route, les unités industrielles produisant des matériaux traités au liant hydraulique sont appelées « usines de blanc ».

Les **mélanges traités aux liants hydrauliques**, selon la terminologie européenne, ou **matériaux traités aux liants hydrauliques**, selon la terminologie française, sont utilisés pour la construction et l'entretien des couches de chaussées des routes, des aéroports et d'autres aires de trafic. Ils sont constitués d'un mélange de granulats et de liant hydraulique.

Les graves traitées sont des matériaux obtenus de la même façon que les graves reconstituées humidifiées (GRH) auxquelles on ajoute un liant.

Graves traitées aux liants hydrauliques - Le liant peut être un ciment routier hydraulique, dans ce cas on parle de « grave-ciment », ou un liant spécial routier, ou un laitier, ou un mélange laitier-chaux, ou cendre volante-chaux, voire pouzzolane-chaux. La teneur en liant est de l'ordre de 5 %.



Figure -4- : photo de couche fondation en Grave ciment

I .2 MATERIAUX TRAITES CLASSIQUES :

Appellation usuelle en France	Appellation dans la norme NF EN	Référence de la norme NF EN
Grave-ciment(GC)	Mélange granulaire traité au ciment	NF EN 14227-1
Grave-laitier(GL)	Mélange traité au laitier B2	NF EN 14227-2
Grave-cendre volante-chaux (GCV)	Mélange traité à la cendre volante 2	NF EN 14227-3 et NF EN 14227-3, 7
Grave-cendre volante hydraulique (GCVH)	Mélange traité à la cendre volante 2	NF EN 14227-3
Grave-liant hydraulique routier (GLHR)	Mélange traité au liant hydraulique routier 2	NF EN 14227-5 § 6.7
Grave-laitier-cendre volante volante (GLCV)	Mélange traité à la cendre et au laitier 2	NF EN 14227-3 § 6.3.1 ou NF EN 14227-2 § 6.3.3
Sable-ciment (SC)	Mélange granulaire traité au ciment	NF EN 14227-1
Sable-laitier (SL)	Mélange traité au laitier B3	NF EN 14227-2
Sable-cendre volante(SCV)	Mélange traité à la cendre volante	NF EN 14227-3
Sable-liant hydraulique routier (SLHR)	Mélange traité au liant hydraulique routier	NF EN 14227-5
Cendre volante chaux gypse (CVCG)	Mélange traité à la cendre volante 5	NF EN 14227-3

Tableau-9- : Matériaux Les mélanges traités aux liants hydrauliques

I.3 DEFINITION GRAVE CIMENT :

Grave-Ciment est un grave traité par un liant hydraulique (ciment) utilisée pour une structure de chaussée dans laquelle les couches de base et de fondation.

Grave ciment : Grave traitée au ciment (2,5 à 5,5 %).

Il est utilisé une grave 0/14 ou 0/20 conforme à la norme NF P 98.116 et NF P 92

I.4 LA STABILISATION DES FONDATIONS DE CHAUSSEES AUX LIANTS HYDRAULIQUES :

Les chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques (graves-ciments), d'une épaisseur supérieure à 250 mm et répondant aux critères de la méthode rationnelle de dimensionnement, ont recommencé à être largement utilisées en France à partir de 1975. Les graves-ciment sont composées de granulats neufs de diamètre inférieur à 20 mm. Elles sont malaxées en centrale et contiennent généralement de 3 à 4,5 % de ciment en masse de matériaux secs. Un retardateur de prise est également ajouté à l'eau de gâchage afin d'augmenter le délai de maniabilité et améliorer la mise en œuvre. Les graves-ciments sont le plus souvent recouverte d'une épaisseur relativement mince d'enrobé bitumineux (60 à 150 mm).

La principale dégradation observée sur une chaussée en grave-ciment est la fissuration transversale sous l'effet du retrait de prise et du retrait thermique. La méthode de dimensionnement française prend en compte la présence inévitable de ces fissures transversales par une augmentation des contraintes en bord de fissures. Les facteurs influençant la fissuration de retrait des graves-ciments sont les suivants : nature et granulométrie des granulats, nature et dosage du liant, période de mise en œuvre, climat annuel, trafic, épaisseur et nature de l'enrobé bitumineux de surface. Les graves-ciments non préfissurées montrent un espacement entre les fissures transversales se formant de façon naturelle qui varie entre 5 à 10 m. Il existe des techniques de préfissuration, telles que le découpage d'entailles à la surface de la couche, les joints à l'émulsion de bitume et les joints ondulés, qui permettent de localiser et de contrôler l'ouverture des fissures, à des espacements inférieurs à 5 m. Ces préfissures sont scellées une fois qu'elles remontent à la surface de la couche de roulement. Plusieurs autres techniques peuvent également retarder la remontée des fissures dans la couche de roulement bitumineuse, dont très peu s'avèrent efficaces

pour les graves-ciments compte tenu des mouvements thermiques importants aux joints.

On caractérise une grave-ciment par son module élastique, sa résistance à la traction et son comportement à la fatigue. La rigidité élevée de la couche en grave-ciment limite considérablement les contraintes verticales de compression transmises au sol support, pourvu que l'on contrôle l'ouverture et la sévérité des fissures transversales. Toutefois, la grave-ciment est particulièrement sensible aux passages répétés des véhicules et à l'endommagement par fatigue. La contrainte horizontale en traction à la fibre inférieure de la couche rigide est déterminante pour le dimensionnement d'une telle chaussée. C'est pourquoi les épaisseurs de grave-ciment maintenant utilisées en France sont supérieures à 250 mm. De façon générale, pour supporter un nombre de cycles de chargement égal à un million, le rapport de la contrainte de chargement (σ_6) sur la résistance à la traction statique (σ_0) doit être inférieur à 0,50. La durée de vie de la grave-ciment est très sensible à une variation de son épaisseur et de son degré de compacité.

Au Québec, les fondations stabilisées au liant hydraulique sous un revêtement souple ont été très peu utilisées. En plus du site expérimental de Saint-Célestin, on note deux expériences de retraitement du revêtement et stabilisation in situ de la fondation avec du ciment Portland réalisées en 1996 et en 1998 sur des routes sollicitées par des véhicules lourds. Dans les deux cas, les matériaux pulvérisés étaient constitués de l'ancien enrobé bitumineux et d'une partie de la fondation granulaire en proportions égales. La quantité de ciment, incorporée en place sous forme de coulis, variait de 7 à 9 % par rapport à la masse de matériaux secs. Quatre ans après la mise en service, on comptait plusieurs fissures longitudinales associées à une rupture en fatigue du matériau stabilisé ou à une faiblesse des joints longitudinaux entre les passages de l'engin de retraitement. On observait également plusieurs fissures transversales (espacées de 10 m à 17 m) apparues dès les premières années et liées au retrait de prise et au retrait thermique du matériau cimentaire et affectant significativement la qualité de roulement. Des relevés sous chargement dynamique montraient de faibles déformations comparativement à une chaussée souple standard mais très variables le long des sections. Cette variabilité a été attribuée à l'hétérogénéité des matériaux retraités et à la difficulté de contrôler avec

précision le débit de coulis injecté. On a constaté que la perte de portance au dégel demeurait relativement faible.

I.5 DOMAINES D'APPLICATION :

Grave-Ciment est utilisé en travaux neufs ou en renforcement pour la confection de couches d'assise de chaussées (couche de fondations, couche de base).

Selon le dimensionnement de l'ouvrage, Grave-Ciment est particulièrement adapté aux chaussées très sollicitées et aux durées de service longues.



Figure-5:- : photo de fabriqué grave ciment



I.6 LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

I.6.1 AVANTAGES :

- Résistance mécanique élevée, indépendante de la température.
- Très faible fluage.
- Comportement constant pendant toute la durée de vie de l'ouvrage.
- Moins de contraintes diffuses sur le sol car elles sont atténuées par la rigidité de la couche de grave ciment.
- Permet d'obtenir un support de très faible déformabilité pour les couches supérieures.
- Diminution de l'épaisseur de la couche concernée en raison de sa performance mécanique par rapport aux graves non traitées.
- Faible sensibilité aux effets des cycles gel/dégel.

I.6.2 INCONVENIENTS :

- Fissuration du retrait (entretien des fissures)
- Impossibilité de réaliser des couches minces (15 cm mini)
- Courbe de fatigue plate (comportement très sensible à un sous dimensionnement ou aux surcharges éventuelle.

I.7 CARACTERISTIQUES GRAVE-CIMENT :

Grave-Ciment est un mélange prêt à l'emploi de granulats, de ciment, d'eau, et éventuellement d'un retardateur de prise conforme à la norme NF P 98-116 "Assises de chaussées - Graves traitées aux liants hydrauliques".

Grave-Ciment est un mélange hors du champ d'application de la norme NF EN 206-1. Il est fabriqué en centrale de Béton Prêt à l'Emploi.

Les granulats, conformes à la norme XP P 18-545, ont une granularité continue 0/D avec D égal à 10, 14 ou 20 mm.

Le dosage en ciment est compris entre 3 et 4 % du poids des constituants.

La teneur en eau est comprise entre 4 et 7 % (consistance ferme) du poids total.



Figure-6- : photo de transporté sur chantier par camion-benne

Délais de maniabilité minimaux en fonction des travaux à réaliser (Grave-Ciment avec retardateur de prise)	
Travaux	Délais de maniabilité
Réalisation d'une chaussée neuve :	
*en plein largeur, sans réglage fin	6h
*par demi-chaussée	10h
*en plein largeur, sans réglage fin	10h
Renforcement sous circulation :	24h

Tableau -10- Grave-Ciment avec retardateur de prise

I.7.1 MISE EN ŒUVRE :

- La mise en œuvre suit les prescriptions de la norme NF98-115 "Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées".
- Grave-Ciment est mis en œuvre à l'aide d'une niveleuse, puis compacté par

Des rouleaux à pneus ou/et des rouleaux mécaniques lisses vibrants.

- Grave-Ciment est transporté sur chantier par camion-benne.
- Les joints transversaux sont réalisés, soit avant le compactage, soit par sciage après le compactage.
- Afin d'éviter la dessiccation pendant la mise en œuvre, une humidité constante par arrosage modéré, mais régulier, sera assurée.
- En fin de journée, il est recommandé d'appliquer une émulsion suivie d'un gravillonnage.

CHAPITRE II: SABLE DE DUNE

II.1 INTRODUCTION :

La construction routière nécessite des quantités énormes de granulats. Le caractère assez restrictif des spécifications routières fait que seules certaines catégories de matériaux sont couramment utilisées : ce sont essentiellement des alluvions et des matériaux provenant des roches massives. Les sables naturels, formations superficielles extrêmement répandues dans certaines régions, et les sables de concassage ont été trop longtemps considérés comme des matériaux de caractéristiques médiocres et d'importance secondaire en technique routière. La raréfaction des matériaux routiers de qualité dans la presque totalité du pays, le renchérissement des transports et la prise en compte des problèmes d'environnement devraient inciter maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, organismes techniques de l'administration et entreprises à rechercher des palliatifs, notamment en faisant appel aux techniques permettant de valoriser les matériaux disponibles localement. Dans ce contexte, il est alors aisé d'entrevoir l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter la valorisation des sables pour la réalisation des bétons dont ils seraient le constituant principal.



Figure-8-: photo sable de dune

II .2 DEFINITION SABLE DE DUNE :

Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités.

Le sable est un matériau de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Le désert des sables, ou des ergs, sont localisés dans les cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales sont concentrées par des écoulements liés aux périodes pluviales au début du quaternaire .

D'après (Bagnold,.....) ,le sable véritable, définit comme ensemble de grains non susceptibles d'être mis en suspension, se déplace près du sol par le mécanisme de saltation.

Le sable est composé des minéraux comme la silice, les silicates, les carbonates et les argiles. Les sables de la zone d'étude sont des sables siliceux, des carbonates et des argiles.



Figure -9-: Dunes de sable

II .3 IDENTIFICATION DES SABLES DE DUNES :

II .3.1 Mécanismes de formation :

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.

II .3.2 Types des dunes :

1. les avant-dunes (foredune pour les anglophones), qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. l'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles.

2. les falaises dunaires (dune cliff pour les anglophones) n'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.

3. les dunes perchées, (cliff-top dune pour les anglophones), qui apparaissent au sommet d'une falaise vive; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire.

4. les cordons dunaires artificiels, qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradés rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France.).

II .3.3 Physique des dunes :

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert.

Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et leurs déplacements menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris.

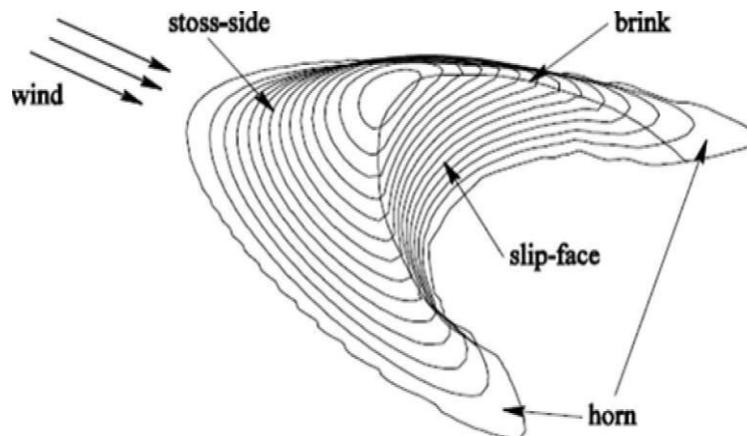


Figure -10-: Morphologie de la barkhane

La barkhane :

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels. Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune. Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir fig. I.1). Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable

sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent.



Figure -11- : Photo montrant une barchane

– **Les Sif :**

sont des dunes allongées en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité. Elles se forment par les élargissement du bras d'une barchane, sous l'effet d'un vent perpendiculaire au vent dominant (Fig14 C).



Figure -12- : Photo montrant un sif

– **La dune parabolique:** est une dune dissymétrique à concavité au vent souvent fixée par la végétation. Sa disposition par rapport à la direction du vent est donc

inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et ne migre jamais une fois qu'elle est formée.

Le sable est un sédiment détritique meuble composé, en l'absence de ciment et des grains jointifs, dont la taille est comprise entre 64 μm et 2 m.

II .3.4 Diverses utilisations :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique: remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux. Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou «sables noirs», sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels: érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée; destruction à terre de la nappe phréatique, etc.

II .3.5 Propriétés sable de dune :

Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30°, au delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable. Cette propriété peut être exploitée pour étudier des formes parfaites générées par l'écoulement du sable sur des plaques de formes différentes. Par exemple, en faisant couler du sable sur un socle de forme carrée, le sable va former une pyramide parfaite avec des pentes de 30°. Le sable est utilisé pour faire du béton et comme matière première du verre. Il peut être utilisé pour filtrer les liquides. Du fait de sa facilité de manipulation, il est également employé lorsque l'on a besoin d'acheminer de la

matière (peu importe sa nature) dans un endroit, par exemple pour servir de lest ou pour protéger (sac de sable contre les éclats d'explosion et les balles). Il est aussi utilisé comme abrasif dans des usines pour nettoyer des pièces métalliques. Le sable est également un élément important de l'industrie touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte.

II .3.6 Silice « quartz » :

La silice (quartz) est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 . La silice pure se présente sous la forme d'un minéral dur et existe sous des formes variées dans la nature:

- principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27% de la croûte terrestre ;
- fréquente dans les roches métamorphiques ;
- fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisé ou amorphe dans les roches volcaniques.

La silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO_4 liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre.

II .4 UTILISATION DU SABLE DE DUNE :

II .4.1.Utilisation du sable de dunes dans le béton:

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par **F.COIGNET** (Rapport général et Cette naissance a donnée le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil; pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées.

On trouve comme exemple les recherches menées à l'étranger: les travaux de **KOTZIAS** qui sont fait au golfe d'Arabie pour les deux raisons suivantes :

- Les gros granulats disponibles uniquement dans des endroits très lointains.

- Il y a abondance de sable de dunes qu'on peut obtenir à moindre frais

Les recherches effectuées en Algérie; sont mentionnés comme exemples : les recherches du CNERIB (A.BENTATA) où une série des travaux ont été réalisés pour la valorisation de sable de dunes dans la masse de béton. On trouve aussi plusieurs thèses de magistère, doctorat ou projet de fin d'étude traitant ce sujet le tous à pour objectif de valoriser le sable de dunes dans le béton. nclusion de 23e congrès mondial de la route .

II .4.2 Utilisation du sable de dune dans le domaine routier :

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables a été publié. Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine. ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements. Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux. En France l'utilisation de sable bitume en corps de chaussée reste limité dans la couche de base ou de fondation (Ministère des transports, direction des routes en collaboration avec SETRA et LCPC , Ministère de l'aménagement du territoire, de l'équipement, du logement et du tourisme en collaboration avec SETRA et LCPC .

Parmi les recherches menées dans cette technique, la demande de la direction des travaux publics de Ouargla, en 1999, au CTPP Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics, de formuler un sable enrobé présentant les meilleures performances mécaniques à base des matériaux locaux d'une part et d'autre part d'assurer le suivi de réalisation d'une planche expérimentale de 300 m de longueur au niveau du chantier de renforcement de la RN49 (Rapport : choix de la formulation du sable enrobé pour réalisation d'une planche expérimentale au niveau de la RN 49, direction des travaux publics de Ouargla). Les principaux matériaux composant les mélanges utilisés sont : le sable de dunes, sable alluvionnaire, le sable de concassage 0/3 et le bitume 40/50. Les sables de dunes et alluvionnaire utilisés séparément seuls mélangés au bitume donnent des stabilités et compacités insuffisantes quant à leurs utilisation en corps de chaussée.

**CHAPITRE III:
FORMULATION ET
RESULTATS**

III.1 FORMULATION DE LA GRAVE CIMENT :

Le but de nos essais est de déterminer le mélange optimal des matériaux rentrant dans la formulation de la Grave Ciment (notée GC).

Nous avons utilisé des agrégats 0/20mm de carrières « ZACCAR.DJELFA » ,le pourcentages de ciment est fixé à 5,5% et on a variée le pourcentage de sable de dune (10%, 20%, 30%).

Les caractéristiques du ciment de GC sont données dans Le Tableau .7. Nous avons utilisé le ciment dont la classe de résistance est 42.5N conformément à la norme NF EN 196-1 le CEM II.

NF EN 196-1 Ciment (CEM II : Ciment Portland composé)

Norme	Propriétés				Type de ciment	Classe de résistance
						42.5 N
EN 196-1	Résistance à la compression	Résistance à court terme	2 jours	MP	CEM II	≥ 10.0
			7 jours	MP	CEM II	—
		Résistance courante	28 jours	MP	CEM II	$62.5 \geq , \geq 42.5$
EN 196-1	Temps de début de prise			Min	CEM II	≥ 60
	Stabilité (expansion)			mm	CEM II	≤ 10
EN 196-1	Sulfate (SO ₃)			%	CEM II	≤ 3.5
EN 196-1	Chlorure			%	CEM II	≤ 0.10

Tableau-11- Caractéristiques Ciments utilisés

II.1.1 Propriétés des granulats :

MATERIAUX	MARQUE	SIEGE	NORMES
0/20	—	—	NF P18-545
Ciment	ERCE	—	NF EN197-1 / CEM II 42.5
Eaux	—	—	NF EN 1008

Tableau- 12- Matériaux constituant le mélange GC

Les propriétés des agrégats respectent les exigences indiquées dans la norme XP P 18-545.

NORME	Nature des essais	EXIGENCES	
EN 1097-6	Granulats-Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux.		
EN 1097-6	Granulats-Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.		
EN 933-1	Granulats-Analyse granulométrique par tamisage.		
EN 1097-2	Granulats-Essai Los Angeles.	LA	$\leq 30^{(1)}$
EN 1097-1	Granulats-Essai d'usure micro-Deval.	MDE	$\leq 25^{(1)}$
EN 933-3	Granulats-Détermination du coefficient d'aplatissement.	FL	
EN 933-8	Granulats-Evaluation des fines, équivalent de sable.	SE	$\geq 50\%$
EN 933-9	Granulats-Partie 9: Essai au bleu de méthylène.	MB	$\leq 2.5g^{(2)}$
EN 933-5	Angularité (I_c)	I_c	$\geq 30\%$
P 18-586	Granulats-Mise en évidence de matières organiques par colorimétrie.		$< 0.2\%$

Tableau-14- :Propriétés des granulats

III.1.2 Plan d'essais du mélange GC :

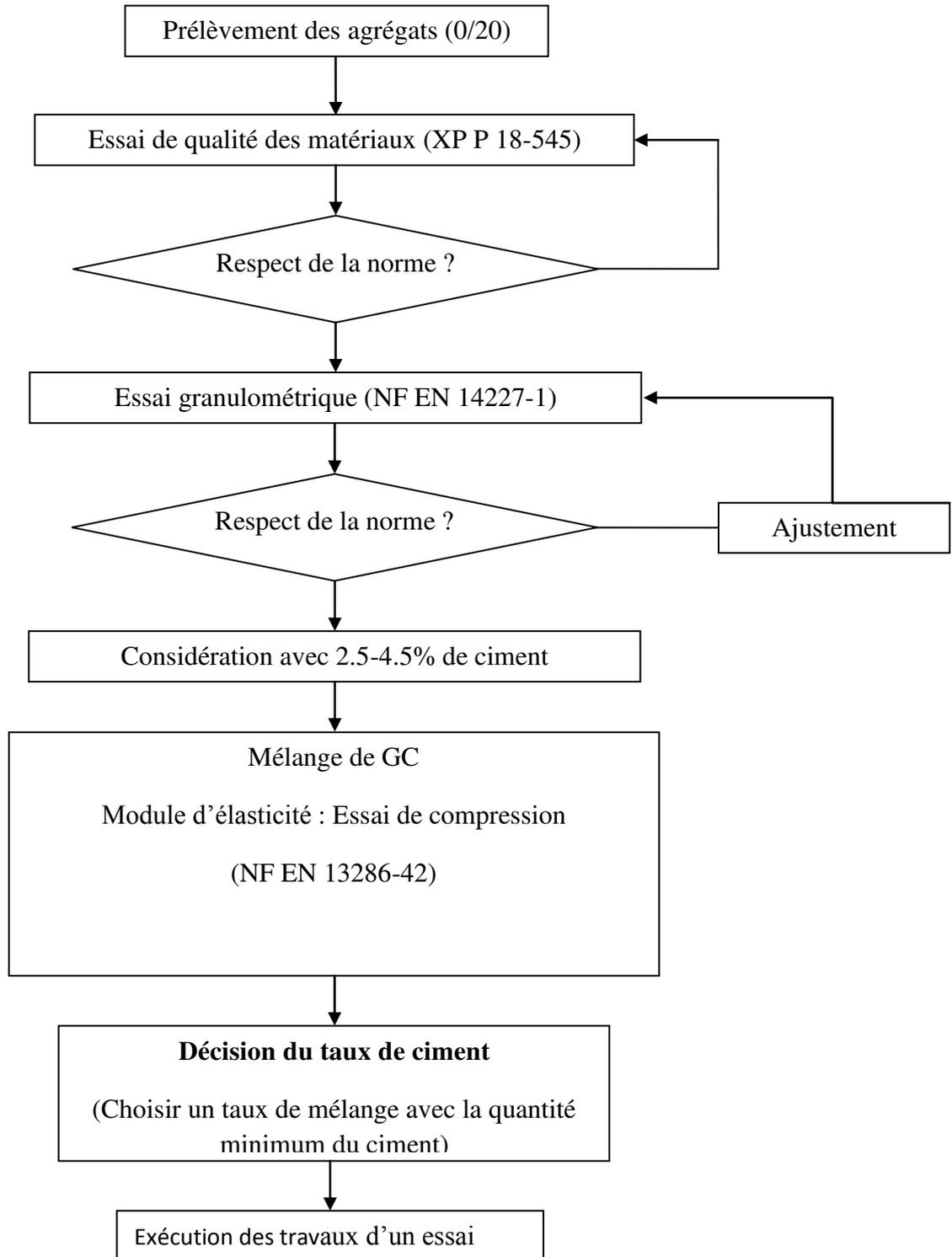


figure-7- : le plan d'essai du mélange GC

III.2 Caractéristiques des matériaux:

III.2.1 Le gravier :

Nous avons utilisé des graviers concassé de type carrières « ZACCAR.DJELFA » leur classe granulaire est 0/40.

III.2.1.1 Essais d'identification :

➤ **L'analyse granulométrique « Méthode par tamisage à sec après lavage »:**

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait e générale par un tamisage.

Principe d'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

But de l'essai :

C'est un essai qui a pour objet de la détermination en poids des éléments d'un sol (matériau) suivant leurs dimensions (cailloux, gravier, gros sable, sable fin, limon et argile).

Domaine d'utilisation:

La granulométrie est utilisée pour la classification des sols en vue de leur utilisation dans la chaussée.

Mode opératoire :

- Peser 10Kg de l'échantillon ;
- Imbiber l'échantillon dans un récipient ;
- Eliminer les fines par lavage continu (tamis 0,08mm) jusqu'à ce qu'il ne reste que les éléments propre ;
- Sécher le matériau dans une étuve réglée à 105°C pendant 24h ;
- Tamiser l'échantillon en versant ce dernier au sommet d'une série de tamis et en les agitant ;
- Recueillir le refus de chaque tamis et le peser dans une balance de portée pesant en gammes prés ;
- Rappporter les poids des différents refus poids initiaux du matériau ;
- Calculer le pourcentage des tamisas ;
- Etablir la courbe granulométrique.

Résultats et interprétation :

Masse Sèche de la prise d'essai : 10000g

Tamis (mm)	masse refus R (g)	masse refus R cumulé (g)	pourcentage massique	
			refus cumulé r	tamisé cumulé p
31,5	160,59	160,59	2,55	97,45
25	397,26	557,85	8,85	91,15
20	424,48	982,33	15,59	84,41
16	333,61	1315,94	20,89	79,11
12,5	364,09	1680,03	26,67	73,33
8	549,12	2229,15	35,38	64,62
6,3	218,05	2447,2	38,84	61,16
5	137,27	2584,47	41,02	58,98
4	149,24	2733,71	43,39	56,61
3,15	150,68	2884,39	45,78	54,22
2,5	193,4	3077,79	48,85	51,15
2	308,32	3386,11	53,75	46,25
1,6	312,48	3698,59	58,71	41,29
1,25	330,87	4029,46	63,96	36,04
0,8	380,82	4410,28	70,00	30,00
0,63	183,64	4593,92	72,92	27,08
0,5	101,24	4695,16	74,53	25,47
0,315	269,88	4965,04	78,81	21,19
0,25	67,85	5032,89	79,89	20,11
0,2	141,33	5174,22	82,13	17,87
0,16	261,54	5435,76	86,28	13,72
0,125	310	5745,76	91,20	8,80
0,08	381,75	6127,51	97,26	2,74

Tableau-15- : Résultat d’analyse granulométrique échantillon gravie 0/40

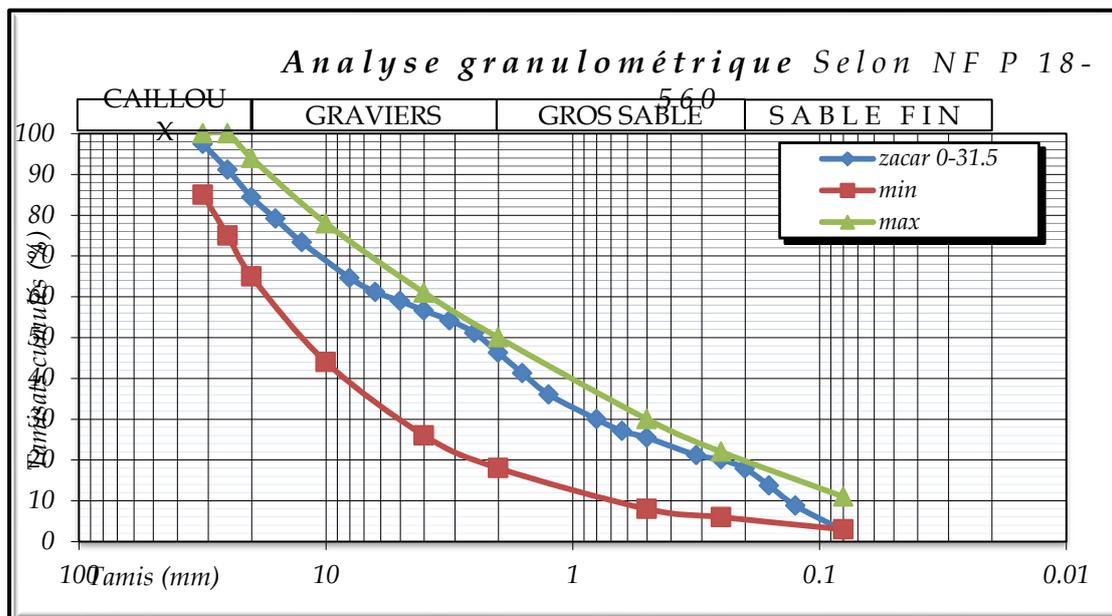


Figure -14- :courbe d’analyse granulométrique échantillon gravie 0/40

➤ **L'analyse de sédimentométrie**

Principe d'essai :

L'analyse de sédimentométrie se réalise à partir d'un sol passant au tamis 0.08mm (granulométrie des fines) par lecture des graduations présentes sur un aréomètre à différents intervalles de temps. Norme : NF P94-057

Diamètre équivalent	Tamisat (%)
66.40	26.27
47.80	25.38
33.80	24.49
21.70	22.71
15.90	19.14
11.70	14.69
8.50	11.13
6.10	8.46
3.50	5.16
1.50	1.60

Tableau -16- : Résultat d'analyse sédimentométrique

A partir des résultats obtenus, nous pouvons solliciter quelques constatations :

L'analyse granulométrique effectuée sur l'échantillon du gravie 0/40, a donné les distributions granulaires suivantes :

- ✓ Le pourcentage du Cailloux varie de 82 à 100 %.
- ✓ Le pourcentage des graviers varie de 43 à 82 %.
- ✓ Le pourcentage du Gros sable varie de 17 à 43 %.
- ✓ Le pourcentage du Sable fin varie de 2 à 17 %.

Essai Micro-Deval en présence d'eau :

But de l'essai :

L'essai Micro Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des roches. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

Domaines d'application :

Le présent essai s'applique aux granulats utilisés dans les travaux publics.

Mode opératoire :

- ✓ Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention de la masse constante

- ✓ Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.
- ✓ Pour commencer l'essai, préciser 200 g de l'échantillon.
- ✓ Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoutera 2,5 l.
- ✓ Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) trs / mn pendant 2h ou 12 000 tours.
- ✓ Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- ✓ Peser ce refus au gramme près, soit m' le résultat de la pesée.

Résultats et interprétation :

cLasse granulaire	Charge abrasive (g)	m (g)	M (g)	Mde(%)
10/14	5000±5	375	125	25

Tableau -16- : Résultat Micro-Deval en présence d'eau échantillon gravie 0/40

➤ **Essai Los Angeles :**

Principe de l'essai :

consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à **1,6 mm** produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine **Los Angeles**.

But de l'essai :

Déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats.

Domaines d'application :

S'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de roulement).

Résultats et interprétation :

classe granulaire	Nombre de boulets	Masse total de charge (g)	m (g)	m (g)	LA(%)
10/14	11	4840	3455	1545	31

Tableau -17- : Résultat Los Angeles échantillon gravie 0/40

2.1.2 Essais mécaniques :

➤ **Essais Proctor:**

L'essai Proctor est un essai routier, il s'effectue à l'énergie dite modifiée, il y a aussi L'énergie normale.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer le poids volumique sec d'un sol disposé en trois couches dans un moule Proctor de volume connu, dans chaque couche étant compactée avec la dame Proctor, l'essai est répété plusieurs fois et on varie à chaque fois la teneur en eau de l'échantillon et on fixe l'énergie de compactage.

Les grains passant par le tamis de **5 mm** sont compactés dans le moule Proctor.

But de l'essai :

L'essai Proctor consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage (la réduction de son volume par réduction des vides d'air) et une teneur en eau c'est-à-dire la détermination de la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale, pour un compactage bien défini.

Domaine d'utilisation:

Cet essai est utilisé pour les études de remblai en terre, en particulier pour les sols de Fondations (route, piste d'aérodromes).

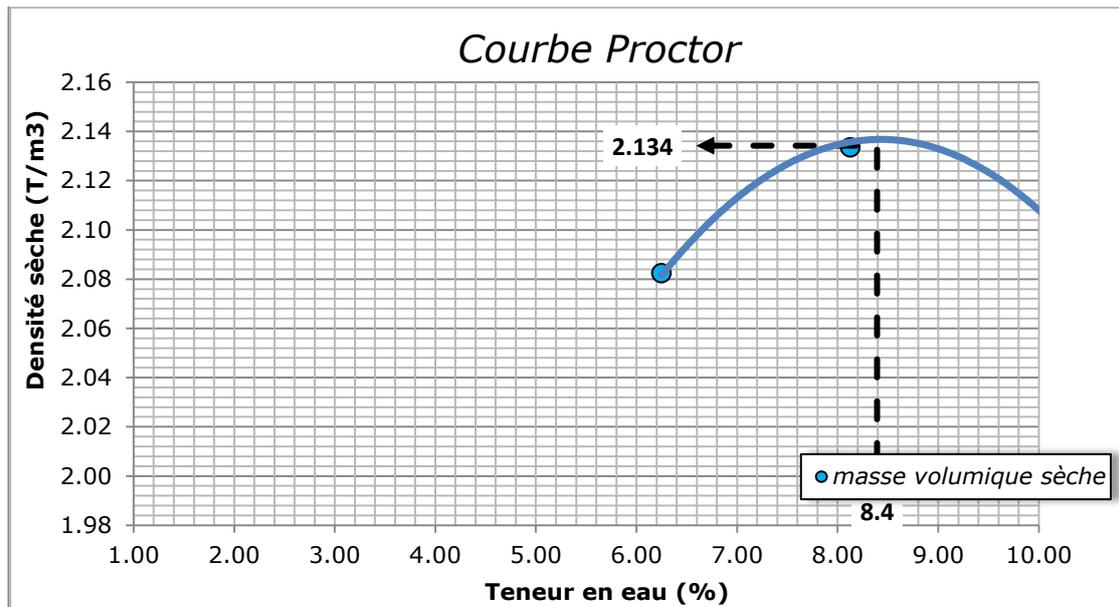
Moule	Diamètre	152 mm
	Hauteur	125 mm
Pilon	Poids	4.5 kg
	Hauteur	457 mm
Nombre de couches		5 couches
Fréquence de compression		56 fois

Tableau-19- : Modalités d'exécution de l'essai Proctor

Résultats et interprétation :

D'eau ajouté (%)	6%	8%	10%	12%
Poids humide (g)	6100	6360	6380	6185
Poids sec (g)	5760	5905	5810	5535
Volume de moule (cm ³)	2757	2757	2757	2757
Densité sèche γ (t/ m ³)	2.09	2.14	2.11	2.01
Teneur en eau W (%)	05.9	07.7	09.8	11.7

Tableau -20- : Résultat essai proctor modifié échantillon gravie 0/40



Masse volumique sèche $\gamma_{d\ OPM}$ (T/m ³)	2,13	Teneur en eau optimale $W_{OPM}(\%)$	7,1
---	-------------	--------------------------------------	------------

Figure-15- : courbe de Proctor modifiée

III.2.2 Le sable :

Nous avons utilisé du sable de dune (SD) provenant de la région El Mosrane (40 Km au Nord de Djelfa), classe granulaire 0/3.

➤ **Analyse chimique**

Eléments	SiO ₂	Cl
(%)	87.46	0.028

Tableau 21 : résultat de l'analyse chimique

➤ **La masse volumique apparente (Densité apparente):**

But de l'essai :

Déterminer la masse volumique se fait simplement en mesurant, la masse et le volume correspondant des matériaux, la masse volumique apparente prend en compte le volume des vides.

le volume de récipient $v = 188.55\text{ml}$

Matériau	La masse de récipient[g]	La masse de récipient+ matière [g]	La masse de matière [g]	La masse volumique [g/ml]	La masse volumique [g/ml]
Sable de Dune	46.9	300.9	254	1.35	1.30
	46.9	280.6	233.7	1.24	
	46.9	291.6	244.7	1.30	

Tableau-22-: Essai de la masse volumique apparente de sable

➤ **La masse volumique absolue (densité spécifique) :**

But de l'essai :

La connaissance simultanée de la masse volumique absolue ρ_s et la masse volumique apparente ρ_d permet de calculer la compacité et le pourcentage des vide V dans

	La masse de matière [g]	Le Volume V_1 [ml]	Le volume V_2 [ml]	La masse volumique M_{va} [g/ml]	La masse volumique M_{va} [g/ml]
Sable de Dune	200	1000	1075	2.67	2.67
	200	1000	1075	2.67	
	200	1000	1075	2.67	

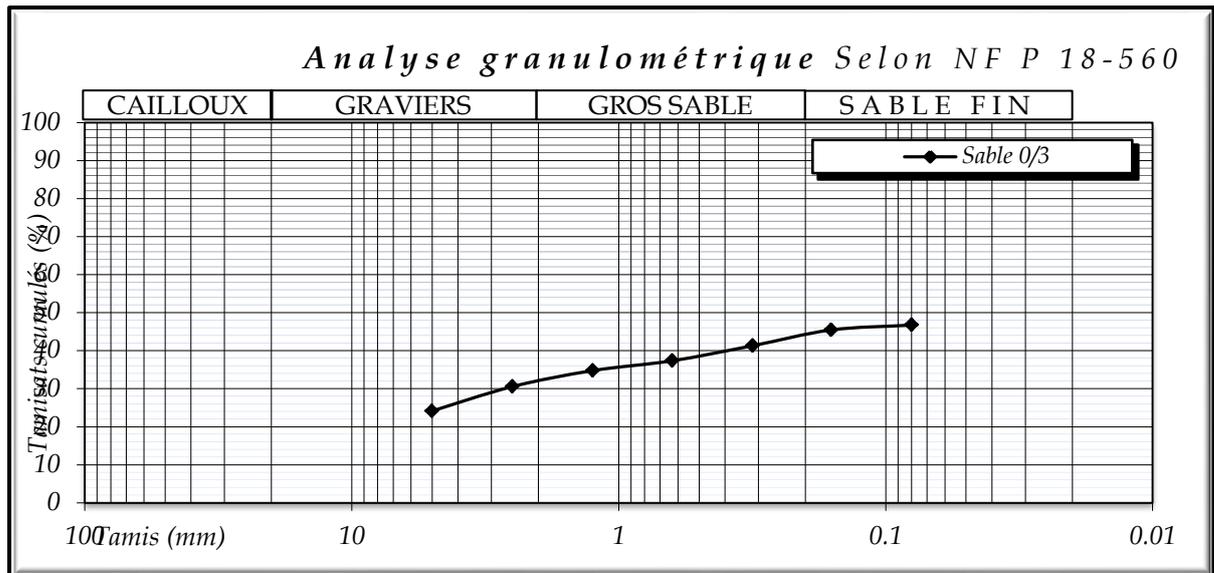
Tableau-23-: Essai de la masse volumique absolue de sable

➤ **L'analyse granulométrique :**

La masse initiale $m=1000g$

tamis	Masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	Masse de granulat refus	Refus (%)	Refus Cumulé (%)	Tamisé (%)
5	758.5	759.6	1.1	0.11	0.11	99.89
2.5	694.2	695.7	1.5	0.15	0.26	99.74
1.25	652.2	840.1	187.9	18.86	19.12	80.88
0.63	626.4	1152.6	526.2	52.82	71.94	28.06
0.315	586.8	814.8	228	22.88	94.82	5.18
0.160	545.4	591.6	46.2	4.64	99.46	0.54
0.08	532.5	536	3.5	0.35	99.81	0.19
fond	550.8	552.7	1.9	0.19	100	0

Tableau-24-: résultats de l'analyse granulométrique de sable de dune



- Contrôles des sables utilisés en stabilisation chimique.
- Choix et contrôle des granulats pour les enrobes hydrocarbonés.

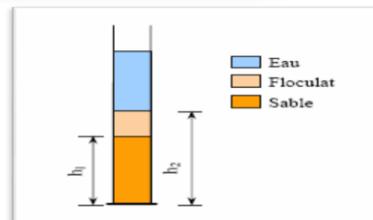
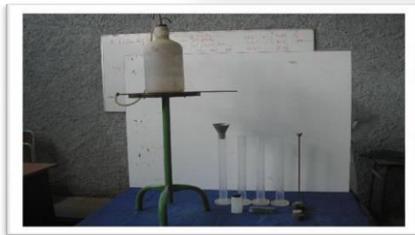
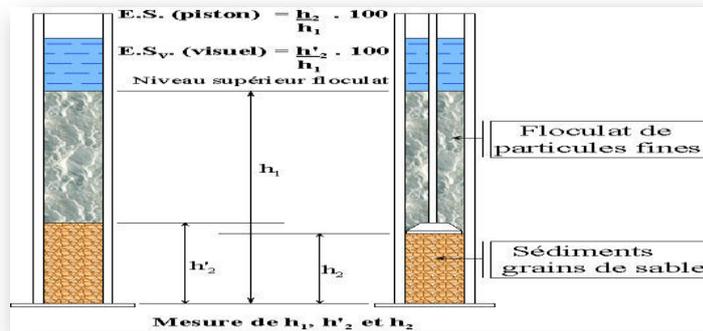


Figure-16- : Photo montrant le matériel de l'équivalent de sable et de piston

Résultats et interprétation :

	H1 (cm)	H2 (cm)	H'2 (cm)	E.S.v (%)	E.S.p (%)
1 ^{er} Prise	23.8	10.1	7.6	42.44	31.90
2 ^{ème} Prise	24.8	10.2	7.1	41.13	28.63
3 ^{ème} Prise	24.4	10.1	7.3	41.40	29.92
Moyenne				41.66	30.15

Tableau-25-: résultats l'équivalent de sable

$$ES.v = \frac{H2}{H1} * 100$$

$$ES.p = \frac{H'2}{H1} * 100$$

30<ES<50 sol stabiliser.

ESv < 65 ES p < 60 Sable argileux

- **Essai de bleu de méthylène :**

Principe de l'essai :

L'essai au bleu de méthylène est pratiqué sur la fraction granulaire 0/2mm des sables courants ou sur les fillers (0 / 0,125 mm) contenus dans un sable fillerisé, un gravillon ou un tout venant. Il a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration.

But de l'essai :

La Caractérisation de la surface spécifique et l'argilosité du matériau, implique l'identification du risque de gonflement.

La mesure de la surface spécifique des particules présentes dans un sol offre une caractérisation de l'argilosité du sol. Cette surface spécifique varie de façon très importante avec la nature des particules.

* La valeur de bleu de méthylène est donnée par :

$$\text{VBS} = (V / M_s) \times C$$

Lorsque le sable est de diamètre inférieur à 5 mm, $C = 1$ et l'expression du résultat est : $\text{VBS} = (V / M_s)$

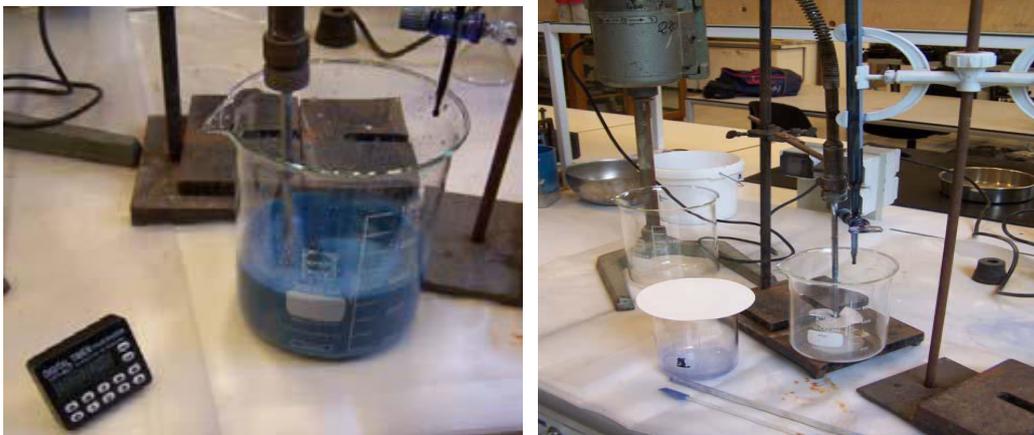


Figure-17-: Burette graduée à 2ml , papier filtre, Bêcher de capacité de 1 à2 litres



Figure-18-: Tâches sur le papier filtre

Valeur de bleu de méthylène (V_{BS})	Catégorie de sol
$V_{BS} < 0,1$	sol insensible à l'eau
$0,2 \leq V_{BS} < 1,5$	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 \leq V_{BS} < 2,5$	sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 \leq V_{BS} < 6$	sol limoneux de plasticité moyenne.
$6 \leq V_{BS} < 8$	sol argileux.
$V_{BS} > 8$	sol très argileux.

$V_{BS} = 1,94$: $1,5 \leq V_{BS} < 2,5$ donc sol sablo argileux, peu plastiques.

Résumé des résultats :

Caractéristiques physique	Sable de dune (SD)
Densité apparente	1.30
Densité spécifique	2.67
Module de finesse	3.85
Equivalent de sable (%) piston	30.15
Equivalent de sable (%) Visuel	41.66
Bleu de méthylène	1.94

Tableau-26-: résumé des résultats

2.3 Ciment :

Pour cette étude nous avons utilisé un ciment portland CPJ-CEM I 42,5 provenant de la cimenterie LAVARGE à M'sila. La composition chimique de ciment est présentée dans le tableau suivant :

ELEMENT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CL	L.O.I
TENEUR	21.36	4.98	3.63	65.86	2.06	0.93	0.08	0.77	0.02	2.48

Tableau -27 : Composition chimique et minéralogique du ciment (%)

Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	3917
Consistance (%)	27.48
Début de prise (mn)	140
Fin de prise (mn)	203
MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE (Kg/m ³)	3100
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (Kg/m ³)	1130

Tableau- 28 : Propriétés physico – mécaniques du ciment

2.4 Mélange (grave, ciment et sable de dune) :

1. Essai Proctor modifié :

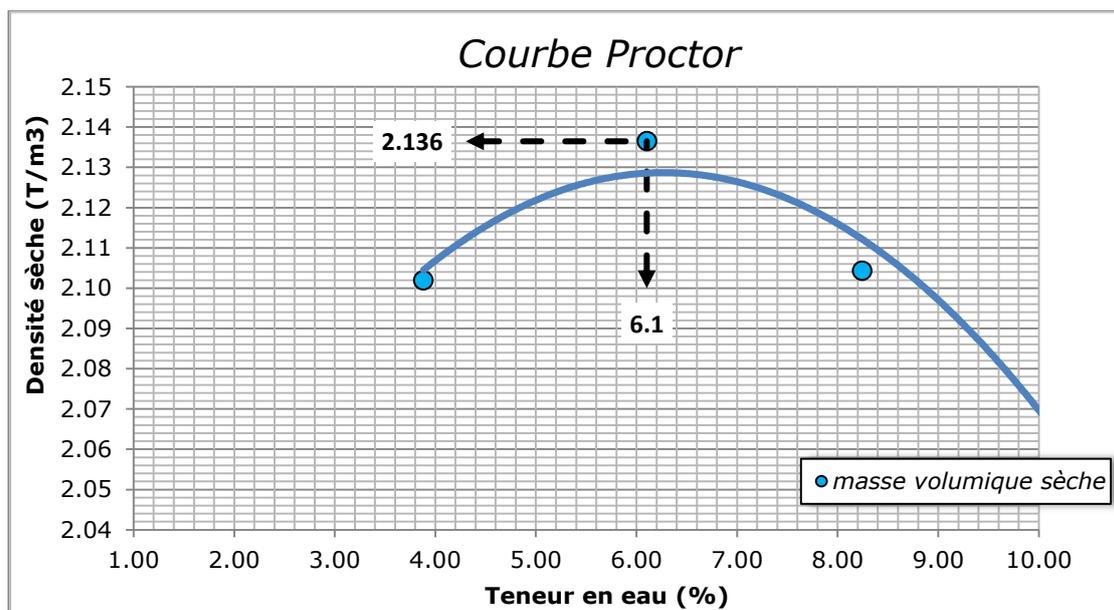
- Le premier mélange A :

Sable de dune (10%) / Ciment (5.5%).

Résultats et interprétation :

Poids d'eau ajoutée (%)	4	6	8	10
Ph	6020	6250	6280	6260
Ps	5795	5895	5820	5700
Vm	2757	2757	2757	2757
Γ_d	2.10	2.14	2.11	2.07
W (%)	03.9	06.0	07.9	09.8

Tableau-29-: résultats de Proctor modifié échantillon mélange (A)



Masse volumique sèche γ_d OPM (T/m ³)	2,13	Teneur en eau optimale W_{OPM} (%)	6,1
--	-------------	--------------------------------------	------------

Figure-19-: courbe de Proctor modifié échantillon mélange (A)

- Le deuxième mélange B :

B/ Sable de dune (20%) / ciment (5.5%).

Poids d'eau ajoutée (%)	4	6	8	10
Ph	6010	6170	6350	6275
Ps	5780	5830	5883	5715
Vm	2757	2757	2757	2757
Γ_d	2.09	2.11	2.13	2.07
W (%)	3.97	5.8	7.8	9.8

Tableau-30-: résultats de Proctor modifie échantillon mélange (B)

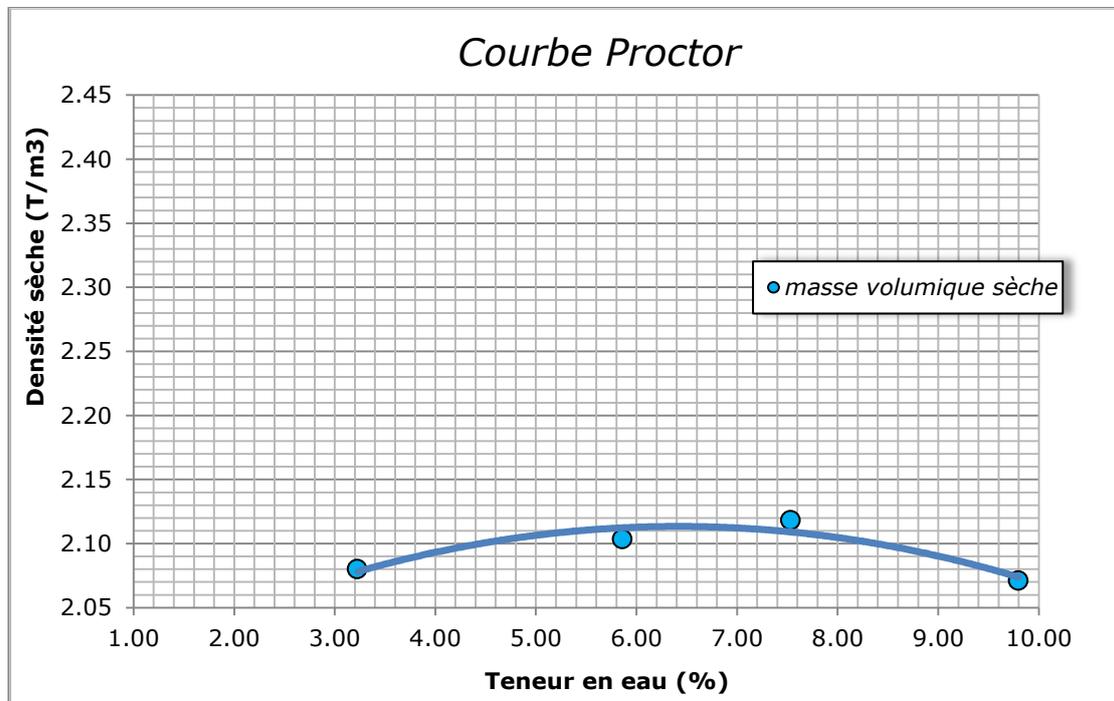


Figure-20-: courbe de Proctor modifie échantillon mélange (B)

Masse volumique sèche γ_d OPM (T/m ³)	2,12	Teneur en eau optimale W_{OPM} (%)	6,4
--	-------------	--------------------------------------	------------

• Le troisième mélange C :

C/ sable de dune (30%) / grave (64.5%) / ciment (5.5%).

Poids d'eau ajoutée (%)	4	6	8	10
Ph	6010	6170	6350	6275
Ps	5780	5830	5883	5715
Vm	2757	2757	2757	2757
Γ_d	2.09	2.11	2.13	2.07
W (%)	3.97	5.8	7.8	9.8

Tableau-31-: résultats de proctor modifie échantillon mélange (C)

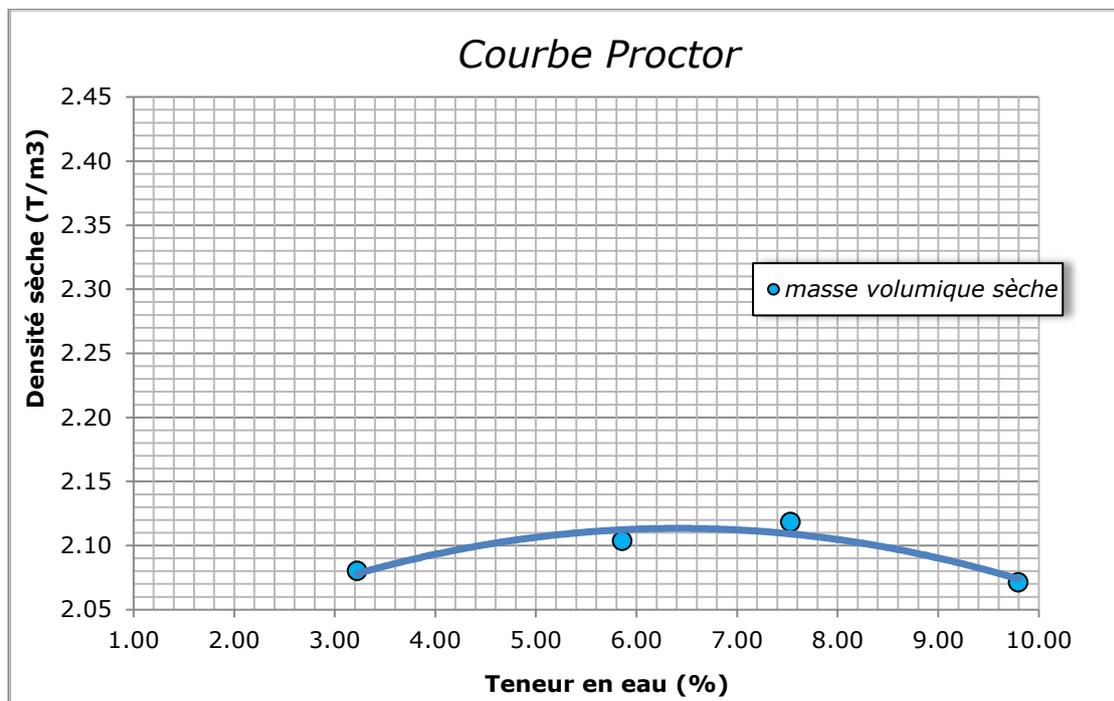


Figure-21- :courbe Proctor modifie échantillon mélange (C)

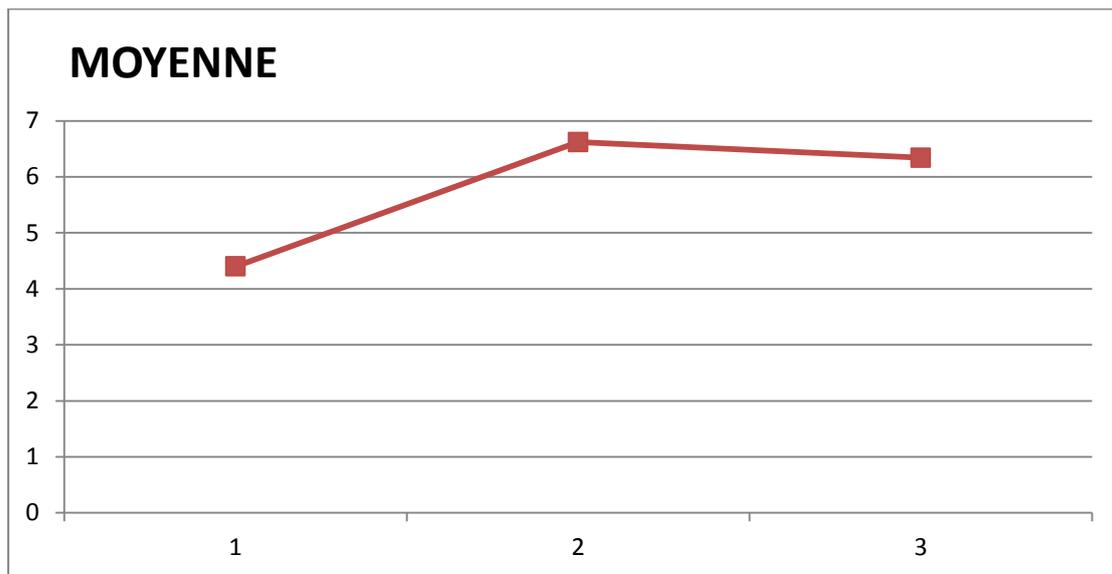
Masse volumique sèche γ_d OPM (T/m ³)	2,12	Teneur en eau optimale W_{OPM} (%)	6,3
--	-------------	--------------------------------------	------------

V.5.2 Essais mécaniques

V.5.2.1 Résultat des essais de compression directe sur la GC3 à 28 jours

Tableau 5.18 Résultat des essais de compression

Agrégats	Ciment (%)	Sable de dune]Force de compression maximum de charge (Mpa)			Moyens (Mpa)
0/40 ZACCAR	5.50%	10%	4.36	4.36	4.49	4.4
		20%	8.45	5.03	6.40	6.62
		30%	5.82	5.35	7.68	6.34



Commentaire et conclusion :

D'après les résultats d'écrasement nous observant que la résistance du grave ciment augmente avec le pourcentage du sable de dune jusqu'à 20% mais au delà de cette pourcentage la résistance diminue.

Et comme conclusion nous proposons 20 % d'ajout de sable de dune pour les grave ciment de la couche de fondation de la route.

CONCLUSION GENERALE :

Notre projet nous a été intéressant, du moment où il nous a mis en face des problèmes techniques qu'un projet routier peut subir, et nous a fait découvrir la manière dont un projet de travaux publics en générale et celui routier en particulier se déroule. Et parce que l'exécution de ce travail ne pourrait se faire que par l'aide de certains logiciels à savoir "L'AUTOCAD CIVIL 3D ", nous avons l'opportunité d'avoir le direct contact avec ceux-ci et de maîtriser de nouvelles technologies dans le domaine de travaux publics qui nous servira dès lors à élargir nos connaissances d'ingénieur.

Avec l'étude de la route on a fait une étude expérimentale dans le laboratoire pour formuler la grave ciment (GC) utilisé dans les couches de fondation de la route. Et ajouter à la GC des pourcentages de sable de dune pour valoriser ce dernier et réduisez le cout global de la couche.

Les résultats sont très acceptable et la résistance de la GC est bonne pour la fabrication de la couche de fondation en utilisons les granulats et le sable de dune local.

Pour notre étude nous avons appliqué rigoureusement toutes les normes, directives et recommandations liés au domaine routier pour contrecarrer les contraintes rencontrées sur le terrain.

ANNEXE