



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



Département de Génie Civil & Architecture

N° d'ordre : M...../GCA/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTERACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Spécialité : V.O.A

Thème

**ETUDE GEOMETRIQUE ET GEOTECHNIQUE D'UN
EVITEMENT QUI RELIE LE PORT DE MOSTAGANEM ET LA
REGIENT DE TEDJDIT SUR 1 KM**

Présenté par :

-GOUAICH Souad

-BESSACI Fatiha Amel

Soutenu le 10/07/2019 devant le jury composé de :

Président:	Mme .El maasakri setti	M.A.A	UNIV Mostaganem
Examineur :	Mr. Rouam serik Mohamed	M.A.A	UNIV Mostaganem
Encadreur :	Mr. BOUHAMOU Nasr-Eddine	Professeur	UNIV Mostaganem

Année Universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

Toute notre parfaite gratitude, grâce et remerciement sont à Allah le plus puissant, clément et Miséricordieux qui nous a donné la force, le courage et la volonté d'élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière que nous remercions notre promoteur Pr. BOUHAMOU Naser-Eddine pour nous avoir encadré et notamment sa disponibilité de tous les instants ainsi que ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible.

Nos remerciements s'adressent également :

A tous nos enseignants durant toutes les étapes de notre parcours scolaire qui nous a enrichi nos connaissances et notre savoir.

Nous n'oublierons pas les membres du jury Mr. ROUAM Serik Mohamed et Mme. EL maasakri setti qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

A tous ceux qui nous ont assistés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Souad et Amel

Dédicaces

" اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك و عظيم سلطانك "

Dieu le tout puissant, le clément et le miséricordieux

*Merci pour la force que tu m'as donné afin d'accomplir ce modeste travail que Je
dédie :*

*Aux DIEUX rois de mon cœur, la lumière qui a éclairé mon parcours
l'homme qui a toujours été là pour moi mon très cher **PÈRE**, et la femme qui a
toujours veillé sur moi ma très chère **MÈRE**.*

Que dieu les protège

*A mon frère qui ma donné le courage, et ma guidé durant toute ma vie pour que je
réussisse **AZZEDDIN**, qui a le mérite de m'avoir fait arriver à ce niveau.*

*A ma deuxième moitié. **M** qui m'a beaucoup soutenue*

*A ma seule sœur : **FATIHA***

*A mes chères frères qui mon toujours aidé qui ont été ma première source
d'inspiration et de courage : **ADDA, MOUHAMED***

A tous ceux que J'ai côtoyé au cours de mes études, profs et étudiants.

*A toute la famille **GOUAICH***

SOUAD

Sommaire

Remercîments

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Partie I : Etude Bibliographique

Chapitre I : les Aménagements du port à travers le monde

A) Port de L'Escal

B) quai d'Ivry

Chapitre II: Aménagements extérieures du port de Mostaganem (Aménagement de l'oued ain sefra).

II-1 Introduction

Chapitre I : présentation de projet

I-1 –présentation de la wilaya

I-2-Présentation de projet

II-2 Lancement du projet de l'aménagement de la zone portuaire et de l'Oued Ain Sefra

II-3 Description de l'oued Ain Sefra données topographique et géologique

II-4.1 aménagement de l'oued Ain sefra

A) Descriptif de l'environnement

B) Analyse de l'état de la zone concernée

C) Principales orientations de l'aménagement de l'oued

II-4.2 Confortement des talus de l'oued du pont d'Alma jusqu'à l'embouchure

II-4.3 réalisation de deux ouvrages de franchissement (passage supérieure au niveau de l'oued Ain sefra)

II-4.4 Réalisation d'un ouvrage dalot

II-4.5 travaux d'aménagement de la placette de l'embouchure d'oued Ain sefra avec traitement paysage

Partie II : Etude de Géométrie

Chapitre I : présentation de projet

I-1Présentation de la wilaya

I-2 Présentation du projet

Phase APS

Chapitre II : Etude des variantes

II.1. Tracé en plan

- A.** Définition
- B.** Règles générales du tracé en plan
- C.** Les éléments de tracé en plan
- D.** Paramètres fondamentaux d'un tracé routier
- E.** Courbes en plan
- F.** Détermination des rayons
- G.** Pourcentage Alignement Droit
- H.** Cubatures Approchées

II.2. Etude de la variante 1

- 1) Coordonnées des sommets
- 2) Détermination de l'environnement de la route

- 3) Choix des rayons
- 4) Détermination des éléments des Raccordements
- 5) Cubatures Approchées

II.3. Etude de la variante 2

- 1) Coordonnées des sommets
- 2) Détermination de l'environnement de la route
- 3) Détermination des éléments des Raccordements
- 4) Cubatures Approchées

II.4. Choix de la variante

Phase APD

Etude de la variante choisie

Chapitre III : profil en long

III.1. Introduction

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

III.3. Eléments de composition du profil en long

III.4. Coordination du trace en plan et profil en Long

III.5. Déclivités

III.6. Raccordements en profil en long

III.7. Calcul du profil en long

III.8. Application sur la variante choisie

Chapitre IV : Paramètre cinématique

IV .1.Généralité

IV .1 .Généralité

IV . 2 .Distance de freinage.

IV . 3 .Temps de réaction.

IV .4 .Distance d arrêt .

IV .5 .Distance de perception.

IV .6 .Distance de sécurité entre deux véhicules.

IV .7 .Manœuvre de dépassement.

Chapitre VI Etude du trafic

VI . 1 .Généralité.

VI .2 .Analyse du trafic.

VI . 3 .Différents type de trafic.

VI . 4 . La capacité.

Chapitre V : Profil en travaux

V . 1 .Généralité.

V .2 .Les éléments constitutants du profil en travers

V .3 .Profil en travaux type.

V .4 .Application du projet.

Chapitre VII : Dimensions des coupes des chaussées.

VII . 1 . Généralité.

VII .2 . principe de la constitution de la chaussée.

VII . 3. Constitution et rôle d une chaussée.

VII 4 . Les différents catégories de chaussée.

VII .5 . Les différents facteurs déterminants pour dimensionnement.

VII .6 .Méthode de dimensionnement.

VII .7 . Applications du projet.

Chapitre VIII : Implantation.

VIII . 1 .Définition.

VIII .2 .Implantation des sommets.

Chapitre IX : Cubature

IX .1 .Généralité.

IX .2 .Définition.

IX . 3 .Les résultats du calcul des cubatures.

Chapitre X : Signalisation et éclairage.

X . 1 .Signalisation.

X .1.1 .Généralité.

X .1 . 2 .objectif de signalisation routière.

X .1 .3 . Règle a respect pour la signalisation

X .1 -4 .Catégories de signalisation

X .2 -Eclairage

X .2.1 . Générale

X .2. 2 . Catégorie d`éclairage

X .2 .3. L`éclairage de notre projet

Chapitre x I Devis

Tableau Devis

Partie III : Etude géotechnique

Chapitre I : généralité sur l`étude géotechnique

I-1 Introduction

I-2 Reconnaissance du sol

I-3 Origine des échantillons

I-4 La couche de forme pour une bonne assise de route

Chapitre II : Les essais au laboratoire

II-1 Essais d`identifications

II-1.1 Analyses granulométrique..... [NF P94-056]

II-1.2 Teneur en eau..... [NF P94-065]

II-1.3 Mesure la masse volumique apparente [NF P94-064]

II-1.4 Mesure la masse volumique absolue..... [NF P94-065]

II-1.5 Essai équivalent de sable[NF EV 933-8]

II-1.6 Essai de Limite d'Atterber[NF P94-051]

II-1.7 Essai de détermination de la teneur en carbonate par la méthode du calcimètre.....[NF P94-048]

II-2 Essais mécaniques

II-2.1 Essai Proctor..... [NF P 94-093]

II-2.2 Essai CBR [NF P 94-078]

Conclusion générale

Liste des figures et des photos

Partie I : Etude Bibliographique

Chapitre I : les Aménagements du port à travers le monde

Figure I.1 : Promotions port.....	02
Figure I.2 : Quai d'Ivry.....	03
Figure I.3 : Tolbiac-Chevaleret.....	04
Figure I.4 : le Port autonome de Paris redessine le port d'Austerlitz.....	05
Figure I.5 : port d'Austerlitz.....	05

Chapitre II : Aménagements extérieures du port de

Mostaganem

Figure II.1 : l'oued ain sefra (un espace propre pour les habitants).....	06
Figure II.2 : programme de promotion des aménagements de l'oued ain sefra.....	07.
Figure II.3 : Vue panoramique de la région d'étude.....	08
Figure II.4 : Extrait de la carte topographique de Mostaganem (NI -XIX-11 Ouest) à l'échelle 1 /25000.....	09
Figure II.5 : Extrait de la carte géographique de Mostaganem.....	09
Figure II.6 : Aperçu de projet.....	11
Figure II.7 : Analyse de l'environnement.....	11
Figure II.8 : Coter école de Tapis (rejet des eaux usées).....	13
Figure II.9 : école de Tapis (déversement des eaux usées).....	13
Figure II.10 : Assèchement de l'oued ain sefra	13
Figure II.11 : Coté Tabana Tidjdit (avant)	14
Figure II.12 : Coté TabanaTidjdit (Après).....	14
Figure II.13 : Route école de Tapis (Avant) (Décharges illicites).....	14
Figure II.14 : devant école de Tapis (Après).....	14
Figure II.15 : plan de promotion d'aménagement de l'oued ain sefra.....	15
Figure II.16 : Le système geogrille végétalisé.....	17.

Figure II.17 : Le béton projeté sur le talus.....	17
Figure II.18: Grillage plaqué par des tiges d’ancrage.....	18
Figure II.19 : les murs de soutènement en béton armé.....	18
Figure II.20 : systèmes de drainage des eaux dans les murs de soutènement.....	19
Figure II.21 : réalisation d’ouvrage dalot.....	21
Figure II.22 : Aménagement de la placette de l’embouchure d’oued Ain sefra.....	22

Partie II : Etude géométrique

Phase APS

Chapitre II : Etude des variantes

Figure II.1 : Eléments du tracé en plan.....	28
Figure II.2 : Dénivelée cumulée moyenne H/L.....	30
Figure II.3 : Raccordement circulaire.....	35
Figure II.5 : Positions des sections dans un profil en long d’un tracé donné....	37
Figure II.6 : Calcul de surfaces cas de remblai.....	38
Figure II.7 : Calcul de surfaces cas de déblais.....	39

Phase APD

Chapitre III : profil en long

Figure III.1 : Raccordement en profil en long.....	59
Figure III.2 : Éléments géométriques du profil en long.....	60
Figure III.3 : Schéma de la courbe du profil en long.....	64
Figure III.4 : Eléments de la clothoïde.....	65
Figure III. 5 : Clothoïde.....	66

Chapitre VI : Paramètres cinématique

Figure VI.1 : Distance d'arrêt et ferinage	74
Figure VI.2 : Distance de perception	72
Figure VI.3 : L'espacement entre deux véhicules	77

Chapitre V : Profil en travers

Figure VII.1 : les éléments d'une route	85
--	----

Chapitre VIII : Dimensionnement du corps de chaussée

Figure VII.1 : les différentes catégories de chaussée.....	89
Figure VII.2 : coupe des chaussées.....	92

Chapitre VIII : Implantation

Figure VIII.1 : coordonnées polaires	93
Figure VIII.2 : implantation sur tangente	94
Chapitre X : Devis quantitatif et estimatif	104

Partie III : Etude géotechnique

Chapitre I : généralité sur l'étude géotechnique

Figure I.1 : les deux types de reconnaissance géotechnique d'un sol en laboratoire.....	107
Figure II.1 : Organigramme des essais réalisés au laboratoire.....	108
Figure II.2 : série de tamis utilisée dans l'Analyse granulométrique.....	110
Figure II.3 : Analyse granulométrique après lavage.....	112
Figure II.4 : Refus des particules > 0.080 mm.....	113
Figure II.5 : Masse volumique apparente d'un sol (Volume hachuré = Volume du récipient).....	122
Figure II.6 : Matériels utilisés pour la mesure de la masse volumique apparente.....	123

Figure II.7 : Méthode de détermination de la masse volumique apparente.....	123.
Figure II.8 : Masse volumique absolu d'un sol	125
Figure II.9 : Mesure la masse volumique absolue des cailloux.	126
Figure II.10 : mesure la masse volumique absolue des fins.....	127
Figure II.11 : matérielle utiliser en mode opérationnel.	130
Figure II.12 : la façon de mesure les hauteurs.....	131
Figure II.13 : dispositif de l'essai équivalent de sable	132
Figure II.14 : interprétation des résultats et qualité du sable.....	134
Figure II.15 : Mode opératoire du Limite de liquidité.....	137
Figure II.16 : appareil de Casagrande (montre l'épaisseur corresponde).....	138
Figure II.17 : Mode opératoire du Limite de plasticité.....	139
Figure II.18 : Appareille de calcimètre.	147
Figure II.19 : schéma explicative du nombre des coups et les couche concernant chaque moule.....	150
Figure II.20 : Mode opératoire de proctor.....	151
Figure II.21 : les différents échantillons prélever pour calculer « W% ».....	152
Figure II.22 : résultat d'essai proctor modifier ($\omega = 15\%$)	163.
Figure II.23 : résultat d'essai proctor modifier ($\omega = 20\%$)	163
Figure II.24 : la stabilité du sable de mer.....	165
Figure II.25 : résultat de CBR au niveau de laboratoire LG3-Mostaganem.	169

Liste des tableaux

Partie I : Etude Bibliographique

Chapitre II : Aménagements extérieures du port de Mostaganem

Tableau II.1 : conception d'un plan global d'aménagement de l'oued.....	12
Tableau II.2: Programme de promotion du projet par secteur.....	16

Partie II : Etude géométrique

Chapitre II : Etude des variantes

Tableau II.1 : Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne.....	31
Tableau II.2 : Classification de la sinuosité.....	31
Tableau II.3 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité.....	31
Tableau II.4 : vitesse de référence	33
Tableau II.5 : Coordonnées définissant l'axe de 'la variante 1'	40
Tableau II.6 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante1"	40
Tableau II.7 : Dénivelée cumulée "Variante 1".....	41
Tableau II.8 : Rayon en plan "variante 1".....	44
Tableau II.9 : Eléments des raccordements circulaires "variante 1".....	44
Tableau II.10 : Cubatures approchées.....	45
Tableau II.11 : Coordonnées définissant l'axe de 'la variante 2'	48
Tableau II.12 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante2".....	48
Tableau II.13 : Dénivelée cumulée "Variante 2".....	49

Tableau II.14 : Eléments des raccordements circulaires "variante 2".....	52
Tableau II.15 : Cubature approchée de la variante 2.....	53
Tableau II.16 : Comparaison entre les deux variantes.....	56

Phase APD

Chapitre III : profil en long

Tableau III.1 : Valeur de la déclivité maximale.....	61
Tableau III.2 : Rayon Convexes (angle saillant).....	63
Tableau III. 3 : Rayon Concave (angle rentrant).....	63
Tableau III. 4 : Longueur de clothoide.....	68

Chapitre IV : Paramètres fondamentales

Tableau VI .1 : Coefficient de frottement longitudinal selon le B-40.....	73
Tableau VI.2 : Valeure de dvd et dmd en fonction de vitasse.....	78

Chapitre VI : Etude de trafic

Tableau VI.1 : Coefficient d'équivalence 'P'.....	82
Tableau VI.2 : Valeurs de K1	83
Tableau VI.3 : Valeurs de K2	83
Tableau VI.4 : Valeurs de C_{th} : capacité théorique du profil en travers en régime stable.....	83

Chapitre VIII : Dimensionnement du corps de chaussée

Tableau IIIV.1 : Coefficients d'équivalence pour matériau	91
Tableau IIIV. 2 : épaisseur de Corps de Chaussée	92

Chapitre X : Implantation

Tableau X.1 : recapitulatif des tabulation	94
---	----

Chapitre IX : Cubature et mouvement des terres

Tableau IX .1 : calcul de cubature APD « variante choisie »	98
--	----

Chapitre X : Devis quantitatif et estimatif

Tableau X : Devis quantitatif et estimatif.....	105
--	-----

Partie III : Etude géotechnique

Chapitre II : Les essais au laboratoire

Tableau II.1 : classification des tamis selon l'ancienne norme NF P18-560.....	111
---	-----

Tableau II.2 : classification des tamis selon La norme actuelle EN933-2.....	111
---	-----

Tableau II.3 : Continuité de la courbe granulométrique selon leur coefficient d'uniformité ; référence [NF P94-056].....	114
--	-----

Tableau II.4 : récapitulatif des résultats du l'analyse granulométrique (après lavage).....	115
---	-----

Tableau II.5 : récapitulatif des résultats du l'analyse granulométrique (avant lavage).....	117
---	-----

Tableau II.6 : Etat hydrique des sols selon leur teneur en eau ; référence [NF P94- 065].....	119
---	-----

Tableau II.7 : récapitulative des résultats du teneur en eau à l'état naturel.....	120
---	-----

Tableau II.8 : récapitulative des résultats du teneur en eau étuvé.....	121
--	-----

Tableau II.9 : résultat de masse volumique absolue des cayeux.....	126
---	-----

Tableau II.10 : résultat de masse volumique absolue des fins.....	127
--	-----

Tableau II.11 : nature et la qualité du sable selon de l'équivalent de E.S.V et E.S ; référence [NF EV 933-8].....	129
--	-----

Tableau II.12 : résultat d'essai équivalent de sable.....	133
--	-----

Tableau II.13 : Degré de plasticité des sols selon I_p ; référence [NF P94-051].....	136
---	-----

Tableau II.14 : Gonflement potentiel des sols selon I_p ; référence [NF P94- 051].....	136
--	-----

Tableau II.15 : récapitulatives des résultats du Limite d'Atterberg.....	140
---	-----

Tableau II.16 : expérimental de l'intensité de l'effervescence ; référence [NF P94-048].....	145
Tableau II.17 : récapitulative des résultats de proctor normal.....	155
Tableau II.18 : Résultats de la teneur en eau.....	157
Tableau II.19 : résultats de la teneur en eau étuvé (proctor normal).....	158
Tableau II.20 : récapitulative des résultats du proctor modifier.....	161
Tableau II.21 : résultats de la teneur en eau étuvé (proctor modifier).....	164

INTRODUCTION

L'histoire de la route est intimement liée au niveau de développement technologique et de la croissance économique des nations et des civilisations.

La route romaine dont les traces sont encore apparentes à ce jour, témoigne de l'avancée industrielle de l'empire et de la place privilégiée accordée aux réseaux de communication.

La route n'est pas la seule infrastructure de transport, on trouve aussi d'autres moyens comme le chemin de fer, les voies aériennes et les voies maritimes, mais le transport routier est dominant, et même si les technologies de l'information se développent, les déplacements routiers liés tant à la vie quotidienne qu'au tourisme sont des réalités incontournables pour encore de nombreuses années.

La route joue un rôle moteur dans l'aménagement du territoire, elle favorise l'implantation d'activités économiques et industrielles et réduit les coûts de transport et donc de production.

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude géométrique et géotechnique du aménagement extérieure du port

Notre mémoire s'articule sur trois (3) parties.

La première partie est consacrée à une recherche bibliographique sur les rocadés.

La seconde partie d'étude géométrique, qui comprend deux grandes phases, l'étude en APS et en APD.

En fin, la dernière partie est consacré à l'étude géotechnique. Dans cette partie nous avons présenté tous les essais d'indentifications du sol portant ainsi que les principaux essais routiers en particulier l'essai Proctor et CBR.

Un devis quantitatif et estimatif a été réalisé à la fin du mémoire afin d'avoir une idée du coût global de la réalisation de notre projet.

Chapitre I : Aménagement du port à travers le monde :

A) Port de L'Escal :

- **Introduction:**

Ports de la Généralité et travaux de la réhabilitation de la digue extérieure L'accessibilité et la mobilité des véhicules et des piétons ont été améliorées grâce à un nouveau tracé de circulation qui intègre mieux le port à la ville.

Les ports de la Généralité ont renforcé les parties intérieure et extérieure de la digue du port de L'Escala. Ce projet donne plus d'abri et de sécurité à cette partie du port et aux bateaux qui y amarrent tout en permettant de réorganiser l'activité du chantier naval Escarre.

L'accessibilité et la mobilité des véhicules et des piétons ont été améliorées grâce à un nouveau tracé de circulation qui intègre mieux le port à la ville. Ces réhabilitations ont coûté 1 070 000 euros et dix mois de travaux.



Figure I.1 : Promotions port

- **Réaménagement de L'Escar**

La réorganisation de l'espace réalisée par l'administration du port a permis à l'Escar l'Escala de relocaliser et de renouveler l'activité d'escar gérée par l'entité. La surface a été divisée en deux parties séparées par la route du port. Désormais, l'Escar est situé dans un nouvel espace plus approprié et proche des bateaux, entouré par le nouveau tracé de circulation. Ainsi, cette route n'interfère plus dans les opérations et offre une efficacité, une sécurité et un service améliorés aux utilisateurs.

De plus, les hangars qui se trouvaient dans cet espace ont été réaménagés pour accueillir notamment les bureaux de l'Escar, l'atelier de maintenance, les vestiaires, etc. Grâce à cette adaptation, Escar de l'Escala sera en mesure de fournir un service de maintenance, de réparation et d'hivernage aux 1 500 bateaux du port du village et à ceux venant de l'extérieur.

Les ports de la Generali tat ont renforcé les parties intérieure et extérieure de la digue du port de L'Escala. Ce projet donne plus d'abri et de sécurité à cette partie du port et aux bateaux qui y amarrent tout en permettant de réorganiser l'activité du chantier naval Escar.

L'accessibilité et la mobilité des véhicules et des piétons ont été améliorées grâce à un nouveau tracé de circulation qui intègre mieux le port à la ville. Ces réhabilitations ont coûté 1 070 000 euros et dix mois de travaux.⁽¹⁾

A) quai d'Ivry:

Tout savoir sur les travaux de restructuration de l'échangeur du quai d'Ivry les bretelles d'entrée et de sortie du boulevard périphérique extérieur quai d'Ivry seront fermées pour réaliser les travaux de restructuration de l'échangeur en vue de la création de l'allée piétonne Paris-Ivry.

Depuis le 21 mai 2014, l'accès et la sortie du boulevard périphérique extérieur s'effectuent par la Porte de Bercy ou la Porte d'Ivry. Des déviations ont été mises en place sur l'ensemble du quartier et sur le boulevard périphérique pour orienter les utilisateurs [Figure I.5].

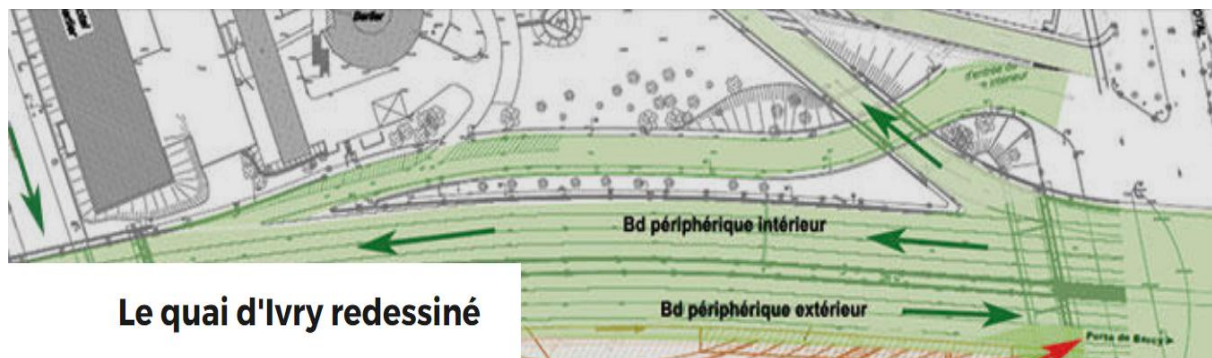


Figure I.2 : Quai d'Ivry.

Retour sur les aménagements

- La reconstruction des silos Calcia rue Bruneseau est terminée. Ils ont été remis en activité début mai 2014. Les anciens silos, situés entre la rue Jean-Baptiste Berlier et le quai d'Ivry ont été démolis à partir du mois d'août 2014.
- La restructuration de la rue Jean-Baptiste Berlier, précédée d'une phase de travaux préparatoire sur le quai d'Ivry, a commencé depuis décembre 2013. Cette rue sera remodelée afin de s'intégrer à la trame viaire générale du projet d'aménagement du secteur Bruneseau Nord.

Partie I : Etude Bibliographique

- Elle sera indépendante de l'échangeur du quai d'Ivry après qu'il ait été restructuré, croisera à niveau l'allée Paris Ivry et se dédoublera dans sa partie haute pour déboucher à la fois sur le boulevard du général Jean-Simon, face à la rue Albert Einstein, et sur la rue Bruneseau, près de l'hôtel industriel Berlier.
- Les travaux s'achèveront au 3ème trimestre 2017
- Les travaux de dévoiement (achevés en mai 2015) ont consisté en la création d'une plate-forme de 2 fois 4 voies de circulation, en rive du boulevard périphérique extérieur.

Ils permettent de transférer la circulation du boulevard périphérique sur la plate-forme provisoire afin de créer les ouvrages d'art nécessaires à la réalisation du passage de l'allée Paris-Ivry, au cours de l'opération suivante de restructuration de l'échangeur (débutée à partir de l'été 2015).

Cette opération intervient dans le cadre de l'aménagement du secteur Bruneseau Nord, dans la ZAC Paris Rive Gauche.

Ces travaux permettront de créer l'allée piétonne Paris-Ivry qui reliera Paris et Ivry-sur-Seine en passant sous le boulevard périphérique (photo ci-dessus). Le nouvel échangeur sera mis en service au début de l'année 2020. .⁽¹⁾



Figure I.3 : Tolbiac-Chevaleret



Figure I.4 : le Port autonome de Paris redessine le port d'Austerlitz



Figure I.5 : Port d'Austerlitz

Chapitre II: Aménagements extérieure du port de Mostaganem

(Aménagement de l'oued ain sefra).

II-1 Introduction :

Le premier festival international de la Rivière aura lieu en 2020 au bord de l'oued ain sefra de la wilaya de mostaganem. des gens participeront des quatre coins du monde. ils admireront le dynamisme ,la propreté et le paysage magnifique de l'oued ain sefra, qui aura complètement changé. les citoyens passeront leur week_end au bord de l'oued en se promenant avec leurs familles ou en mettant les pieds dans l'eau qui coule. ils pourront sourire au beau paysage de la ville ainsi qu'à leur cadre de vie changé [Figure II.1].



Figure II.1 : l'oued ain sefra (un espace propre pour les habitants).

Au cours des dix années qui vont de 2002 à 2012, la Corée du Sud a fait l'expérience de l'influence importante des cours d'eau propres sur la vie des gens à travers la réhabilitation de la rivière Cheonggye, le projet d'aménagement des quatre grands fleuves et le réaménagement du fleuve Han qui traverse Séoul. Le Groupement des entreprises coréennes souhaite participer à la revitalisation de l'oued Ain sefra, véritable « mère nourricière » de Mostaganem, en se basant sur les expériences obtenues dans ce domaine.

II-2 Lancement du projet de l'aménagement de la zone portuaire et de l'Oued Ain Sefra :

Dans le cadre de l'aménagement de l'Oued Ain Sefra, zone portuaire constitue une base stratégique au développement du port de Mostaganem [Figure II.2] qui fut occupée par un habitat hétéroclite, délabré et en piteux état où ses habitants, recensés et composés de 12 familles ont bénéficié, ces jours-ci, d'une attribution de logements, en urgence. Pour que les travaux d'aménagement puissent démarrer au plutôt, une opération de transfert des familles en question a été entreprise avec les moyens de la Mairie de Mostaganem vers leurs nouvelles habitations. En parallèle, des engins étaient déjà sur place pour procéder à la démolition, des habitations libérées, et qui serait suivie par d'autres opérations de déblaiements, de nettoyage, de nivellement...etc. Dans cette lancée, des orientations ont été données aux responsables des organismes techniques impliqués dans le projet de gare maritime, en rapport avec l'aménagement général de l'Oued Aïn-Sefra, d'une part et d'autre part, pour propulser le tourisme de qualité avec l'extérieur ceci, le fait que cette zone serait créatrice d'emplois durables et de nombreux commerces complémentaires à cette gare maritime. En outre, des locaux, intra-muros, du port qui doivent servir à la prise en charge des formalités d'usage du transit des futurs passagers et de leurs suites. Doivent être réhabilités d'où la nécessité de valoriser toutes les surfaces, même les plus petites, par la création d'un cadre attrayant par des opérations de plantations d'ornementation, d'équipements d'éclairage et l'offre de petits services vitaux à ceux qui seront à l'intérieur de l'espace portuaire. Au passage, signalons que des opérations de démolitions des vétustés sont déjà en cours pendant que les travaux intérieurs aux bâtiments sont en exécution. En outre, les hauts responsables ont insisté sur la nécessité d'œuvrer au respect de l'intégrité absolue du domaine public portuaire par sa séparation du Domaine privé mitoyen. ⁽³⁾



Figure II.2 : programme de promotion des aménagements de l'oued ain sefra.

II-3 Description de l'oued Ain Sefra donne topographique et géologique :

Les sites concernés par la présente étude se situe au niveau d'oued Ain sefra [Figure II.3], qui occupe une partie du Nord de la ville de Mostaganem [Figure II.4], près du rivage actuel (port de Mostaganem) de la mer.



Figure II.3 : Vue panoramique de la région d'étude

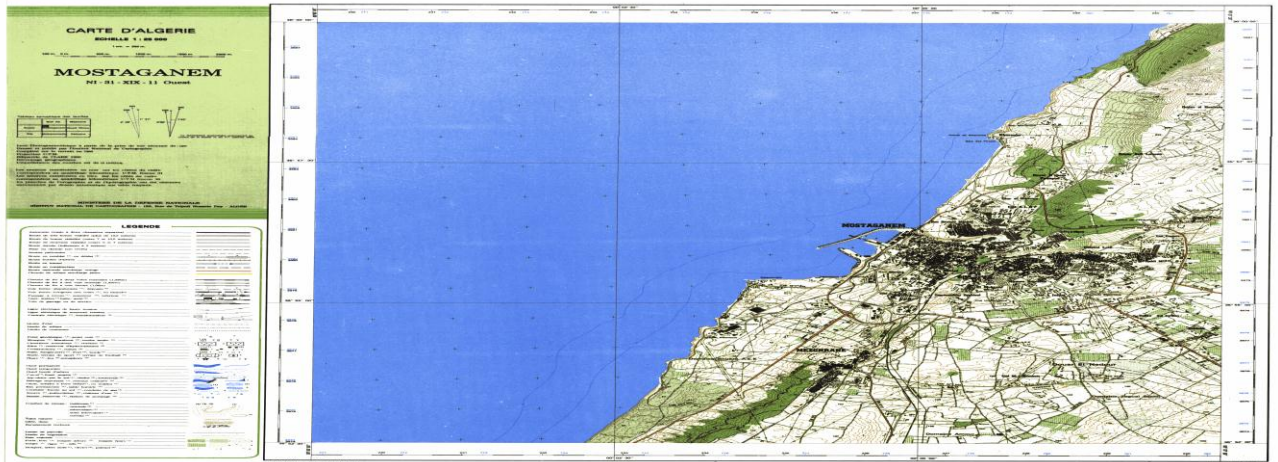


Figure II.4 : Extrait de la carte topographique de Mostaganem (NI -XIX-11 Ouest) à l'échelle 1 /25000

Sur le plan géographique, le site objet de la présente étude correspond à un oued (oued de Aine sefra) délimité par deux talus. Cette dernière est dominée par des formations gréseuses dans la partie amont et par des formations marneuses dans la partie aval de l'oued. Ces formations sont attribuées stratigraphiquement au Pliocène-Quaternaire (Pet Q selon la carte géologique de Mostaganem). L'ensemble s'achève par un niveau gréseux, massif ou sablonneux, à horizons sombres (matière organique) et par une terre végétale de faible épaisseur. Il est à noter la présence d'une formation anthropique (remblais) par endroits. Ces remblais sont plaqués contre les talus ou sont d'épaisseur [Figure II.5]



Figure II.5 : Extrait de la carte géologique de Mostaganem.

L'analyse du site a permis de distinguer des chutes de blocs gréseux et des écroulements de sables. Ces deux phénomènes correspondent aux processus de dégradation, dont l'origine est dépend d'un certain nombre de facteurs, et plus particulièrement de la morphologie (talus subverti calé), de la structure géologique (remblais, faciès marneux et sableux), de l'altération

et à la fissuration des grés soumis à l'influence des conditions climatiques (pluviométrie) ou d'origine anthropique (caniveaux obstrués au niveau de la route reliant la RN 11 au quartier des plateaux, fuites d'eau un peu partout, circulation des eaux usées à l'air libre, etc.). Les caractéristiques de ce type de versants pouvant engendrer des mouvements de chute de blocs ou d'effondrements.

Les niveaux gréseux sablonneux attaqués par l'érosion (éolienne et aquatique) engendrent des cavités au-dessous des niveaux réseaux durs. Ces derniers constituent un risque d'éboulement : la présence de vides et l'effet du poids des bancs gréseux. Les bancs gréseux présentent également des microcavités liées aux phénomènes de dissolution (matrice carbonatée) et de lessivage (grains de sable). Les formations meubles aléatoires des eaux (sans canalisation) usées et pluviales (figure), ce qui engendre des risques de glissement et d'éboulement.

II-4 Les différents aménagements du port de Mostaganem :

II-4.1 aménagement de l'oued Ain sefra :

A) Descriptif de l'environnement :

- Aménagement de l'oued Ain sefra $L=4.6$ km .
- Réhabilitation des collecteurs $L=8.6$ km.
- Plan d'alimentation de l'oued pour le maintien de son débit minimal
 - ✓ Installation de traitement tertiaire $Q=56000\text{m}^3/\text{j}$
 - ✓ Station de pompage des eaux usées traitées réutilisées $Q=56000\text{m}^3/\text{j}$
 - ✓ Station de pompage de l'eau recirculée $Q=104000\text{m}^3/\text{j}$
 - ✓ Conduite de refoulement de l'eau recirculée ou des eaux réutilisées
 $L=12.7$ km
- Création d'espaces verts et de repos au bord de l'oued $S=45$ ha .



Figure II.6 : Aperçu de projet

B) Analyse de l'état de la zone concernée :

Difficulté d'obtenir une section d'écoulement suffisante dans le tronçon de centre ville ; dégâts humains et matériels en cas d'inondations [Figure II.7].

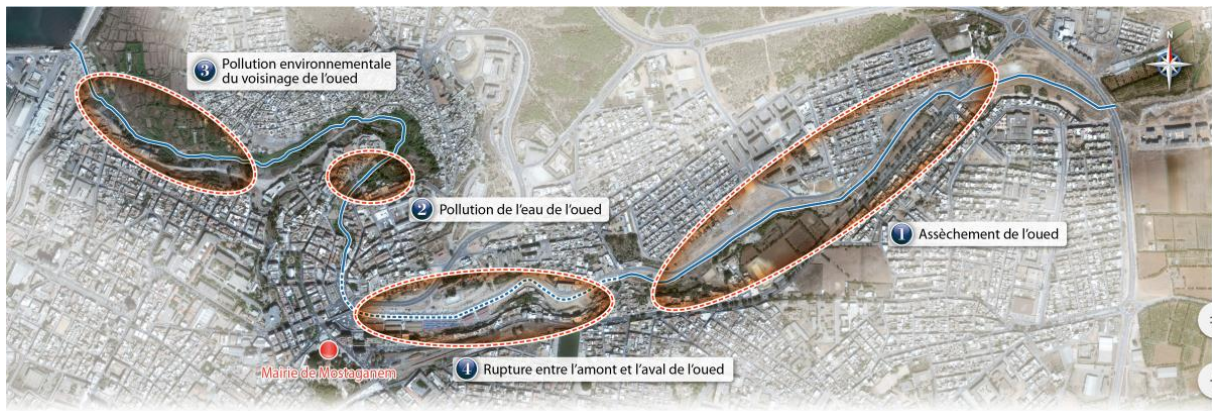


Figure II.7 : Analyse de l'environnement.

Partie I : Etude Bibliographique





Assèchement de l'oued	Pollution de l'eau de l'oued	Pollution environnementale du voisinage de l'oued	Rupture entre l'amont et Laval de l'oued
			
<p>Grave assèchement de l'oued en raison de l'insuffisance des précipitations moyennes annuelles=> garantie de l'écoulement de l'eau afin de maintenir le débit minimal</p>	<p>Importance de la pollution de l'eau en raison du rejet direct des eaux usées dans l'oued => réhabilitation des collecteurs</p>	<p>Rejet de déchets dans l'oued => constitution d'un oued écologique</p>	<p>Disparition de l'oued en raison de la présence d'une couverture en béton => rétablissement de la communication entre l'amont et l'aval par enlèvement de la couverture en béton</p>

Tableau II.1 : conception d'un plan global d'aménagement de l'oued.

C) Principales orientations de l'aménagement de l'oued :

a) Nécessité du projet

- Survenance D'inondation en raison de l'insuffisance de la section d'écoulement.
- Grave pollution de l'eau due au rejet direct d'eaux usées [Figure II.9] et [Figure II.8].

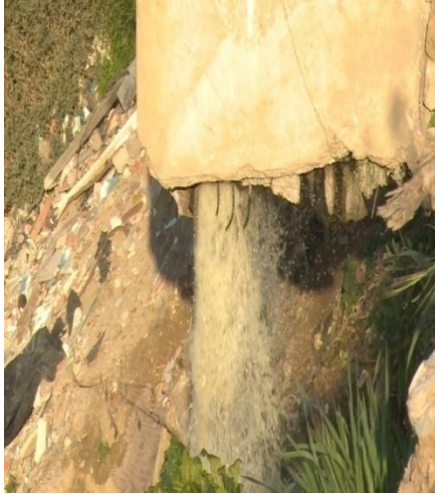


Figure II.8 : Coter école de Tapis
(rejet des eaux usée)



Figure II.9 : école de Tapis
(déversement des eaux usées)

- Assèchement de l'oued en raison de l'insuffisance des précipitations moyennes annuelles.



Figure II.10 : Assèchement de l'oued ain sefra

- Grave pollution environnementale due au rejet des déchets dans l'oued.



Figure II.11 : Coté Tabana Tidjdit (avant)



Figure II.12 :Coté TabanaTidjdit(Après)



Figure II.13 : Route école de Tapis (Avant)
(Décharges illicites)



Figure II.14 : devant école de Tapis (Après)

b) Amélioration à apporter :

La vie et les biens des habitants serraient protégé à travers un plan optimal de protection contre les inondations. Le rétablissement de l'environnement de l'oued et de ses fonctions d'espaces de loisirs garantirait le confort des habitants

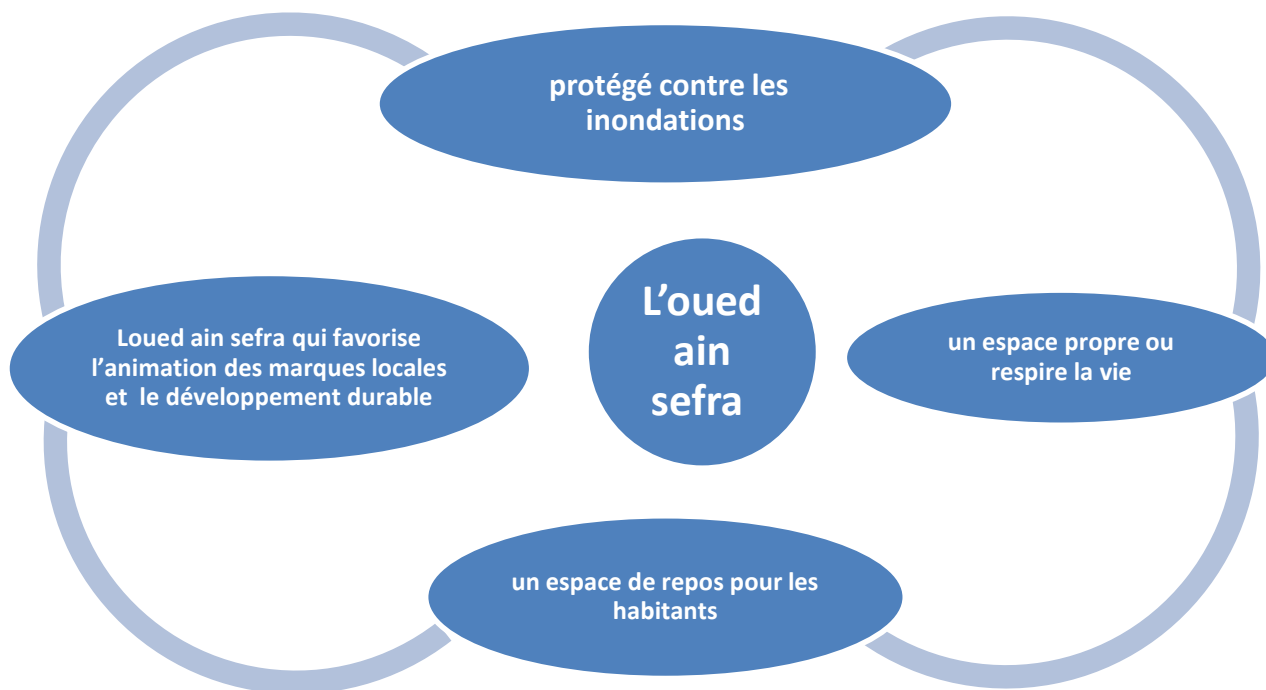


Figure II.15 : plan de promotion d'aménagement de l'oued ain sefra.

L'oued ain sefra protégé contre les inondations	L'oued ain sefra : un espace propre ou respire la vie	L'oued ain sefra : un espace de repos pour les habitants	Loued ain sefra qui favorise l'animation des marques locales et le développement durable
<p>Plan de protection contre les inondations :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Installation d'un lac réservoir ➤ Renforcement de la capacité d'évacuation des eaux en cas d'inondation ➤ Projet de protection des talus <p>Plan de stabilisation du canal</p> <p>Plan d'aimantation de l'oued en vue du maintien de son débit minimal</p> <p>Plan de restauration de l'oued</p>	<p>Plan d'amélioration de la qualité de l'eau de l'oued ain sefra</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Installation de traitement avancé ➤ Réhabilitation des collecteurs avoisinant l'oued <p>Source d'eau propre de l'oued ain sefra</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Etablissement d'un système de circulation de l'eau 	<p>Proposition d'aménagement des cours d'eau urbains</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Espace de confort des citoyens ➤ Espace de repos et de loisir ➤ Différents équipement de récréation <p>Proposition d'un schéma d'ensemble de petits cours d'eau urbains</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Perception de l'importance de l'oued ➤ Restauration de l'oued intégré dans la vie des citoyens 	<p>Plan de valorisation touristique de l'oued. espace dédié aux communautés locales marché couvert prévu.</p> <p>Plan de réception des produits agroalimentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Parc de stationnement souterrain ➤ Séparation des parcours de visite ➤ Installation d'ascenseurs pour les marchandises

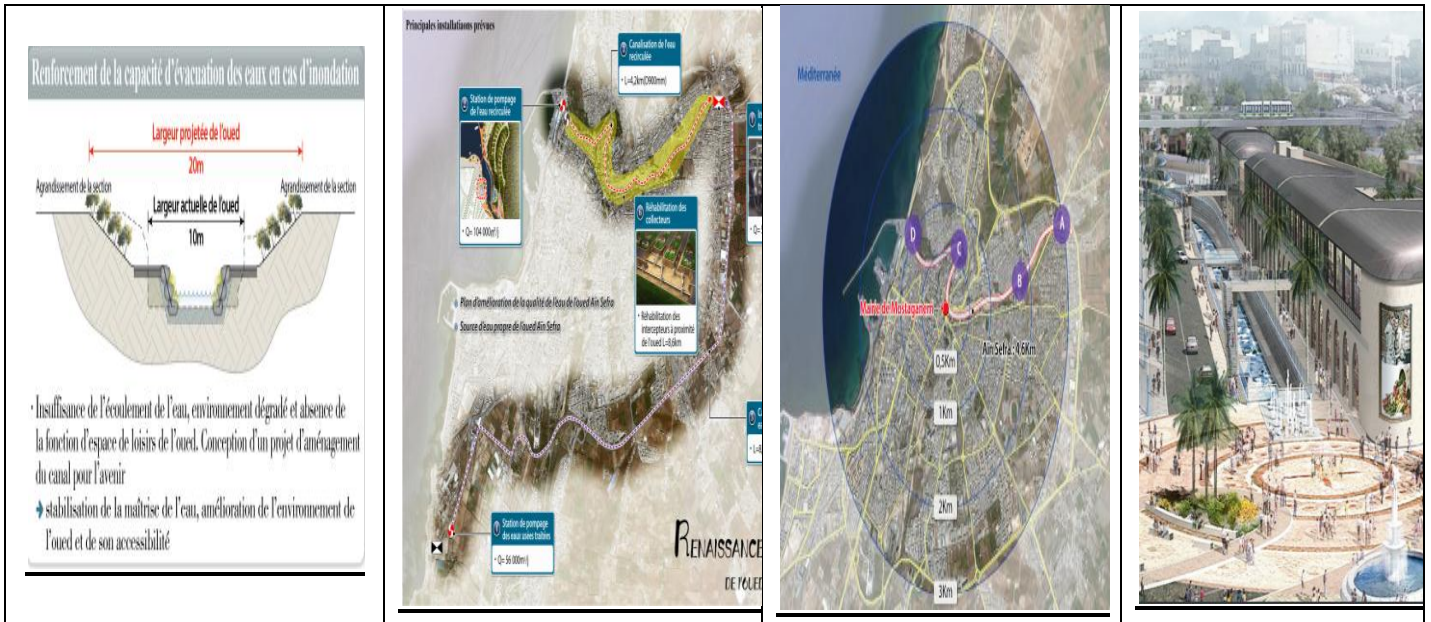


Tableau II.2: Programme de promotion du projet par secteur.

c) effets attendus

Sécurité garantie même en cas de survenance de crue de période de retour supérieure à 1000 ans.

Fourniture d'espaces de repos aux citoyens à travers l'amélioration de l'oued.

Fourniture d'infrastructures touristiques durables par l'animation des marques locales.

II-4.2 Confortement des talus de l'oued du pont d'Alma jusqu'à l'embouchure :

Confortement des talus de l'Oued du pont d'Alma jusqu'à l'embouchure ,conclu entre Monsieur le Wali de la wilaya de Mostaganem représenté par Monsieur le Directeur des Ressources en Eau de la wilaya de Mostaganem et l'entreprise **SARL ERROA (BOUMERDÈS)**et ce pour un montant du marché initial de **220.542.700,00 DA** en TTC et un délai d'exécution de Quinze (15) Mois.

▪ **Justification de l'avenant :**

Le projet confortement des talus de oueds Ain Sefra consiste à exécuter des travaux de traitement du sol en fonction de la nature géologique du site qui est hétérogène et complexe avec la présence de multiples sources d'eau souterraines naturelles qui coulent en continue en provoquant les glissements et l'instabilité des rives.

- **Les différents procédés de traitement :**

- 1- Le système GEOGRILLE végétalisé renforcé par les tiges d'ancrages avec des câbles métalliques tendus, préconisé par un terrain non rocheux [figure II.16].



Figure II.16 : Le système geogrid végétalisé.

- 2- Le béton projeté armé par un treillis soudé et tige d'ancrage, est préconisé par un terrain non rocheux friable [FigureII.17]



FigureII.17 : Le béton projeté sur le talus.

- 3- Utilisation du grillage plaqué par des tiges d'ancrage, pour les endroits rocheux (contre chute de pierres) [Figure II.18].



Figure II.18: Grillage plaqué par des tiges d'ancrage.

- 4- Réalisation des murs de soutènement en béton armé avec des systèmes de drainage des eaux, pour les endroits qui présente un risque de glissement de terrain [Figure II.19]



Figure II.19 : les murs de soutènement en béton armé.



Figure II.20 : systèmes de drainage des eaux dans les murs de soutènement.

Par conséquence, nous enregistrons des changements dans la nature des travaux par nécessité en vue de répondre aux exigences de la nature géologique variable de l'oued dont le contrat objet de ce projet a été élaboré sur la base d'un cahier des charges qui n'a pas prévu en détail et avec exactitude les travaux qu'ils faut (des études APS).

L'actualisation des études de l'avant-projet sommaire (APS) approuvé par les études géotechniques réalisées par le laboratoire EURL 3G de Mostaganem, nous conduit vers ce résultat de modification

Le contrôle et suivi du projet sont assurés par l'organisme de contrôle technique hydraulique d'Oran (CTH).

En dépit de ce précède, les changements effectués sont comme suit :

II-4.3 réalisation de deux ouvrage de franchissement (passage supérieure au niveau de l'oued Ain sefra) :

Les Consistance des travaux comprennent notamment :

- D) Travaux de terrassement en tranchée, et en grand masse
- E) Travaux de remblaiement
- F) Travaux de génie civil et de travaux publics
- G) Mise en place de béton armé et géotextile

Exécution de l'ouvrage d'art :

- a) Installation de chantier y compris amenée et repli du matériel
- b) Forage des pieux et recepage des pieux 16 U

c) Remblais et Déblais mécanique pour fouilles y compris blindage et épuisement

d) Béton ⁽³⁾

1. 370m³ du béton RN35 pour pieux
2. 25 m³ de béton de propreté c250
3. 240 m³ du béton C350 pour infrastructure y compris coffrage
4. 210 m³ du béton C400 pour dalles et arcs

e) réalisation des trottoirs en béton armé RN27

1. pose de tablier métallique y compris sablage et peinture (100 000 kg)
2. pose acier ronds d'armatures FE400 (160227kg)
3. pose corniches préfabriqué en béton armé RN27 (160ml)
4. Bordure pour trottoir (160ml)
5. Couche de protection en résine de 1mm pour une amélioration esthétique des surfaces apparentes de béton (580m²)
6. Peinture bitumineuse sur parties enterrées (600m²)
7. Chape d'étanchéité pour dalle (500m²)
8. Garde corps métallique (160ml)
9. pose de glissières de sécurité métallique (160ml)
10. Joints de chaussée (24ml)
11. Barres métalliques décoratifs diamètres 40 mm (350ml)

II-4.4 Réalisation d'un ouvrage dalot :

- 14000m³ du Remblais et 600m³ du Déblais mécanique
- Béton :
 1. 960m³ du béton cyclopéen
 2. Béton de propreté C250
- Pose acier d'armatures FE400
- trottoir
 1. Bordure pour trottoir (45 ml)
 2. 250m² du Peinture bitumineuse
 3. Chape d'étanchéité pour dalle (150m²)
 4. Garde corps métallique (40ml)
 5. pose de glissières de sécurité métallique (40ml)



Figure II.21 : réalisation d'ouvrage dalot.

II-4.5 travaux d'aménagement de la placette de l'embouchure d'oued Ain sefra avec traitement paysage :

Les différents procédés de traitement :

- Décapage de la terre végétale sur 20 cm et mise en dépôt et toutes sujétions de bonnes exécutions
- Remblais provenant d'une zone d'emprunt y compris arrosage , compactage et toutes sujétions de bonne exécution.
- Déblais meuble mis en dépôt y compris débroussaillage et toutes sujétions de bonnes exécutions ⁽³⁾
- Mise en œuvre d'une couche de forme en tuf sur 20cm d'épaisseur y compris arrosage, compactage et toutes sujétions de bonne exécution
- Mise en œuvre d'une couche de base en grave concassée sur 20 cm d'épaisseur, y compris arrosage et compactage
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux sur 08 cm d'épaisseur.
- Pose de bordure et trottoir type T2 ;y compris caniveau préfabriqué .
- Réalisation de béton imprimé sur 08 cm à 350kg/m³ ; béton poreux pour espace parkin.

Partie I : Etude Bibliographique

- Pose de terre végétale noirâtre sur une épaisseur de 50cm ;pose de gazon naturel sur espace vert construction de massifs de scellement de candélabre en béton (0.70*0.70*0.80) dosé 350kg/m³
- Pose de luminaires en un de puissance 9600LUM/80W.
- Signalisation horizontal d'un parking avec peinture lumineuse mise en place de pierre noble au choix du maitre d'ouvrage pour traitement de sol
- Des Pos en béton pour l'aménagement extérieur
 - Des Banc, des Tables de Ping Ponge, des pots circulaires, claustrait en béton avec un fibre de verre type GRC
- Construction d'un arbi complet (4.6*4*4 m) pour poste transformateur de 10 000 V. selon les directives et plan visé par Sonelgaz



Figure II.22 : Aménagement de la placette de l'embouchure d'oued Ain sefra.

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre I : présentation de projet

I-1-Présentation de la wilaya :

Mostaganem se trouve au Nord de l'Algérie à 365 Km Ouest d'Alger la capitale du pays. Elle occupe une position géographique stratégique et une aire d'influence régionale, du fait même de l'existence de son important port de commerce, et de son réseau de voies de communication qui la lie à plusieurs wilayas.

Ainsi, la région de Mostaganem dispose d'atouts économiques, dont l'exploitation offre des perspectives de développement économique prometteuses dans les domaines, agricoles, maritime, industriel et surtout touristique.

Les wilayas limitrophes : à l'Est la Wilaya de Chlef, au Sud-est la Wilaya de Relizane, à l'Ouest la Wilaya d'Oran et au Sud-ouest la Wilaya de Mascara, reliée à la ville par les routes nationales suivant : RN 11, RN 90, RN 90A, RN23 et RN 17.

Mostaganem, parmi les autres villes de la région ouest (Oran, Tlemcen, ghazaout et Arzew) et un point d'ancrage vers les villes du bassin méditerranéen : Lisbonne, Madrid, Barcelone, Alicante, Marseille et Rome.

L'étude socio-économique a permis d'identifier les motifs de déplacement au niveau de la wilaya, et avait démontré que l'agriculture était la vocation essentielle de la région, mais l'accroissement important de l'urbanisation, en raison de la dynamique socio-économique au profit des zones urbaines, le secteur a vu une grande saturation dans cette région.



Figure I.1 : Réseau routier de la wilaya de Mostaganem

Partie II : Etude Géométrique

II. 2. Présentation du projet :

a. Cadre de l'étude :

Dans le cadre de l'étude d'un aménagement de l'oued aine sefra - Mostaganem à une chaussées bidirectionnelles ; reliant le port de Mostaganem à le centre ville(tejedit) sur 1km ,suite à la demande de la Direction des Travaux Publics « D.T.P » de la wilaya de Mostaganem adressée à la SETS, une étude d'avant-projet détaillé, fera l'objectif de ce rapport technique.

Afin de mener à bien notre étude, plusieurs visites de site sont effectuées pour avoir une appréciation suffisante de toutes les contraintes sur l'ensemble des aspects géométrique, géotechnique, environnemental, etc...

Notre projet de fin d'étude consiste à étudier en avant-projet sommaire et en avant-projet détaillé un de levitement autoroutier reliant le port de Mostaganem à le centre ville sur 1km. Pour atteindre le but de cette étude, nous l'avons réalisé en deux grandes parties :

- Une phase APS : consacrée à l'étude de deux variantes.
- Une phase APD : traitera l'étude de la variante choisie.^[13]

b. Objectif de projet :

II.2. L'objectif de l'étude :

- Améliorer la sécurité.
- Réduire le temps de parcours.
- Améliorer les conditions de circulation.
- Réaliser un traitement architectural et environnement.

Pour atteindre l'objectif visé, notre travail a été structuré comme suit :

- Etudier le trafic afin de justifier l'utilité de l'aménagement prévu.
- Procéder à un dimensionnement des Corp. de chaussées neufs pour la partie projetée
- Concevoir la géométrie en plan, en long et en travers du projet.
- Concevoir la géotechnique par la classification de sol « couche de fondation et couche de forme »

Partie II : Etude Géométrique



Figure I.2 : présente la position de la région d'étude par rapport à la ville de Mostaganem

Phase APS

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre II : Etude des variantes

II-1- Tracé en plan :

A. Introduction :

Lors de l'élaboration de tout projet routier l'ingénieur doit commencer par la recherche d'un tracé dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain. La surface de roulement d'une route est une conception de l'espace, définie géométriquement par trois groupes d'éléments qui sont :

- Tracé de son axe en situation ou en plan.
- Tracé cet axe en élévation ou profil en long.
- Profil en travers.

❖ Définition :

Le tracé en plan est une projection de l'axe de la chaussée sur un plan horizontal, il est constitué d'une succession de droites, raccordés par des arcs de cercles. Il doit permettre d'assurer les bonnes conditions de sécurité et de confort.

Le tracé en plan d'une route est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on pourra déterminer les paramètres géométriques de la route.^[12]

B. Règles à respecter dans la trace en plan :

Pour faire un bon tracé en plan dans les normes on doit respecter certaines recommandations.^[12]

- De recourir à un tracé garantissant la visibilité aux usagers de la route.
- Assurer des raccordements progressifs entre les alignements droits et les courbes.
- Placer les carrefours dans des endroits assurant une bonne visibilité.
- Introduire les dévers au niveau des petits rayons.
- Respecter les normes d'aménagement en matière de paramètres routiers (rayons, Dévers).
- Introduire des sur largeurs pour les poids lourds.
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- L'utilisation du réseau routier existant si possible.
- Dans le cas des terrains plat, l'axe sera placé le plus près possible des points hauts de façon à utiliser les possibilités de drainage naturel.
- Éviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Éviter au maximum les propriétés privées.

Partie II : Etude Géométrique

- Éviter le franchissement des oueds afin d'éviter au maximum la construction d'ouvrages d'arts pour des raisons économiques et d'exploitation.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Éviter les sites qui sont sujets à des problèmes géotechniques.

C. Eléments 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.^[4]

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments : **(voir la figure)**

1. Des droites (alignements).
2. Des arcs de cercle.
3. Des courbes de raccordement progressives.

Comme il est schématisé ci-dessous :

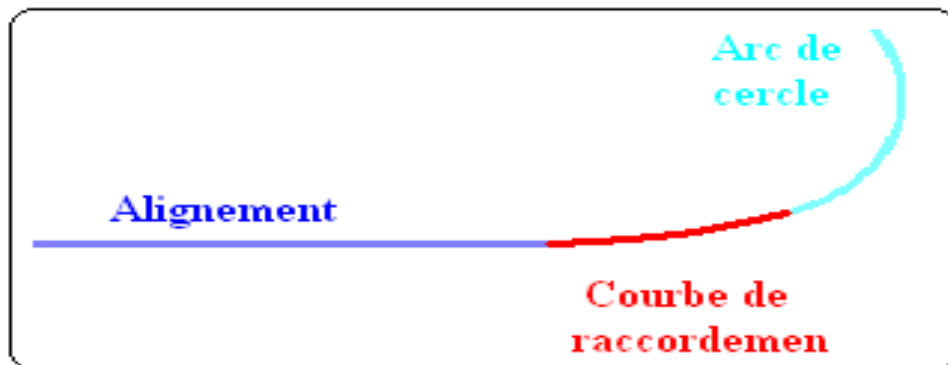


Figure II.1 : Eléments du tracé en plan

➤ Alignements droits :

Les alignements droits sont, en premier, définis par la disposition générale du tracé et serviront généralement de bases à la détermination des autres éléments (cercles, clothoïdes).

Ils serviront éventuellement de raccordement entre 2 cercles. Pour des raisons de sécurité, et en particulier éviter la monotonie source d'accidents et l'éblouissement par les phares la nuit, il est recommandé d'alterner alignements droits et courbes circulaires : 40 à 60

Partie II : Etude Géométrique

% d'alignements droits, et on limite à 30 % les courbes à courbure progressive telles que les clothoïdes. Leur longueur doit être limitée.

➤ Arcs en cercles :

Ils peuvent correspondre d'emblée à une certaine portion du tracé. Ils servent également éventuellement en association avec des arcs de clothoïde à relier deux alignements droits.

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- Stabilité, sous la sollicitation centrifuge des véhicules circulant à grande vitesse.
- Visibilité en courbe.
- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

Pour cela on essaie de choisir des rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous du rayon minimum préconisé.

➤ 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, c'est-à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules.

D. Paramètres fondamentaux d'un tracé routier :

a) Niveau de service :

Dans chaque catégorie de liaison, la route est caractérisée par des conditions minimales d'aménagement dépendant de :^[16]

- La qualité de service assurée à l'utilisateur.
- L'intensité du trafic et de sa composition.
- Caractéristiques topographiques.

b) Environnement de la route :

Les deux indicateurs adoptés pour caractériser chaque classe d'environnement sont :

Partie II : Etude Géométrique

- Dénivelée Moyenne Cumulée « H/L »
- La sinuosité « $\sigma = ls / L$ »

➤ Dénivelée moyenne cumulée « H/L » :

C'est la somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées le long de l'itinéraire. Le rapport de la dénivelée cumulée total H à La longueur total de l'itinéraire L permet de mesurer la variation lgitudinale du Relief.

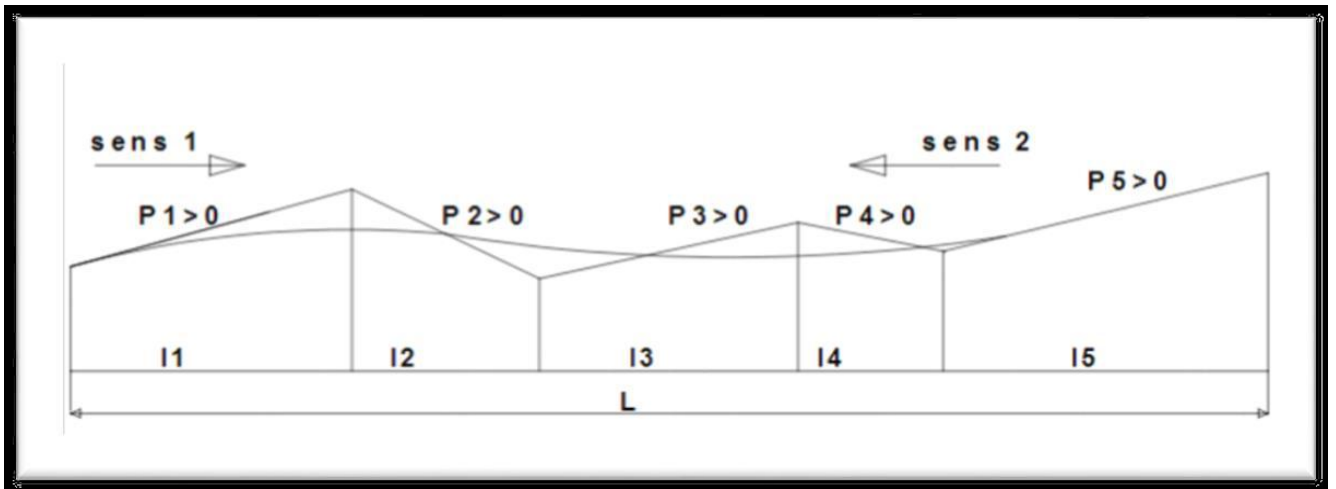


Figure II.2 : Dénivelée cumulée moyenne H/L

H /L Est donnée par la relation suivante :

$$\frac{H}{L} = \frac{\left| \sum_{P_i > 0} P_i l_i + \sum_{P_i < 0} P_i l_i \right|}{L}$$

P : pente du terrain

L=L1+L2+.....LN : longueur de l'itinéraire

Cette dénivelée cumulée moyenne nous permet de connaitre la nature du terrain.

Les valeurs seuils ci-dessous, déterminées par l'analyse de plusieurs itinéraires en Algérie, permettent de caractériser trois types de topographie.^[16]

Partie II : Etude Géométrique

Tableau II.1 : Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne

N°	Classification du terrain	Dénivelée cumulée
1	Plat	$H/L \leq 1.5\%$
2	Terrain Vallonné	$1.5\% < H/L \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$H/L > 4\%$

➤ **Sinuosité** $\sigma = ls / L$:

La sinuosité δ d'un itinéraire est égale au rapport de la longueur LS sur Le total de l'itinéraire. $\delta = (\text{longueur sinueuse des sections dont } Ri < 200\text{m}) / L$

❖ Les valeurs seuils, permettent de caractériser trois domaines de sinuosité.

N°	Classification	Sinuosité
1	Sinuosité faible	$\sigma \leq 0.1$
2	Sinuosité moyenne	$0.10 < \sigma \leq 0.30$
3	Sinuosité forte	$\sigma > 0.30$

Tableau II.2 : Classification de la sinuosité

Les trois types d'environnement E_i distingués résultent du croisement des deux Paramètres précédents selon le tableau ci-dessous

Sinuosité et relief	Faible	Moyenne	Forte
Plat	E1	E2	/
Vallonné		E2	E3
Montagneux	/	E2	E3

Tableaux II.3 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité

Partie II : Etude Géométrique

c)-Catégorie de la route :

La catégorie d'une route est définie suivant la nature des villes, suivant les activités socio-économiques et administrative situées sur les localités desservies par la route.

Les routes Algériennes sont classées en cinq (5) catégories fonctionnelles et sont comme suit :

- **Catégorie 1** : Liaison entre les grands centres économiques et les centres industriels lourdes considérés deux à deux, et liaisons assurant le rabattement des centres d'industries de transformation vers réseau de base ci-dessus.
- **Catégorie 2** : Liaisons des pôles d'industries de transformations entre eux, et liaisons de raccordement des pôles d'industries légères diversifiées avec le réseau précédent.
- **Catégorie 3** : Liaison des chefs-lieux de daïra et des chefs-lieux de wilaya, non desservies par le réseau précédent, avec le réseau de catégorie 1 et 2
- **Catégorie 4** : Liaison entre tous les centres de vie qui ne sont pas reliés au réseau de catégorie 1 – 2 et 3 avec le chef-lieu de daïra, dont ils dépendent, et avec le réseau précédent.
- **Catégorie 5** : Routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes

Etant donné que notre projet relie le port de Mostaganem à centre ville

Donc selon les normes de B40 la catégorie choisie pour notre cas est la **catégorie4**

d)-Vitesse de la route :

La vitesse de référence est la vitesse de circulation des véhicules sur une route à circulation normale et au dessous de laquelle les véhicules rapides peuvent circuler normalement en dehors des pointes. Elle est déterminée en fonction de l'importance des liaisons assurées par la section de route et par les conditions géographiques.

Le tableau ci-dessous nous permet de déterminée la vitesse de référence.

Partie II : Etude Géométrique

Tableau II.4.: Vitesse de référence

Environnement Catégorie	E1	E2	E3
Cat 1	120-100-80	100-80-60	80-60-40
Cat 2	120-100-80	100-80-60	80-60-40
Cat 3	120-100-80	100-80-60	80-60-40
Cat 4	100-80-60	80-60-40	60-40
Cat 5	80-60-40	60-40	40

E. Courbes en plan :^l

a) Rayon minimal absolu RHm :

C'est le plus petit rayon en plan admissible pour une courbe présentant un dévers maximal et parcourue par la vitesse de référence

$$RHm = \frac{Vr^2 \text{ (Km/h)}}{127(d + ft)}$$

b) Rayon minimal normal RHN :

RHN est le rayon minimal absolu relatif à la vitesse de référence immédiatement supérieure. Il lui est associé un dévers égal à $d_{max} - 2\%$ pour les

$$RHN = \frac{(Vr + 20)^2}{127(ft + d)}$$

Catégories 1-2-3 et 4. Ce dévers est réduit à 6% (= $d_{max} - 3\%$) pour la catégorie

c) Rayon au devers minimal RHd :

RHd est le rayon au deçà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et tel que l'effet centrifuge résiduel soit équivalent à celui subi par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit (devers : - $d_{min} \%$)

$$RHd = \frac{Vr^2}{127(2 \cdot d_{min})}$$

Partie II : Etude Géométrique

d) Rayon non déversé RHnd :

C'est le rayon tel que l'accélération centrifuge résiduelle que peut parcourir un véhicule roulant à la vitesse $V = V_r$ présente un dévers vers l'extérieur.

$$RHnd = \frac{V_r^2}{127(F'' - d_{min})}$$

Détermination des dévers d_{max} et d_{min}

	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
d_{min}	-2,50%	-2,50%	-3%	-3%	-4%
d_{max}	7%	7%	8%	8%	9%

Tableau II.5: Dévers

Détermination du coefficient transversal f_t

V_r	40	60	80	100	120	140
CAT 1-2	0,22	0,16	0,13	0,11	0,1	0,1
CAT 3-4-5	0,22	0,18	0,15	0,125	0,11	/

Tableau II.6: Valeur du coefficient f_t

Tableau des coefficients F'' en fonction de la catégorie

Catégorie	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
F''	0,06	0,06	0,07	0,075	0,075

Tableau II.7: Valeur du coefficient " F'' "

Partie II : Etude Géométrique

F. Détermination des rayons :

a) Détermination des coordonnées des sommets :

Dans cette partie on a relevé à partir du tracé en plan, les coordonnées planimétriques définissant l'axe la route. Une fois les coordonnées relevées, on a calculé les gisements de toutes les directions définissant les alignements droits, on a déterminé ensuite les angles au centre de chaque raccordement et enfin on a déterminé les distances entre les sommets.^[5]

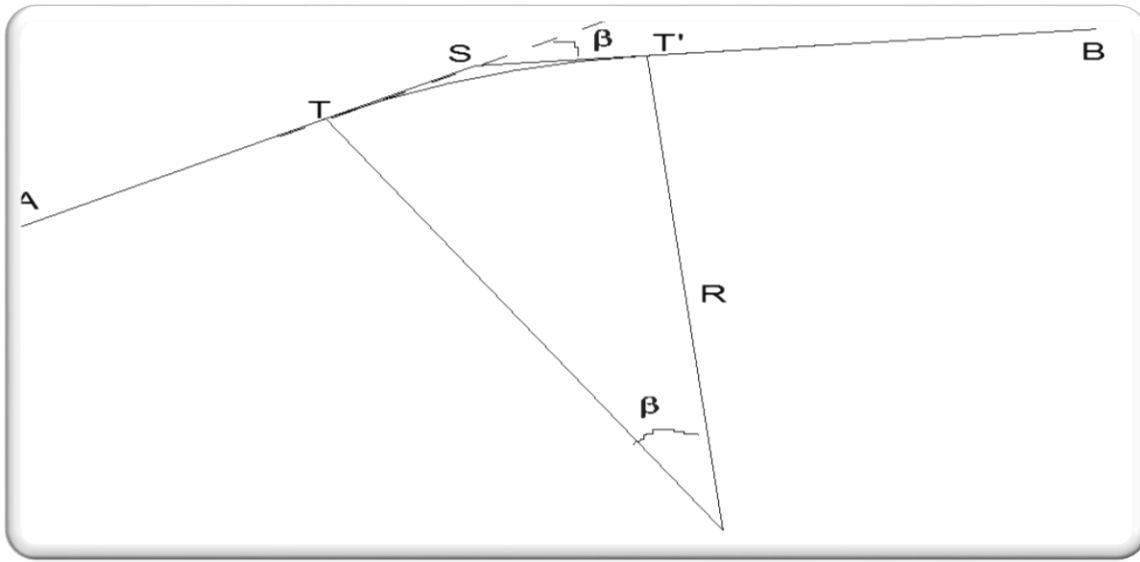


Figure II.3 : Raccordement circulaire

b) Calcul de gisements et des angles au centre :

➤ *Gisement*

Le gisement d'une direction est l'angle dans le sens topographique (des aiguilles d'une montre) compris entre l'axe des Y et la direction^[5]

Exemple : Calcul du Gisement de la direction AS1.

$$G_{AS1} = \arctg \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \arctg \frac{X_{S1} - Y_A}{Y_{S1} - Y_A}$$

➤ *Distance*

La distance AS1 est donnée par la relation :

$$AS1 = \sqrt{(X_{S1} - X_A)^2 + (Y_{S1} - Y_A)^2}$$

Partie II : Etude Géométrique

➤ *L'angle au centre*

D'après le cas de figure, l'angle au centre β est donné par :

$$\beta = G_{AS1} - G_{S1}$$

c) Formules de calculs des éléments de raccordement circulaire :

➤ *La tangente «T»* : est la distance entre le sommet considéré et l'extrémité du

raccordement elle est calculée ainsi. $ST = ST' = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$

Avec :

β : l'angle au sommet (grad)

R : rayon choisit (m)

➤ *Bissectrice «Bx»* : est obtenu par la relation suivante : $Biss = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\beta}{2}} - 1 \right)$

➤ *Développée de l'arc «D»* : $D = \frac{\pi \cdot \beta^{\text{deg}} \cdot R}{180} = \frac{\pi \cdot \beta^{\text{Grad}} \cdot R}{200} = R\beta^{\text{rd}}$

➤ *Flèche «F»* : $F = R \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)$

G. Pourcentage Alignement Droit :

Pendant longtemps le tracé rectiligne a été considéré comme le meilleur parce qu'il est le plus court, mais ce tracé représente des inconvénients dans les grands alignements, éblouissement, torpeur du conducteur, vitesse excessive, esthétique difficile.

C'est pour cela qu'il est préférable de remplacer les longs alignements droits par des successions d'alignements courts ou par des courbes à grands rayons. Le facteur le plus important est le pourcentage des alignements droits d'une section de route. Il est recommandé de limiter ce pourcentage de 40 à 60 %

H. Cubatures Approchées :

Les cubatures de terrassement est le volume en m^3 des travaux déblais et remblais. Plusieurs méthodes sont utilisées, à la base de donner de deux coupes

- Coupes longitudinal « profil en long »
- Coupe transversal « profil en travers »

Partie II : Etude Géométrique

a) Méthodes de calcul :

Il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes Remblais-Déblais, parmi lesquelles nous citerons :

- Méthode de la moyenne des aires.
- Méthode de la longueur applicable.
- Méthode approchée.

La méthode que nous allons utiliser est celle de la moyenne des aires, c'est une méthode simple mais elle présente un inconvénient de donner des résultats avec une marge d'erreur. Pour être en sécurité on prévoit une majoration des résultats.^[6]

b) Description de la méthode adoptée :

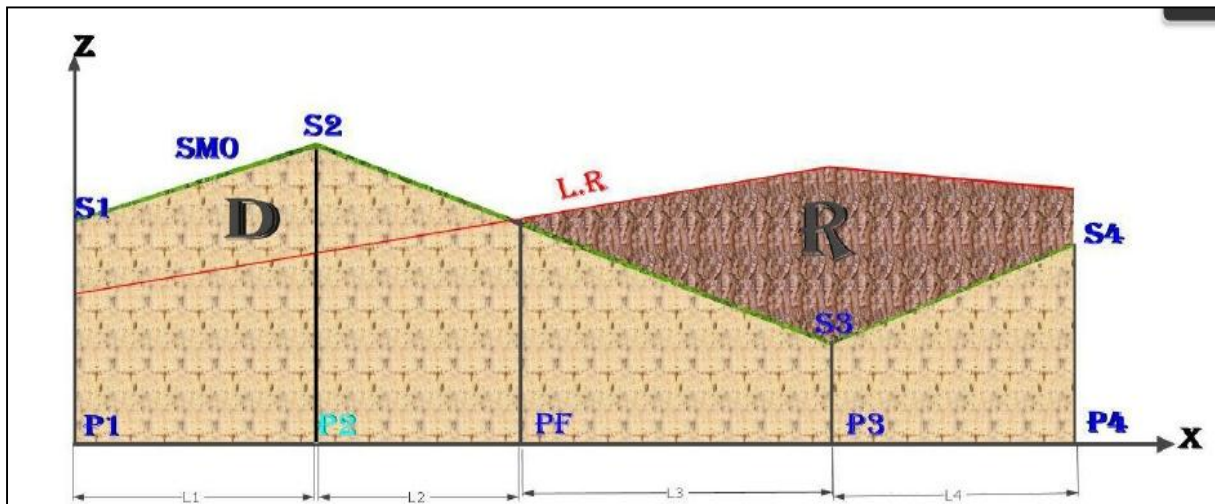


Figure II.4 : Positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné

Le principe de la méthode consiste à calculer le volume compris entre deux profils successifs par la formule :

Le volume compris entre les deux profils en travers P1 et P2 de section S1 et S2 sera égale à :

❖ *Méthode de calcul approximatif :*

$$V = \frac{L1}{2} S1 + \frac{L1+L2}{2} S2 + \frac{L3+L4}{2} S3 + \frac{L4}{2} S4$$

Partie II : Etude Géométrique

Par conséquent

$$V_t = \left(\frac{d_1}{2}\right)S_1 + \left(\frac{d_1+d_2}{2}\right)S_2 + \left(\frac{d_2+d_3}{2}\right)S_3 + \dots + \left(\frac{d_n+d_{n+1}}{2}\right)S_{n+1}$$

❖ *Calcul des surfaces :*

a) En remblai :

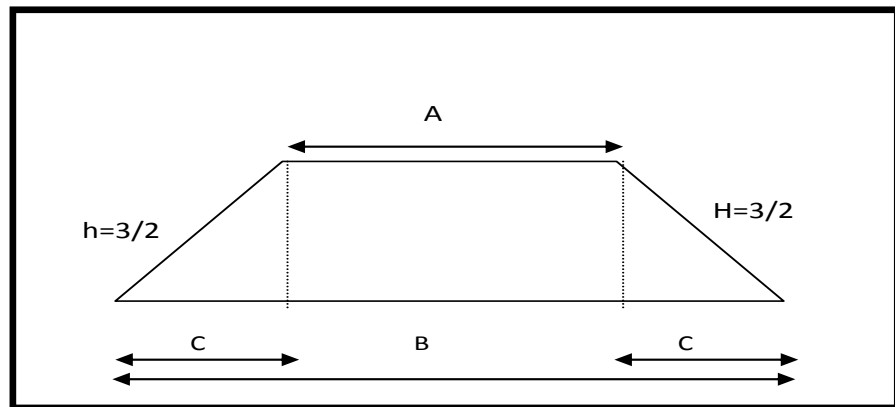


Figure II.5 : Calcul de surfaces cas de remblai

Avec :

- ✓ **A** : largeur de la chaussée les 2 Accotements.
- ✓ $\text{Tg } \alpha = P = 2/3 = h/c$
- ✓ $C = \frac{3h}{2}$
- ✓ **h** : différence de niveau entre la côte de projet et la côte terrain naturel
- ✓ $B = A + 2c$
- ✓ $B = A + 2\frac{3h}{2} = A + 3h$

D'où:

$$S = \frac{(A + B)}{2}h = \frac{A + A + 3h}{2}h = \frac{2A + 3h}{2}h$$

$$\text{Soit } S = Ah + \frac{3h^2}{2}$$

Partie II : Etude Géométrique

b) En déblai :

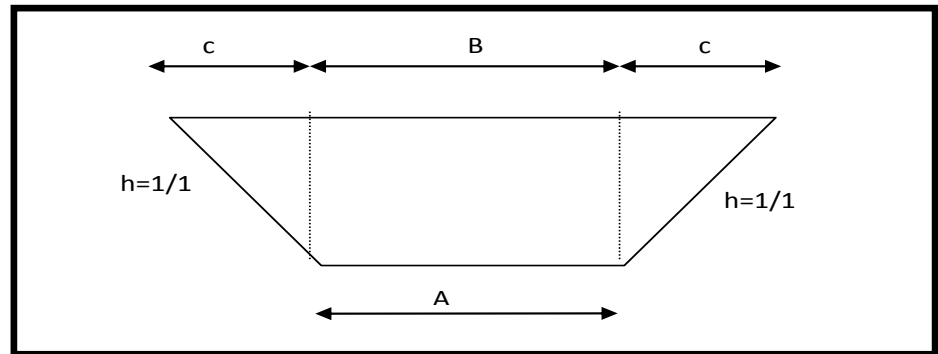


Figure II.6: Calcul de surfaces cas de déblais

Avec :

- ✓ **h** : différence entre C.T.N et C.P.
- ✓ **A** : largeur de la chaussée + 2 accotements + 2 fossés
- ✓ **SD = Ah + h²**

Partie II : Etude Géométrique

II-2. Etude de la variante 1 :

Le tracé en plan de la variante est constitué d'alignement droit et de courbes. L'étude consiste à déterminer les angles aux sommets et les longueurs des tangentes, on procède à la mesure à partir de notre plan topographique dans le but de déterminer les rayons en plan.

a) Coordonnées des sommets

N	X	Y
1	59495.155	51987.762
2	59334.805	51751.127
3	59401.316	51388.709
4	59536.437	51264.926
5	59538.328	51178.588

Tableau II.5.: coordonnées des sommets de l'axe de la route

Les résultats des calculs de l'autre raccordement sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II.6 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante1"

b) gisements et des distances

Valeurs de ΔX et Δy		Gisements		Angle au centre		Distances
$\underline{\Delta X} =$	-160.35m	G1.2	237.9131 gr	$\beta =$	49.668gr	285.84 m
$\underline{\Delta Y} =$	-236.64m					
$\underline{\Delta X} =$	66.51m	G2-3	188.4455 gr	$\beta =$	41.231 gr	368.48 m
$\underline{\Delta Y} =$	-362.43m					
$\underline{\Delta X} =$	135.12m	G3-4	147.2113 gr	$\beta =$	-51.391 gr	183.24 m
$\underline{\Delta Y} =$	-123.77m					
$\underline{\Delta X} =$	1.89 m	G4-5	195.605gr	$\beta =$		86.35m
$\underline{\Delta Y} =$	-86.338 m					

Partie II : Etude Géométrique

c) Détermination de l'environnement de la route

➤ Dénivelée cumulée moyenne :

Cette dénivelée cumulée moyenne nous permet de connaître la nature du terrain le tableau ci-après nous donne la dénivelé moyen cumulé de chaque profil :

Tableau II.7 : Dénivelée cumulée "Variante 1"

N°	Distance		COTE	
	Cumulée	Partielle	Z	DN
1	0.000	0.000	39.450	
2	25.000	25.000	40.566	1.116
3	50.000	25.000	41.736	1.171
4	75.000	25.000	42.532	0.795
5	100.000	25.000	44.080	1.548
6	125.000	25.000	46.217	2.137
7	150.000	25.000	49.301	3.085
8	154.860	4.860	49.878	0.576
9	175.000	20.140	51.720	1.842
10	200.000	25.000	54.143	2.423
11	225.000	25.000	57.157	3.014
12	250.000	25.000	59.868	2.711
13	275.000	25.000	62.914	3.046
14	300.000	25.000	63.993	1.079
15	325.000	25.000	66.503	2.511
16	350.000	25.000	71.128	4.625

Partie II : Etude Géométrique

17	375.000	25.000	74.453	3.325
18	400.000	25.000	78.386	3.933
19	403.517	3.517	78.586	0.200
20	425.000	21.483	78.900	0.314
21	450.000	25.000	77.891	-1.009
22	475.000	25.000	83.293	5.402
23	500.000	25.000	81.061	-2.232
24	525.000	25.000	79.045	-2.017
25	550.000	25.000	78.758	-0.287
26	557.090	7.090	78.805	0.048
27	575.000	17.910	79.466	0.661
28	600.000	25.000	91.852	12.386
29	625.000	25.000	93.516	1.665
30	650.000	25.000	95.251	1.735
31	675.000	25.000	98.805	3.554
32	700.000	25.000	94.999	-3.806
33	719.004	19.004	94.993	-0.007
34	725.000	5.996	94.944	-0.049
35	750.000	25.000	97.631	2.687
36	754.280	4.280	99.201	1.570
37	775.000	20.720	102.051	2.851
38	800.000	25.000	94.104	-7.947

Partie II : Etude Géométrique

39	825.000	25.000	91.502	-2.602
40	850.000	25.000	86.702	-4.799
41	875.000	25.000	97.406	10.704
42	875.368	0.368	97.407	0.000
43	897.665	22.297	98.225	0.819
somme				58.775

$$H = 58.775\text{m} \quad L = 897.665\text{m} \quad H/L = 0.0654$$

$$H/L = 6.54\% > 4\% \quad \longrightarrow \quad \text{terrain montagneux}$$

le terrain de la « **variante 1** » est : montagneux

➤ Sinuosité :

➤ $L_s = 121.088\text{m}$

➤ $L = 897.665\text{m}$

$$\sigma = \frac{L_s}{L} = \frac{121.088}{897.665} = 0.13$$

$$0.10 < \sigma \leq 0.30$$

Donc



la sinuosité de « **la variante 1** » est **moyenne**

Environnement de la route :

Les trois types d'environnement résultent du croisement des deux paramètres précédents

Dans notre cas nous avons : **Terrain, montagneux** **Sinuosité moyenne**

Donc la variante est d'environnement : **E2**

Partie II : Etude Géométrique

➤ Vitesse de référence :

En fonction de la catégorie de la route et l'environnement

La vitesse à considérer selon les normes est : **Vr = 60 Km/h**

➤ Rayons en plan :

➤ **Tableau II.8 :** Rayon en plan "variante 1"

Paramètres	Symboles	Calculé	B 40	Devers
Le rayon minimal absolu(m)	RHm	134.96	115	8 %
Le rayon minimal normal(m)	RHN	219.103	220	6 %
Le rayon au devers minimal(m)	RHd	472.44	450	3 %
Le rayon non déversé (m)	RHnd	629.92	650	-3 %

➤ **Choix des rayons :**

Pour une route de catégorie donnée, Il n'y a aucun rayon inférieur au rayon minimum absolu RHm. On utilisera, autant que possible des valeurs de rayons supérieures ou égales au rayon RHN.

$$\mathbf{R1= 150m \ R2= 250m}$$

d) **Détermination des éléments des Raccordements :**

❖ Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Eléments des raccordements circulaires "variante 1"

Bitas (β)	Rayon	Tangente	Bissectrice	Flèche	Développée
58,3938	150	64.06	63.582	52.683	121.02
14.785	250	83.91	4,7625	4,7076	161.83

La longueur totale de tracé mesurée

$$\mathbf{L_t = 897.665 \ m}$$

La longueur totale des arcs de cercles calculée: LC

Partie II : Etude Géométrique

$$L_c = 531.66 \text{ m}$$

La longueur totale des alignements droits mesurée : LAD

$$LAD = L_T - L_c = 897.665 - 531.66$$

$$LAD = 366.005 \text{ m}$$

Pourcentage d'alignement droit :

$$\% \text{ alignement Droit} = 40\%$$

5-Calcul de cubature approchée :

Tableau II.10 : Cubatures approchées

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application	Altitudes			Surface		Volume	
			TN	Projet	H	SR	SD	VR	VD
P1	0.00	12.50	39.45	39.45	0.00	0.00		0.00	0.00
P2	25.00	25.00	40.57	40.80	0.23	2.64		66.02	0.00
P3	50.00	25.00	41.74	42.15	0.41	4.77		119.30	0.00
P4	75.00	25.00	42.53	43.50	0.96	12.01		300.14	0.00
P5	100.00	25.00	44.08	44.87	0.79	9.67		241.69	0.00
P6	125.00	25.00	46.22	46.29	0.07	0.83		20.77	0.00
P7	150.00	14.93	49.30	47.75	1.55		19.45	0.00	290.40
P8	154.86	12.50	49.88	48.04	1.84		23.59	0.00	294.93
P9	175.00	22.57	51.72	49.25	2.47		33.25	0.00	750.35
P10	200.00	25.00	54.14	50.80	3.35		48.02	0.00	1200.41
P11	225.00	25.00	57.16	52.38	4.78		75.35	0.00	1883.86
P12	250.00	25.00	59.87	54.01	5.86		98.81	0.00	2470.22

Partie II : Etude Géométrique

P13	275.00	25.00	63.15	55.68	7.47		137.99	0.00	3449.84
P14	300.00	25.00	63.99	57.39	6.61		116.33	0.00	2908.19
P15	325.00	25.00	66.50	59.13	7.37		135.43	0.00	3385.65
P16	350.00	25.00	71.13	60.88	10.25		217.66	0.00	5441.56
P17	375.00	25.00	74.57	62.63	11.94		273.91	0.00	6847.74
P18	400.00	14.26	78.39	64.37	14.03		351.09	0.00	5006.04
P19	403.52	12.50	78.59	64.61	13.98		349.06	0.00	4363.21
P20	425.00	23.24	78.90	66.09	12.81		305.00	0.00	7088.67
P21	450.00	25.00	77.89	67.80	10.09		212.81	0.00	5320.25
P22	475.00	25.00	83.29	69.50	13.79		341.94	0.00	8548.49
P23	500.00	25.00	81.06	71.20	9.86		205.73	0.00	5143.23
P24	525.00	25.00	79.04	72.90	6.15		105.38	0.00	2634.46
P25	550.00	16.05	78.76	74.60	4.16		63.06	0.00	1011.87
P26	557.09	12.50	78.81	75.08	3.73		54.87	0.00	685.85
P27	575.00	21.45	79.47	76.30	3.17		44.97	0.00	964.89
P28	600.00	25.00	91.85	78.00	13.86		344.53	0.00	8613.32
P29	625.00	25.00	93.52	79.69	13.82		343.19	0.00	8579.73
P30	650.00	25.00	95.26	81.39	13.86		344.73	0.00	8618.31
P31	675.00	25.00	98.81	83.09	15.72		419.91	0.00	10497.73
P32	700.00	22.00	95.00	84.79	10.21		216.49	0.00	4763.16
P33	719.00	12.50	94.99	86.08	8.91		177.39	0.00	2217.32
P34	725.00	15.50	94.94	86.49	8.45		164.43	0.00	2548.37

Partie II : Etude Géométrique

P35	750.00	14.64	97.63	88.19	9.44		192.99	0.00	2825.30
P36	754.28	12.50	99.20	88.48	10.72		232.84	0.00	2910.53
P37	775.00	22.86	102.05	89.89	12.16		281.71	0.00	6439.92
P38	800.00	25.00	94.08	91.59	2.50		33.68	0.00	841.90
P39	825.00	25.00	91.42	93.29	1.87	25.79		644.80	0.00
P40	850.00	25.00	86.70	94.99	8.28	194.04		4850.88	0.00
P41	875.00	12.68	97.41	96.68	0.72		8.46	0.00	107.25
P42	875.37	11.33	97.41	96.71	0.70		8.15	0.00	92.35
P43	897.66	11.15	98.23	98.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total								6243.60	128745.29

Volume de remblai : 6243.60m³

Volume de déblai : 128745.29m³

Excès de remblai : 122501.4m³

Partie II : Etude Géométrique

II-3. Etude de la variante 2 :

1) Coordonnées des sommets :

Tableau II.11 : Coordonnées définissant l'axe de 'la variante 2'

N	X	Y
1	59495.155	51987.762
2	59331.048	51748.865
3	59382.254	51489.844
4	59386.830	51401.709
5	59361.477	51331.443
6	59447.455	51256.138
7	59501.741	51239.469
8	59487.822	51211.542

Les calculs de gisements et des angles au centre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II.12 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante2"

Valeurs de ΔX et ΔY		Gisements		Angle au centre		Distances
$\underline{\Delta X} =$	-164.11m	G1.2	238.3184 gr	$\beta =$	50.7436gr	289.82m
$\underline{\Delta Y} =$	-238.90 m					
$\underline{\Delta X} =$	51.21 m	G2-3	187.578 gr	$\beta =$	9.123 gr	263.82 m
$\underline{\Delta Y} =$	259.02 m					
$\underline{\Delta X} =$	4.58 m	G3-4	196.6976 gr	$\beta =$	76.2510 gr	88.31 m
$\underline{\Delta Y} =$	-88.13 m					
$\underline{\Delta X} =$	54.286 m	G4-5	118.965 gr	$\beta =$	26.8278 gr	114.293 m
$\underline{\Delta Y} =$	-16.305 m					

Partie II : Etude Géométrique

$\Delta X =$	-13.305m	G5-6	229.434 gr	$\beta =$	25.3467gr	56.787 m
$\Delta Y =$	-27.928m					
$\Delta X =$	70,266 m	G6-7	145.793 gr			74.700 m
$\Delta Y =$	85.977			$\beta =$	110.4689gr	

2) Détermination de l'environnement de la route

➤ Dénivelée cumulée moyenne :

Cette dénivelée cumulée moyenne nous permet de connaître la nature du terrain le tableau ci-après nous donne la dénivelé moyen cumulé de chaque profil :

Tableau II.13 : Dénivelée cumulée "Variante 2"

N°	Distance		Z	DN
	Cumulée	Partielle		
1	0.000	0.000	39.450	
2	25.000	25.000	40.566	1.116
3	50.000	25.000	41.714	1.148
4	75.000	25.000	42.498	0.784
5	100.000	25.000	44.093	1.594
6	125.000	25.000	46.184	2.091
7	150.000	25.000	49.266	3.083
8	175.000	25.000	51.586	2.320
9	200.000	25.000	54.009	2.423
10	225.000	25.000	0.000	-54.009
11	250.000	25.000	0.000	0.000

Partie II : Etude Géométrique

12	275.000	25.000	0.000	0.000
13	289.832	14.832	0.000	0.000
14	300.000	10.168	0.000	0.000
15	325.000	25.000	0.000	0.000
16	350.000	25.000	67.560	67.560
17	375.000	25.000	69.761	2.202
18	400.000	25.000	72.090	2.328
19	425.000	25.000	75.759	3.669
20	450.000	25.000	78.498	2.739
21	475.000	25.000	76.679	-1.819
22	500.000	25.000	78.028	1.349
23	525.000	25.000	78.246	0.218
24	550.000	25.000	78.264	0.018
25	553.866	3.866	78.381	0.117
26	575.000	21.134	78.729	0.348
27	600.000	25.000	78.814	0.085
28	625.000	25.000	78.700	-0.114
29	642.120	17.120	80.446	1.746
30	650.000	7.880	79.503	-0.943
31	675.000	25.000	76.521	-2.982
32	700.000	25.000	83.769	7.247
33	716.821	16.821	89.111	5.342

Partie II : Etude Géométrique

34	725.000	8.179	89.412	0.301
35	750.000	25.000	90.354	0.943
36	775.000	25.000	90.803	0.448
37	800.000	25.000	91.272	0.469
38	825.000	25.000	91.690	0.418
39	831.114	6.114	91.742	0.052
40	850.000	18.886	91.867	0.125
41	875.000	25.000	87.379	-4.488
42	887.902	12.902	84.576	-2.803
43	900.000	12.098	90.881	6.304
44	919.106	19.106	98.676	7.795
			SOMME	59.226

H = 59.226m

L = 919.106m

H/L = 0.0644

H/L = 6.44% > 4%terrain montagneux

➤ Sinuosité

$$\sigma = \frac{L_s}{L} = \frac{205.092}{919.106} = 0.21$$

$$0.10 < \sigma \leq 0.30$$

Donc

la sinuosité de « la variante 2 » est **moyenne**

➤ Environnement de la route :

Partie II : Etude Géométrique

Dans notre cas nous avons : **Terrain montagneux, Sinuosité moyennes**

Donc la variante est **d'environnement : E2**

➤ Vitesse de référence :

La vitesse de référence choisie dans notre projet est **$V_r = 60 \text{ Km/h}$**

3) Détermination des éléments des Raccordements :

Les résultats des calculs de l'outre raccordement sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.14 : Eléments des raccordements circulaires "variante 2"

Bita (β)	Rayon	Tangente	Bissectrice	Flèche	Développée
60.3877	350	50.7437	204,41	89.8521	278.987

La longueur totale de tracé mesurée

$$L_t = 919.106 \text{ m}$$

La longueur totale des arcs de cercles calculée: LC

$$L_C = 534.226 \text{ m}$$

La longueur totale des alignements droits mesurée : LAD

$$LAD = L_T - L_C = 919.106 - 534.226$$

$$L_{AD} = 384.88 \text{ m}$$

Pourcentage d'alignement droit :

$$\% \text{ alignement Droit} = 41\%$$

Partie II : Etude Géométrique

4)-Cubatures Approchées :

Tableau II.15 : Cubature approchée de la variante 2

Profil n°	Absciss e	Longueur d'applicatio n	Altitudes			Surface		Volume	
			TN	Projet	H	SR	SD	VR	VD
P1	0.00	12.50	39.45	39.45	0.00	0.00		0.00	0.00
P2	25.00	25.00	40.57	41.34	0.77	9.40		234.95	0.00
P3	50.00	25.00	41.71	43.23	1.51	20.09		502.15	0.00
P4	75.00	25.00	42.50	45.12	2.62	39.08		977.03	0.00
P5	100.00	25.00	44.09	47.00	2.91	44.73		1118.36	0.00
P6	125.00	25.00	46.18	48.89	2.71	40.82		1020.54	0.00
P7	150.00	25.00	49.27	50.78	1.52	20.12		502.92	0.00
P8	175.00	25.00	51.58	52.70	1.11	14.10		352.38	0.00
P9	200.00	25.00	54.01	54.67	0.67	8.00		199.96	0.00
P10	225.00	25.00	56.77	56.71	0.06		0.63	0.00	15.63
P11	250.00	25.00	58.94	58.82	0.12		1.37	0.00	34.20
P12	275.00	19.89	61.11	60.98	0.13		1.41	0.00	28.13
P13	289.79	12.50	62.39	62.28	0.11		1.26	0.00	15.77
P14	300.00	17.61	63.28	63.18	0.10		1.16	0.00	20.36
P15	325.00	25.00	65.45	65.35	0.10		1.07	0.00	26.66
P16	350.00	25.00	67.56	67.46	0.10		1.12	0.00	27.96
P17	375.00	25.00	69.76	69.48	0.28		3.11	0.00	77.64

Partie II : Etude Géométrique

P18	400.00	25.00	72.09	71.43	0.66		7.66	0.00	191.62
P19	425.00	25.00	75.76	73.30	2.46		33.12	0.00	827.97
P20	450.00	25.00	78.50	75.10	3.40		49.03	0.00	1225.70
P21	475.00	25.00	76.68	76.81	0.13	1.47		36.67	0.00
P22	500.00	25.00	78.03	78.45	0.42	4.86		121.60	0.00
P23	525.00	25.00	78.24	80.00	1.76	24.03		600.63	0.00
P24	550.00	14.41	78.27	81.49	3.22	50.95		734.26	0.00
P25	553.82	12.50	78.38	81.70	3.33	53.20		665.04	0.00
P26	575.00	23.09	78.73	82.89	4.16	71.68		1655.01	0.00
P27	600.00	25.00	78.81	84.21	5.40	103.06		2576.42	0.00
P28	625.00	21.07	78.70	85.46	6.76	142.81		3008.95	0.00
P29	642.14	12.50	80.45	86.27	5.82	114.80		1435.06	0.00
P30	650.00	16.43	79.50	86.62	7.12	154.49		2538.21	0.00
P31	675.00	25.00	76.53	87.75	11.22	312.23		7805.84	0.00
P32	700.00	20.91	83.78	88.87	5.09	94.86		1983.40	0.00
P33	716.82	12.50	89.11	89.63	0.52	6.13		76.60	0.00
P34	725.00	16.59	89.41	90.00	0.59	6.97		115.71	0.00
P35	750.00	25.00	90.35	91.12	0.77	9.34		233.59	0.00
P36	775.00	25.00	90.80	92.25	1.44	19.01		475.37	0.00
P37	800.00	25.00	91.27	93.37	2.10	29.71		742.65	0.00
P38	825.00	15.59	91.69	94.49	2.80	42.65		664.72	0.00
P39	831.17	12.50	91.74	94.77	3.03	47.09		588.65	0.00

Partie II : Etude Géométrique

P40	850.00	21.91	91.87	95.62	3.75	62.40		1367.38	0.00
P41	875.00	18.99	87.38	96.74	9.36	234.48		4451.69	0.00
P42	887.97	12.50	84.60	97.33	12.73	383.02		4787.80	0.00
P43	900.00	15.63	90.76	97.87	7.11	153.93		2406.46	0.00
P44	919.24	9.62	98.68	98.73	0.06	0.62		5.98	0.00
							total	43985.97722	2491.630955

Volume de remblai :43985.97722m³

Volume de déblai : 2491.630955m³

Excès de remblai : -41494.34627m³

Partie II : Etude Géométrique

II-4. Choix de la variante

Pour le choix de variante, on a dressé un tableau comparatif des deux solutions étudiées.

Ce tableau tient compte de plusieurs paramètres forts importants pour nous faciliter le choix de la variante qui répond aux normes.

Tableau II.16 : Comparaison entre les deux variantes

Critères de choix	variante 01	variante 02
Linéaire (m)	879.665 (+)	919.106 (+)
Nombre de rayon (u)	3 (+)	6 (++)
Conformité des rayons	conforme (+)	Non conforme (-)
Pente et rampe %	Rampe = 5.94 % Rampe = 7.006 % (+)	Rampe =8..33 % Rampe =4.06 % (+)
Coordination trace en plan profil en long	conforme (+)	conforme (+)
Pourcentage alignement droit (%)	40 (-)	39,49 (+)
Déblais (m3)	128745.29 (+)	2491.63095 (-)
Remblais (m3)	6243.60 (-)	43985.97722 (+)
Vdéblais -Vremblais	122501.4 (+)	-41494.34627 (-)
Environnement	E2 (+)	E2 (+)

Partie II : Etude Géométrique

Vitesse (km/h)	60 (+)	60 (+)
Sinuosité	moyenne (+)	Moyenne (+)

➤ **Conclusion :**

D'après l'analyse comparative des deux variantes, la réalisation de **la Variante 1** qui présente les critères techniques et économiques les plus avantageuses est recommandées.

Phase APD

Partie II : Etude Géométrique

Etude de la variante

Chapitre III : profil en long

III-1. Introduction :

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

Afin d'éviter des terrassements importants une correction de la ligne rouge sera exécutée tout en respectant les conditions technique d'aménagements des routes.⁽⁶⁾

➤ Définition :

C'est une coupe longitudinale du terrain suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il se compose de segments de droite de déclivité en rampe et en pente et de des raccordements circulaires, ou paraboliques. Ces pentes et rampes peuvent être raccordées entre elles soit par des angles saillants ou par des angles rentrants. La courbe de raccordement les plus courants utilisés est le parabolique qui facilite l'implantation des points du projet.

Les principes paramètres du choix d'un profil en long sont :

- ♦ Un bon écoulement des eaux pluviales
- ♦ Une limitation des déclivités suivant normes
- ♦ Un rayon de courbure minimum (condition de confort pour les angles rentrants et condition de visibilité pour les angles saillants)^[6]

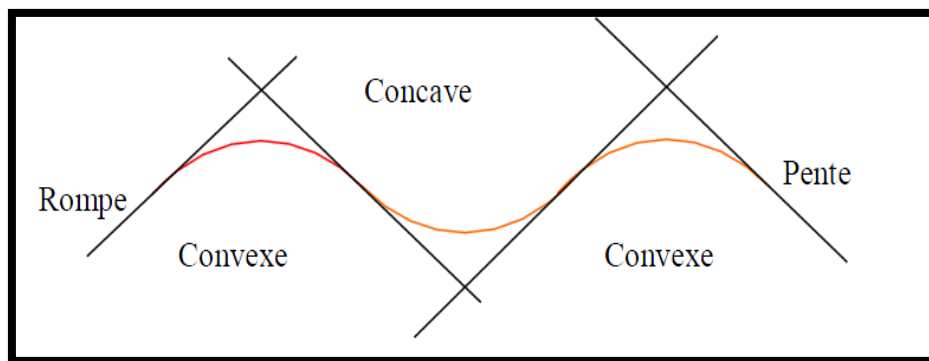


Figure III.1:Raccordement en profil en long

III-2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :^[6]

Le coût d'une construction routière varié en fonction de son profil en long, les coûts d'exploitation des véhicules empruntant la route et le nombre d'accident, à cet effet, quelques règles pratiques régissant celui-ci doivent être suivies :

- ❖ Éviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.

Partie II : Etude Géométrique

- ❖ Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- ❖ Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des dévers nul dans une pente du profil en long.
- ❖ 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.
- ❖ Recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- ❖ 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 certaines règles notamment.
 - Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de 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.

III-3. Eléments de composition du profil en long :

Le profil en long est composé d'éléments rectilignes par leur déclivité (pente ou rampe), et des raccordements paraboliques caractérisés par leur rayon.^[6]

➤ Types de rayons :

- ♦ Les rayons en angles rentrants (concaves).
- ♦ Les rayons en angle saillant (convexes).

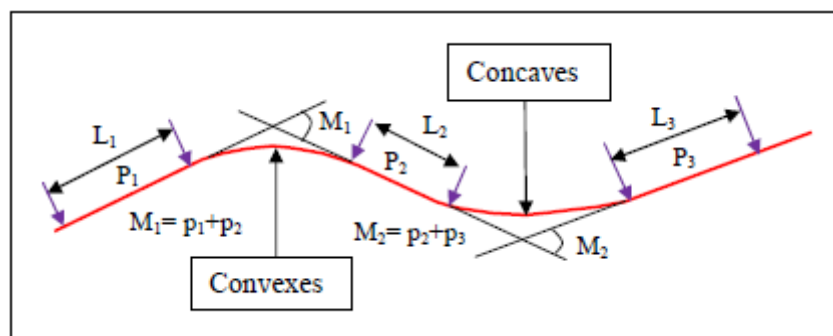


Figure III.2 : Elément géométriques du profil en long^[12]

III-4. Coordination du trace en plan et profil en Long :^[5]

Partie II : Etude Géométrique

Il est nécessaire de veiller à la bonne coordination du tracé en plan et du profil en long en tenant compte également de l'implantation des points d'échange afin :

- ❖ D'avoir une vue satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité minimale.
- ❖ D'envisager de loin l'évolution du tracé.

- ❖ De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs, etc.) pour éviter les défauts résultant d'une mauvaise coordination du tracé en plan et profil en long, les règles suivantes sont à suivre :
 - D'augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan si le profil en long est convexe.
 - D'amorcer la courbe en plan avant un point haut. Lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe.
 - De faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celui du profil en long (porter les rayons de raccordement vertical à 6 fois au moins le rayon en plan).

III-5. Déclivités :

La construction du profil en long doit tenir compte de plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (puissance des véhicules en rampe).

Autrement dit la déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées.^[5]

Tableau III.1 : Valeur de la déclivité maximale

V_R (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Déclivité max (%)	8	7	6	5	4	4

Pour notre cas la vitesse $V_R=60$ Km/h donc la pente maximale $I_{max} = 7\%$.

III-6. Raccordements en profil en long :

Deux déclivités de sens contraire doivent se raccorder en profil en long par une courbe.

Le rayon de raccordement et la courbe choisie doivent assurer le confort des usagers et la visibilité satisfaisante.

Partie II : Etude Géométrique

Et on distingue deux types de raccordements :^[6]

III-6.1 Raccordements convexes (angle saillant) :

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

Leur conception doit satisfaire à la condition :

- ❖ condition de confort.
- ❖ condition de visibilité.
- *Condition de confort :*

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, les véhicules sont soumis à une accélération verticale insupportable, qu'elle est limitée à :

$$\frac{g}{40} \quad \text{--- (Cat 1-2)}$$

$$\frac{g}{30} \quad \text{--- (Cat 3-4-5)}$$

Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à :

$$\frac{Vr^2}{Rv} < \frac{g}{40} \text{ Avec } g = 10 \text{ (m/s}^2\text{)} \quad \text{et} \quad v = \frac{Vr}{3.6}$$

Pour (Cat 1-2) $Rv \geq 0,3 V_2$

Pour (Cat 3-4-5) $Rv \geq 0,23 V_2$

Tel que :

Rv: C'est le rayon vertical (m).

Vr: vitesse de référence (km /h).

- *Condition de visibilité :*

Une considération essentielle pour la détermination du profil en long est l'obtention d'une visibilité satisfaisante.

Il faut deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$Rv \geq \frac{d^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{h_0 h_1})}$$

Partie II : Etude Géométrique

Avec :

d_1 : distance d'arrêt (m).

h_0 : hauteur de l'oeil (m).

h_1 : hauteur de l'obstacle (m).

➤ Les valeurs retenues pour les rayons minimaux absolus (d'après le B₄₀) sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau III-2 : Rayon Convexes (angle saillant)

		V (km/h)				
		RAYON				
		40	60	80	100	120
Chaussée Bidirectionnelle Cat 3-4--5	R_{vm}	450	1300	3500	8000	16000
	R_{vn}	1300	3500	8000	16000	16000
	R_{VD}	2300	5000	9000	16000	27000

III-6.2. Raccordements concaves (angle rentrant) :

Ces rayons ne posent pas de problèmes de sécurité majeurs mais leur Dimensionnement est essentiellement conditionné par des contraintes de Confort dynamiques, les conditions de visibilité nocturnes et l'évacuation des Eaux de ruissellement.

Est la tangente de l'angle entre les alignements du profil en long et l'horizontale. Elle est dénommée rampe si la route s'élève dans le sens du kilométrage, et pente dans le cas contraire.

A partir du tableau ci-dessous, on peut déterminer les plus convenables.

Tableau III- 3 : Rayon Concave (angle rentrant)

		V (km/h)				
		Rayons				
		40	60	80	100	120
CAT	R'vm	500	1100	1600	2400	3500
3-4-5	R'vn	1100	1600	2400	3500	4500

Partie II : Etude Géométrique

III-7. Calcul du profil en long :

1) Détermination pratique du profil en long :

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle : $X^2 + Y^2 - 2 R Y = 0$

À l'équation de la parabole : $X^2 - 2 R Y = 0 \quad \rightarrow \quad Y = \frac{X^2}{2 R}$

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante:

- Donnée les coordonnées (abscisse, altitude) les points A, D.
- Donnée La pente P1 de la droite (AS).
- Donnée la pente P2 de la droite (DS).
- Donnée le rayon R.

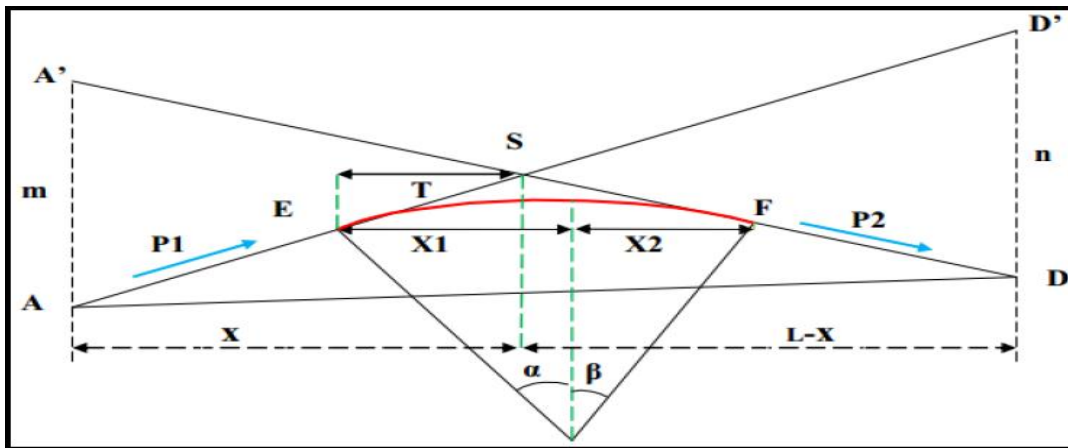


Figure III.3: Schéma de la courbe du profil en long

1^{er} cas :

❖ **RP =15000**

b) -Calcul des tangentes :

$$T = \frac{R}{2} (|P_1| \pm |P_2|) \quad \Rightarrow \quad T = 15000 \times (0.0701 - 0.0539) / 2 = \mathbf{121.5m}$$

c) -Calcul des flèches :

$$F = T^2 / 2R = 0.00405 \text{ m}$$

Partie II : Etude Géométrique

2 eme cas :

$$\diamond R = 50000$$

$$T = (7.01\% - 6.80\%)200 * 50000$$

$$T = 52.5 \text{ m}$$

b) -Calcul des tangentes :

$$T^2/2(R)$$

$$F = 0.027$$

III-8. Application sur la variante choisie :

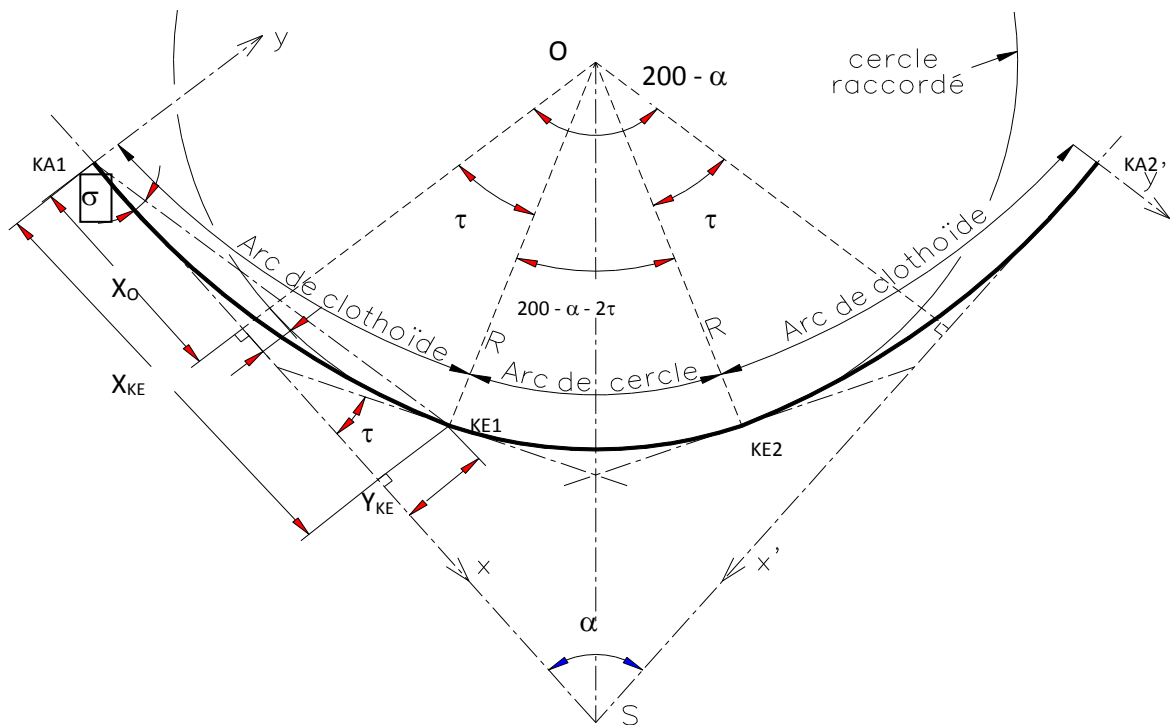
-Rayons de courbures :

III-8-1 Raccordement progressif (clothoïde) :^[7]

- Pour réaliser la transition en douceur du rayon infini au rayon fini de l'arc de cercle, on intercale entre l'alignement droit et l'arc de cercle un raccordement progressif.

La même transition se retrouve en fin de virage pour revenir à l'alignement suivant. Le raccordement progressif permet aussi de passer graduellement du dévers de chaussée en alignement droit au dévers de chaussée en arc de cercle. La courbe la plus utilisée est la clothoïde

-Clothoïde :



Partie II : Etude Géométrique

Figure III.4:éléments d'un clothoïde

A- la Clothilde

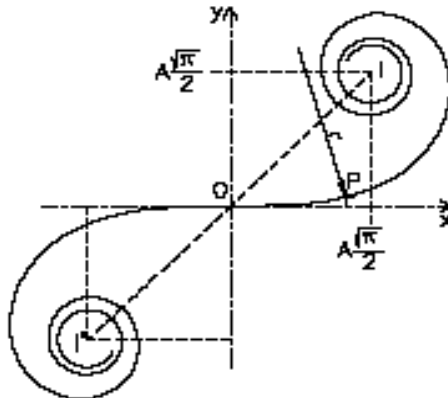


Figure III.5: Clothoïde

Le rayon de courbure d'une Clothilde varie progressivement d'une valeur infinie en O, point de tangence avec l'alignement Ox, à une valeur finie, r, en un point donné P de la courbe. Un véhicule qui parcourt cette courbe voit donc le rayon de braquage de ses roues diminuer progressivement en passant par toutes les valeurs comprises entre l'infini et r.

L'équation caractéristique est donnée par : $A^2 = R.L$

Le calcul des caractéristiques de ces raccords à courbure progressive permet de respecter les conditions de stabilité du véhicule, et de confort dynamique des usagers. Ces conditions tendent à limiter la variation de sollicitation transversale des véhicules. Dans la pratique, ceci revient à fixer une limite à la variation d'accélération tolérée par seconde.

A- Longueur de raccords

La longueur des raccords progressifs est une combinaison de plusieurs conditions de natures différentes : parmi ces conditions les trois principales sont:

B.1- La condition de confort dynamique

Cette condition a pour objet d'assurer l'introduction progressive du dévers et de la courbure de façon en particulier à respecter les conditions de stabilité et de « confort dynamique », en limitant par unité de temps, la variation de la sollicitation transversale des véhicules.⁽⁶⁾

$$L_1 \geq \frac{Vr^2}{18} \cdot \left(\frac{Vr^2}{127R} - \Delta d \right)$$

B.2- La condition Optique

Cette condition a pour objet d'assurer aux usagers une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels, et en particulier de rendre perceptible suffisamment à l'avance la

Partie II : Etude Géométrique

courbure du tracé, de façon à obtenir la sécurité de conduite la plus grande possible.

$$L_2 \geq \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R}$$

B.3-Condition de gauchissement :

Cette condition a pour objet d'assurer à la route un aspect satisfaisant, en particulier dans les zones de variation de dévers. Elle se traduit par la limitation de pente relative du profil en long

$$L_3 \geq l \cdot \Delta d \cdot Vr$$

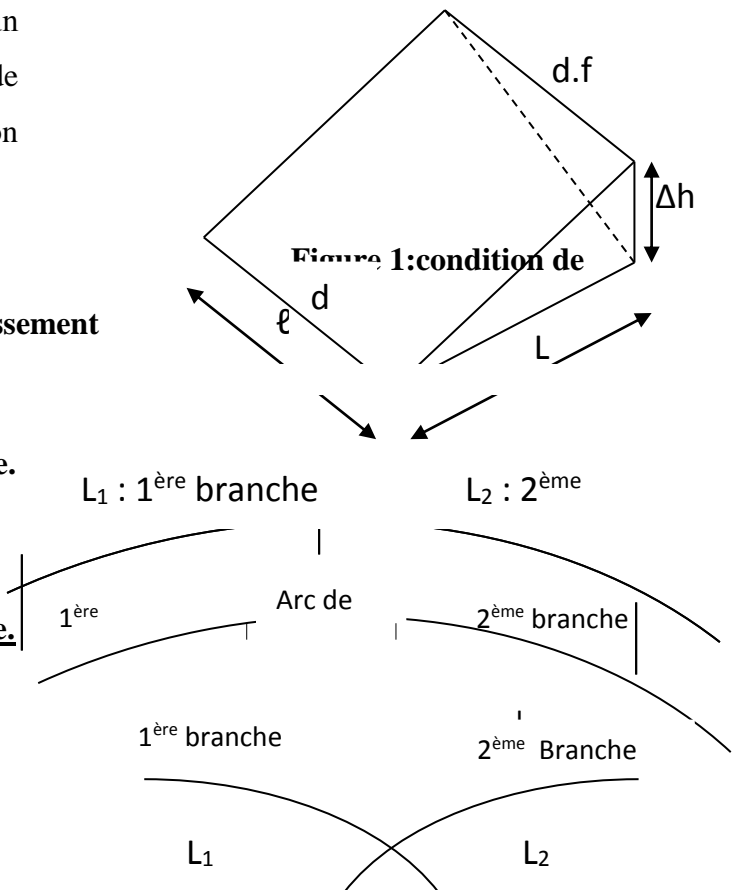
gauchissement

Vérification de non chevauchement

1^{er} cas : $\tau = \frac{\beta}{2}$ Clothoïde sans arc de cercle.

2^{ème} cas : $\tau < \frac{\beta}{2}$ Clothoïde avec arc de cercle.

3^{ème} cas : $\tau > \frac{\beta}{2}$ Clothoïde impossible



Application au projet :

N	Virage1	Virage2	Virage3
Vr(km/h)=	60	60	60
rayons	150m	250m	320m
ΔR	1	1	1
d_{max}	7.02%	5.30%	4.17%
d_{min}	-3%	-3%	-3%
<u>Condition de gauchissement:</u>			
$\Delta_d = d_f - d_i$	10.02%	8.30%	7.17%
LT	7,00 m	7,00 m	7,00 m
L1	42.084 m	34.86 m	34.416 m

Partie II : Etude Géométrique

<u>Condition de confort dynamique</u>			
L3 =	17.76 m	6.08 m	3.38 m
<u>Condition optique</u>			
L2 ≥	60.00 m	77.46 m	87.64 m
L_{max}=	60.00 m	77.46 m	87.64 m
Condition vérifier			
<u>Condition de Chevauchement</u>			
Tapez une équation ici. t= (L/2R)	12.732	9.87	8.746
β	49.468	41.231	-51.391
$\beta/2$	24.734	20.06	-25.69
$\tau \leq \beta/2$	Condition vérifier		

Tableau III.4: Longueur de la clothoïde "L

Calcul de paramètres de la clothoïde

Paramètre de la clothoïde		Virage 1	Virage 2	Virage 3
R	Rayon	150m	250m	320 m
L	Longueur de la clothoïde	60 m	77.46 m	87.46 m
$A = \sqrt{R \cdot L}$	Paramètre de la clothoïde	94.87	139.16	167.40
β	angle au sommet	51.39 gr	42.23 gr	49.87 gr
$\beta = 200 - \alpha$	angle au centre	39.86 gr	40.99 gr	41.99 gr
$\tau = \frac{L}{2R}$	angle des tangentes	12.732 gr	9.862 gr	8.717 gr
$\gamma = 200 - \alpha - 2\tau$	angle au centre Partie circulaire	123.14 gr	138.05 gr	132.70 gr
$X_{KE} = L - \frac{L^3}{40R^4}$	abscisse de l'extrémité de la cloth.	59.76	77.27	87.47

Partie II : Etude Géométrique

$Y_{KE} = \frac{L^2}{6R}$	ardonnée de l'extrémité de la cloth.	3.99	3.99	3.99
$\sigma = \arctg \frac{Y_{KE}}{X_{KE}}$	angle Polaire	4.24 gr	3.38 gr	2.90 gr
$L_{cer} = \frac{\pi R \gamma}{200}$	Long, de la partie circulaire	290.15 m	542.10 m	667.01 m
$SL = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2}$	longueur de la corde KA-KE	59.89 m	77.37 m	87.56 m
$X_O = X_{KE} - R \sin \tau$	abscisse du centre	29.96 m	38.70 m	43.79 m
$Y_O = Y_{KE} + R \cos \tau$	ordonnées du centre	151.00 m	251.00 m	320.99 m
$KOA = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2}$	distance Ka-cente	153.94 m	253.97 m	323.96 m
$\Delta R = \frac{L^2}{24R}$	Ripage	1,00 m	1,00 m	1,00 m
$DT = 2L + D_{cercle}$	Développée totale	420.15 m	697.02 m	842.28 m
$T = X_O + (R + \Delta R) \cotg(\alpha/2)$	distance S-KA	383.53 m	767.49 m	821.02 m
$TK = \frac{Y_{KE}}{\sin \tau}$	Tangente courte	20.08 m	25.86 m	29.23 m
TL	Tangente longue	55.69 m	73.23 m	83.44 m
T	Petite tangente	353.57 m	728.79 m	777.223 m
Biss	Bissectrice	8.72 m	14.60 m	19.29 m

Tableau III.5: paramètres de clothoïde

Variation du dévers dans la Clothilde

Selon la variation du dévers et la longueur de la Clothilde on peut déterminer le dévers relatif à un point quelconque de la clothoïde

Méthode de calcul des dévers en clothoïde

Cette méthode consiste à déterminer la distance (x) entre le début de la clothoïde et le profil en travers et déterminer son dévers.

Partie II : Etude Géométrique

- 1^{ère} branche de clothoïde

- $R_2 = 150 \text{ m}$ $L = 60 \text{ m}$ $d_{(R)} = 7.02 \%$ $d_{\min} = 3\%$ $\Delta d = 10.02\%$

Devers du bord extérieur L'équation élémentaire de la droite $Y=ax+b$

$$Y=b=d_{\min} = 3\%$$

Devers extérieur

$$d_{\text{ext}} = \left(\frac{\Delta d}{L} \times x \right) - 3 = ?$$

$$P - x = 0 \quad \longrightarrow \quad d_{\text{ext}} = \left(\frac{10.02}{60} \times 0 \right) - 3 = -3$$

$$P - x = 10 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad d_{\text{ext}} = \left(\frac{10.02}{60} \times 10 \right) - 3 = -1.33$$

Le calcul des devers extérieurs de chaque profil se trouve dans le tableau suivant :

Devers du bord intérieur

$$d_{\text{int}} = \begin{cases} d_{\min} & \text{si : } x < \frac{6L}{\Delta d} \\ d_{\text{ext}} & \text{si : } x > \frac{6L}{\Delta d} \end{cases}$$

$$\frac{6L}{\Delta d} = \frac{6 \times 60}{7.02 + 3} = 35.92 \text{ m}$$

Donc à partir de cette distance 35.92 m \longrightarrow $d_{\text{int}} = d_{\text{ext}}$

- 2^{ème} branche de clothoïde

- $R_1 = 250 \text{ m}$ $L = 77.46 \text{ m}$ $d_{(R)} = 5.30 \%$ $d_{\min} = 3\%$ $\Delta d = 8.30\%$

Devers du bord extérieur L'équation élémentaire de la droite $Y=ax+b$

$$Y=b=d_{\min} = 3\%$$

Devers extérieur

$$d_{\text{ext}} = \left(\frac{\Delta d}{L} \times x \right) - 3 = ?$$

$$P - x = 0 \quad \longrightarrow \quad d_{\text{ext}} = \left(\frac{8.30}{77.46} \times 0 \right) - 3 = -3$$

Partie II : Etude Géométrique

$$P - x = 10 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad d_{\text{ext}} = \left(\frac{8.30}{77.46} \times 10 \right) - 3 = -1.92$$

Le calcul des devers extérieurs de chaque profil se trouve dans le tableau suivant :

Devers du bord intérieur

$$d_{\text{int}} = \begin{cases} d_{\text{min}} & \text{si : } x < \frac{6L}{\Delta d} \\ d_{\text{ext}} & \text{si : } x > \frac{6L}{\Delta d} \end{cases}$$

$$\frac{6L}{\Delta d} = \frac{6 \times 77.46}{8.30} = 55.99 \text{ m}$$

Donc à partir de cette distance 55,99 m \longrightarrow $d_{\text{int}} = d_{\text{ext}}$

- 3^{ème} branche de clothoïde
- $R_1 = 320 \text{ m}$ $L = 87.46 \text{ m}$ $d_{(R)} = 4.17 \%$ $d_{\text{min}} = 3\%$ $\Delta d = 7.17\%$

Devers du bord extérieur L'équation élémentaire de la droite $Y = ax + b$

$$Y = b = d_{\text{min}} = 3\%$$

Devers extérieur

$$d_{\text{ext}} = \left(\frac{\Delta d}{L} \times x \right) - 3 = ?$$

$$P - x = 0 \quad \longrightarrow \quad d_{\text{ext}} = \left(\frac{7.17}{87.46} \times 0 \right) - 3 = -3$$

$$P - x = 10 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad d_{\text{ext}} = \left(\frac{7.17}{87.46} \times 10 \right) - 3 = -2.18$$

Le calcul des devers extérieurs de chaque profil se trouve dans le tableau suivant :

Devers du bord intérieur

$$d_{\text{int}} = \begin{cases} d_{\text{min}} & \text{si : } x < \frac{6L}{\Delta d} \\ d_{\text{ext}} & \text{si : } x > \frac{6L}{\Delta d} \end{cases}$$

$$\frac{6L}{\Delta d} = \frac{6 \times 87.46}{7.17} = 524.76 \text{ m}$$

Partie II : Etude Géométrique

Donc à partir de cette distance 99,92 m \longrightarrow $d_{int} = d_{ext}$

Tableau des dévers associés au rayons R_1 et R_2 et R_3

Variation de devers $R_1 =$ 150 m		
x	d _{int}	d _{ext}
0,00	-3	-3
10,00	-3	-1.33
20,00	-3	0.34
30,00	-3	2.01
40,00	-3.68	3.68
50,00	-5.35	5.35
60,00	-7.02	7.02

variation de devers $R_2 = 250$ m		
x	D _{int}	d _{ext}
0,00	-3	-3
10,00	-3	-2.051
20,00	-3	-1.102
30,00	-3	-0.153
40,00	-3	0.796
50,00	-3	1.745
60,00	-3	2.694
70,00	-3.64	3.643
77.46	-4.350	4.350

Variation de devers $= R_3$ $= 320$ m		
x	d _{int}	D _{ext}
0,00	-3	-3
10,00	-3	-2.19
20,00	-3	-1.38
30,00	-3	-0.57
40,00	-3	0.24
50,00	-3	1.05
60,00	-3	1.86
70,00	-3	2.67
80,00	-3.48	3.48
87.46	4.084	-4.084

Chapitre IV : - Les paramètres cinématiques

IV-1-Généralité :

Les paramètres cinématique prennent en compte le mouvement des véhicules sur la route en fonction de la vitesse de référence, donc ils sont d'une importance primordiale pour la détermination de différentes distances nécessaires à la projection du tracé de projet.⁽⁷⁾

IV-2-Distance de freinage :

Les possibilités de freinage sont limitées, du fait du jeu de l'adhérence, il existe une distance minimum pour obtenir l'arrêt complet du véhicule. La distance de freinage d_0 est la distance parcourue pendant l'action de freinage pour annuler la vitesse dans la condition conventionnelle de la chaussée mouillée. Elle varie suivant la pente longitudinale de la chaussée

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V_r^2}{(f_{rl} \pm e)}$$

Avec :

V_r : vitesse de référence en Km/h.

e : déclivité.

f_{rl} : coefficient de frottement longitudinal qui dépend de la vitesse V_r .

Tableau IV-1 : Coefficient de frottement longitudinal selon les normes de

B40

V_r (Km/h)		40	60	80	100	120	140
f_{rl}	Catégorie 1-2	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30
	Catégorie 3-4-5	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36	/

Pour notre projet on a $f_{rl} = 0.46$

En alignement droit : $e = 0$ (cas purement théorique)

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V_r^2}{(f_{rl} \pm e)} = \frac{4}{1000} \times \frac{60^2}{0.46} = 31.30m$$

En rampe : $e = + 7\%$

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V_r^2}{(f_{rl} \pm e)} = \frac{4}{1000} \times \frac{60^2}{(0.46 + 0.07)} = 27.16m$$

En pente : $e = - 7\%$

Partie II : Etude Géométrique

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{Vr^2}{(frl \pm e)} = \frac{4}{1000} \times \frac{60^2}{(0.46 - 0.07)} = 36.92m$$

VI-3- Temps de réaction :

Souvent l'obstacle est imprévisible et le conducteur a besoin d'un temps pour réaliser la nature de l'obstacle ou du danger qui lui apparaît. Ce temps est en général appelé **temps de perception** du conducteur, il diffère d'une personne à une autre et varie en fonction de l'état psychique et physiologique.⁽⁷⁾

De nombreuses études faites sur le comportement des conducteurs, ont montré que le temps de perception et de réaction est en moyenne :

Dans une attention concentrée

$t = 1.2 s$ pour un obstacle imprévisible

$t = 0.6 s$ pour un obstacle prévisible

En moyenne on peut prendre 0.9 s, mais en pratique on prend toujours :

$t = 2 s$ pour des vitesses <100 Km/h

$t = 1.8 s$ pour des vitesses ≥ 100 Km/h

Donc la distance parcourue pendant le temps de réaction et de perception est :

$$d_1 = v \times t \text{ Avec : } v : \text{vitesse m/s} \quad t : \text{temps en seconde}$$

VI-4-Distance d'arrêt :

La distance parcourue par le conducteur entre le moment dans lequel l'œil du conducteur perçoit l'obstacle et l'arrêt effectif du véhicule est désigné sous le nom de **distance d'arrêt** (d) : $d = d_1 + d_0$

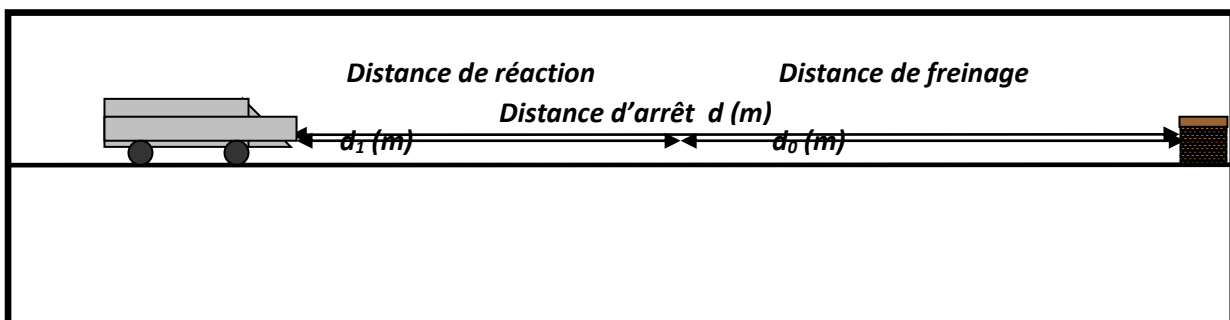


Figure VI.1:Distance d'arrêt et de freinage

En alignement droit

$$\text{Pour } Vr < 100 \text{ Km/h et quand } t = 2 s : \quad d = d_0 + 0.55 \times Vr$$

$$\text{Pour } Vr \geq 100 \text{ Km/h et quand } t = 1.8 s : \quad d = d_0 + 0.50 \times Vr$$

Partie II : Etude Géométrique

Application : $V_r = 60 \text{ Km/h}$ $t = 2 \text{ s}$ $\Rightarrow d = d_0 + 0.55V_r$

En palier : $d = 31.30 + (0,55 \times 60) = 64.3m$

En rampe : $d = 27.16 + (0,55 \times 60) = 60.16m$

En pente : $d = 36.92 + (0,55 \times 60) = 69.92m$

En courbe

On doit majorer la distance de freinage de 25% car le freinage est moins énergique afin de ne pas perdre le contrôle du véhicule.

Pour $V_r \leq 100 \text{ Km/h}$ et quand $t = 2 \text{ s}$: $d = 1.25 \times d_0 + 0.55 \times V_r$

Pour $V_r > 100 \text{ Km/h}$ et quand $t = 1.8 \text{ s}$: $d = 1.25 \times d_0 + 0.50 \times V_r$

Application : $V_r = 60 \text{ Km/h}$ $t = 2 \text{ s}$ $\Rightarrow d = 1.25 \times d_0 + 0.55 \times V_r$

En palier : $d = 1,25 \times 31.30 + 0,55 \times 60 = 72.125 \text{ m}$

En rampe : $d = 1,25 \times 27.16 + 0,55 \times 60 = 66.95 \text{ m}$

En pente : $d = 1,25 \times 36.92 + 0,55 \times 60 = 79.15m$

VI-5-Distance de perception :

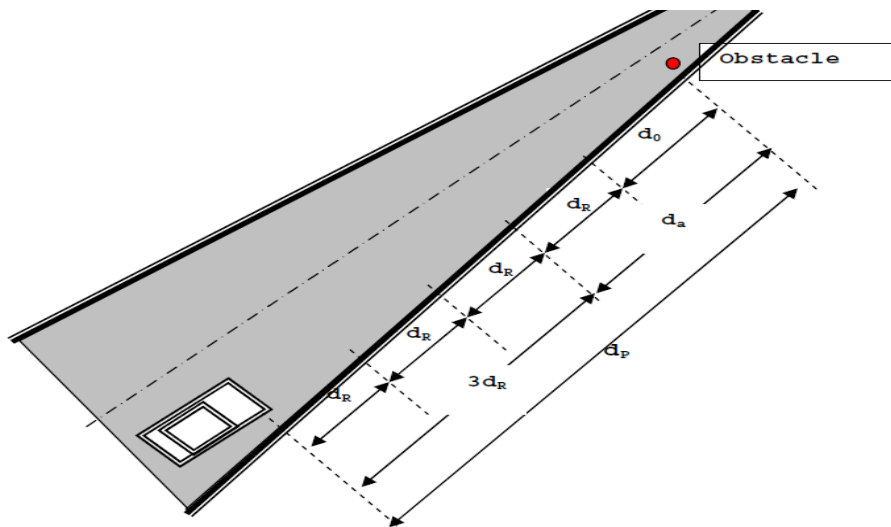
Le temps nécessaire pour effectuer une manœuvre d'arrêt, une manœuvre de changement de file ou une manœuvre d'insertion est de 6 s.

On appelle distance de perception d_p , la somme de la distance d'arrêt d et la distance parcourue en 6s.

$$d_p = d + \frac{6}{3.6} V_r \qquad V_r \text{ est en Km/h}$$

Partie II : Etude Géométrique

Figure IV.2.:distance de perception-



Application :

En alignement droit :

$$\text{En palier : } dp = 64.3 + \frac{6}{3.6} \times 60 = 164.3m$$

$$\text{En rampe : } dp = 60.16 + \frac{6}{3.6} \times 60 = 160.16m$$

$$\text{En pente : } dp = 69.92 + \frac{6}{3.6} \times 60 = 169.92m$$

En courbe :

$$\text{En palier : } dp = 72.125 + \frac{6}{3.6} \times 60 = 172.125m$$

$$\text{En rampe : } dp = 66.95 + \frac{6}{3.6} \times 60 = 166.95m$$

$$\text{En pente : } dp = 69.92 + \frac{6}{3.6} \times 60 = 169.92m$$

VI-6- Distance de sécurité entre deux véhicules :

Supposons que deux véhicules circulent dans le même sens sur la même voie et la même vitesse. Et nous recherchons l'espacement entre les deux véhicules de telle façon que si le premier véhicule est obligé d'amorcer un freinage au maximum pour éviter un obstacle quelconque, cet espacement doit permettre au second véhicule de s'arrêter sans risque de collision.

Partie II : Etude Géométrique

La distance de freinage ne change pas et reste d_0 , mais par contre la distance parcourue pendant le temps de perception et de réaction de second véhicule augmente d'une durée ($t + t'$), avec t' temps de perception et de réaction de second véhicule aux feux arrières de stop de premier véhicule.

L'espacement sera donc théoriquement : $d'_2 = d_2 + v \times t' + l$

d_2 : distance parcourue pendant temps de perception et de réaction du premier véhicule

l : longueur moyenne d'un véhicule

En général, on prend $t' = 0.75$ s

En pratique, on prend $t = 3$ s

Distance de sécurité sera donc : $d'_2 = d_2 + v \times (t + t') + l$ (t en s et v en m/s)

Soit E l'espacement supplémentaire de sécurité : $E = v \times t' + l$

Sachons que $V = \frac{v \text{ (km/h)}}{3.6}$ et $t' = 0.75$ s $\Rightarrow Es = \frac{V}{5} + l$

Avec :

V : la vitesse en km/h

L : la longueur de véhicule on prend généralement 5m

Pour plus de sécurité on est souvent amené à augmenter la distance « Es », en prenant un créneau temps de sécurité entre deux véhicules T_s égale à 1,2 secondes.

$$Es = 1,2.v \text{ ou } Es = \frac{V}{3}$$

Exemple : si deux véhicules se suivent à une vitesse de $V = 100$ Km/h .La distance de sécurité sera

1er Cas :

$$Es = \frac{V}{5} + 5 = \frac{60}{5} + 5 = 17 \text{ m}$$

2ème Cas :

$$Es = \frac{V}{3} = \frac{60}{3} = 20 \text{ m}$$

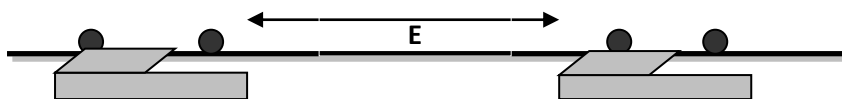


Figure IV.3.:L'espacement entre deux véhicules-

Partie II : Etude Géométrique

VI-7-Manœuvre de dépassement :

dvd_m : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement moyenne

dvd_N : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement normale

dmd : Distance de visibilité de manœuvre de dépassement

Tableau IV.2: Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse

Toutes catégories	V _r (km/h)	40	60	80	100	120
	Distance de visibilité et de dépassement	150	250	325	425	550
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forcée d_{vdf}(m) ▪ Normale d_{v_{dn}} (m) 	250	350	500	625	800
	Distance de visibilité de manœuvre de dépassement dmd	70	120	200	300	425

D'après le tableau des normes de B40, on tire les valeurs de dvd_m, dvd_n et dmd en fonction de la vitesse.

Application: V_r = 60Km/h

dvd_m = 250 Km/h

dvd_n = 350 Km/h

dmd = 120 Km/h

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre VI : -Etude du trafic

VI-1-Généralités :

L'étude de 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' a l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée. L'étude de 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⁽⁸⁾. Cette conception repose, sur une partie stratégie, planification sur la prévision des Trafics sur les réseaux routiers, qui est nécessaires pour :

- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretiens.
- Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.

VI--2-Analyse du trafic :

Afin de déterminer en un point et en un instant donné le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de procède à un comptage qui nécessite une logistique et une organisation approprier. Pour obtenir le trafic, Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires:

- **Les Comptages :**

C'est l'élément essentiel de l'étude de trafic, on distingue deux types de comptage :

- Les comptages manuels.
- Les comptages automatiques.

- **Les comptages manuels :**

Ils sont réalisés par des agents qui relèvent la composition du trafic pour compléter les Indicateurs fournis par les comptages automatiques. Les comptages manuels permettent de connaître le pourcentage de poids lourds et les transports communs⁽⁸⁾

Les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (T.J.M.A).

- **Les comptages automatiques :**

Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique

Réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers de la chaussée.

On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires :

Partie II : Etude Géométrique

Les comptages permanents : sont réalisés en certains points choisis pour leur

Représentativité sur les routes les plus importantes : réseau autoroutier, réseau routier national et Le chemin de Wilaya les plus circulés.

Les comptages temporaires : s'effectuent une fois par an durant un mois pendant la Période ou le trafic est intense sur les restes des réseaux routiers à l'aide de postes de comptages tournant.

VI-3-Différents type de trafic :

- **Trafic normal** :

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

- **Trafic dévié** :

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans investissement, d'autres routes ayant la même destination, la dérivation de trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.⁽⁹⁾

- **Trafic induit** :

C'est le trafic qui résulte de :

Des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations.

Une augmentation de production et de vente grâce à l'abaissement des coûts de production et de vente due une facilité apportée par le nouvel aménagement routier.

- **Trafic total** :

C'est Le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié.

VI-4- La capacité :

La capacité d'une route est le flux horaire maximum de véhicules qui peuvent

Raisonnement passer en un point ou s'écouler sur une section de route uniforme (ou deux directions) avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminée.

La capacité dépend :

- ✓ Des conditions de trafic.
- ✓ Des conditions météorologiques.
- ✓ Le type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire.

Partie II : Etude Géométrique

- ✓ Des distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des Conducteurs variables d'une route à l'autre)

a) La procédure de détermination de nombre de voies :

Le choix de nombre de voies résulte de la comparaison entre l'offre et la demandes c'est à dire, le débit admissible et le trafic prévisible à l'année d'exploitation.

Pour cela il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe poa vingtième année d'exploitation. Caractéristiques géométriques de la section considérée (nombre et largeur des voies)⁽⁹⁾

e) Projection Future Du Trafic :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est :

$$TJMA_h = TJMA_0 (1 + \tau)^n$$

Avec :

- **TJMA_h** : le trafic à l'année horizon.
- **TJMA_o** : le trafic à l'année de référence.
- **n** : nombre d'année.
- **τ** : taux d'accroissement du trafic (%).

Donc :

- **TJMA_h** : 1000 V/j
- **TJMA_o** : 2 ans
- **τ** : 6 %

$$TJMA_h = 1000 \times (1 + 0.06)^2$$

$$TJMA_{2017} = 1124 \text{ V/J}$$

Le trafic de l'année horizon à la 20ème années (durée de vie) :

- **TJMA₂₀₁₇** : 1124 V/j
- **TJMA_o** : 20 ans
- **τ** : 6 %

$$TJMA_h = 1000 \times (1 + 0.06)^2$$

$$TJMA_{2017} = 3604 \text{ V/J}$$

C)-Calcul De Trafic Effectif :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (**uvp**), en fonction de type de route et de l'environnement.

Partie II : Etude Géométrique

Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (Uvp).

Le trafic effectif est donné la relation suivante :

$$T_{\text{eff}} = [(1-z) + p.z] TJMA_h$$

Avec :

- T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon en (uvp).
- Z : pourcentage de poids lourd.
- P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds il dépend.

Tableau VI.1. : Coefficient d'équivalence

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

Donc :

- T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon en (uvp).
- Z : 50%
- P : 4 (route à bonne caractéristique, E2)

$$T_{\text{eff}} = [(1-0.5) + 4 \times 0.5] \times 3604$$

$$T_{\text{eff}} = 9009 \text{ UVP/J}$$

d)-Débit De Pointe Horaire Normal :

Le débit de pointe horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon il est exprimé en unité de véhicule particulier (uvp) et donné par la formule :

$$Q = (1/n) \cdot T_{\text{eff}}$$

Avec :

- Q : débit de pointe horaire
- n : nombre d'heure, (en général $n=8$ heures)
- T_{eff} : trafic effectif

Donc :

- $1/n$: coefficient de pointe horaire pris est égal à **0.12**

Partie II : Etude Géométrique

$$Q_{2019} = 0,12 * T_{eff2019}$$

$$Q_{2019} = 0,12 * 9009 = 1081 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{2019} = 1081 \text{ UVP/h}$$

e)-Débit Horaire Admissible :

Le débit horaire maximal accepté par v oie est déterminé par application de la formule:

$$Q_{adm} = K_1 K_2 C_{th}$$

Avec :

- **K1** : coefficient correcteur pris égal à 0.95 pour E3.
- **K2** : coefficient correcteur pris égal à 0.96 pour environnement (E3) et catégorie (C4).
- **C_{th}** : capacité théorique.

➤ Valeur de K1 :

Valeur de K1 est en fonction de l'environnement

Tableau VI.2. : Valeur de (K1)

Environnement	E ₁	E ₂	E ₃
K ₁	0.75	0.85	0.90 à 0.95

➤ Valeur de K2 :

La valeur de K2 c'est le coefficient de réduction de capacité

Tableau VI.3. : Valeur de (K2)

	Catégorie de la route				
environnement	1	2	3	4	5
E ₁	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E ₂	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E ₃	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

➤ Valeurs de C_{th} :

Partie II : Etude Géométrique

Capacité théorique du profil en travers en régime stable.

Tableau VI.4. : valeur de la capacité théorique (C_{th})

	Capacité théorique
Route à 2 voies de 3,5 m	1500 à 2000 uvp/h
Route à 3 voies de 3,5 m	2400 à 3200 uvp/h
Route à chaussées séparées	1500 à 1800 uvp/h

Donc :

- ✓ **K1** : coefficient correcteur pris égal à 0.98 pour E2.
- ✓ **K2** : coefficient correcteur pris égal à 0.85 pour environnement (E2) et catégorie (C4).
- ✓ C_{th} : 1500 (capacité théorique).

$$Q_{adm} = 0.85 \times 0.98 \times 1500$$

$$Q_{adm} = 909 \text{ uvp/h}$$

f)-Détermination Nombre Des Voies :

➤ **Cas d'une chaussée bidirectionnelle :**

on compare Q à Q_{adm} et on opte le profil auquel

$$Q_{adm} \geq Q$$

➤ **Cas d'une chaussée unidirectionnelle :**

le nombre de voie à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport

$$S \cdot Q / Q_{adm}$$

Avec :

- Q_{adm} : débit admissible par voie
- S : coefficient de dissymétrie, en général égale à 2/3

Donc :

- $Q = 1081 \text{ uvp/h}$
- $Q_{adm} = 909 \text{ uvp/h}$

$$N = (2/3) \times (1081/909) = 0.80$$

$$N = 1$$

Donc la route à deux voies

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre V : PROFIL EN TRAVERS

V-1-Définitions :

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 type » 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 eaux etc...).⁽¹⁰⁾

V-2-Profil en travers type :

C'est une pièce dessinée de base des projets de route nouvelle, il représente une section transversale dans le corps de la chaussée. Étant composé en trois couches (couche de roulement, couche de base, couche de fondation)

L'application du profil en travers type sur le profil correspondant du terrain en respectant la cote du projet lue sur le profil en long, permet l'avant métré des terrassements

On a pris 6 profils en travers avec l'épaisseur du corps de chaussée⁽¹⁰⁾

- Un profil en alignement droit en déblai
- Un profil en alignement droit en remblai
- Un profil en alignement droit mixte
- Un profil déversé en remblai
- Un profil déversé en déblai
- Un profil mixte déversé

V.3- Les éléments constituant un profil en travers type

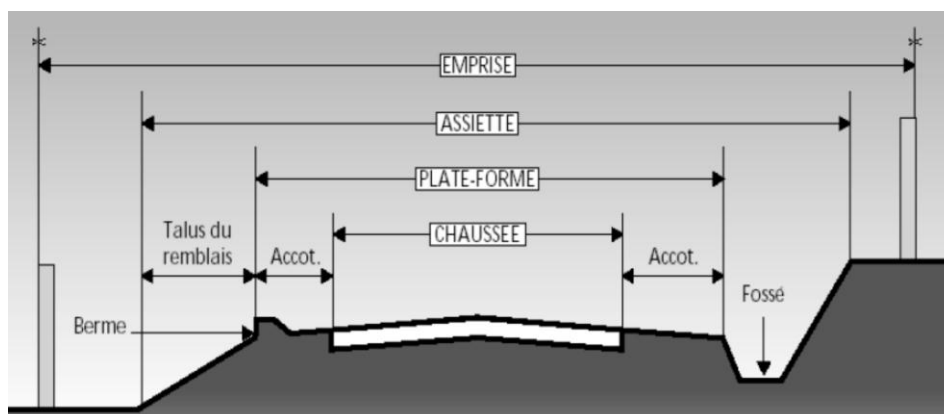


Figure V.1 : Les éléments d'une route

Partie II : Etude Géométrique

a)-La largeur roulable

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

Sur largeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive.

b)-La plate forme

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

c)-Assiette

Surface de terrain réellement occupée par la route, ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai. ⁽¹⁰⁾

d)-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 coïncide généralement avec le domaine public.

e)-Les accotements

Les accotements sont les zones latérales de la plate forme qui bordent extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés. Ils comportent généralement les éléments suivants :

- Une bande de guidage.
- Une bande d'arrêt.
- Une berme extérieure.

f)-Le terre-plein central

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.⁽¹⁰⁾

V.4. Application au projet :

Après l'étude du trafic, le profil en travers type retenu pour notre route sera composé chaussée

Après l'étude du trafic, le profil en travers type retenu pour notre route sera composé chaussée unidirectionnelles.

Les éléments du profil en travers type sont comme suit :

- ♦ Chaussée : $(3.50 \times 2) + 2 + 2 = 11\text{m}$
- ♦ Trottoir : $2 \times 2 = 4\text{m}$

Chapitre VII : Dimensionnement du corps de chaussée

VII-1-Généralité :

La qualité d'un projet routier, ne se limite pas à l'obtention bonne tracée en plan et d'un bon profil en long. En effet une fois réalisée, la route devra faire face aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation : action des essieux des véhicules et notamment les poids lourds.

En effet des gradients thermiques, pluie, neige, verglas etc.....,pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonne caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie.

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial. Celle ci passe d'abord par une bonne connaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à réaliser⁽¹¹⁾

Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude. Il 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 la chaussée. Tout cela en fonction des paramètres très fondamentaux suivants :

- Le trafic
- L'environnement de la route (le climat essentiellement)
- Le sol support

VII-2-Principe de la constitution des chaussées

La chaussée est essentiellement un ouvrage de répartition des charges roulantes sur le terrain de fondation. Pour que le roulage s'effectue rapidement, sûrement et sans usure exagérée du matériel, il faut que la surface de roulement ne se déforme pas sous l'effet .⁽¹¹⁾

- **Des intempéries**

Les variations des de température peuvent engendre dans les solides élastiques des champs de contrainte et engendre aussi : les effets du gel, les efforts de l'ensoleillement sur la déformation des mélanges bitumineux, et sur le vieillissement du bitume.

- **Des efforts tangentiels**

Lorsqu'un véhicule est en mouvement apparaissent des efforts horizontaux du fait :

- De la transmission de l'effort moteur ou du freinage.
- De la mise en rotation des roues non motrice.

Partie II : Etude Géométrique

- De la résistance aux efforts transversaux.

Toutes ces actions tangentielles s'accompagnent de frottement dans lesquels se dissipent de l'énergie et qui usent les pneumatiques et les chaussées⁽¹¹⁾

VII-3-Constitution et rôle d'une chaussée :

Définition

- **Au sens géométrique** : c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- **Au sens structurel** : c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges :

✓ Couche de surface

Elle composée de la couches de roulement et la couche de liaison et elle est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure. Son rôle est:

- Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.
- Imperméabiliser la surface de la chaussée.
- Assurer la sécurité (adhérence) et le confort (bruit et uni.)
- Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.⁽¹¹⁾

✓ Couche de base

Elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

✓ Couche de fondation

Elle a le même rôle que celui de la couche de base.

✓ Couche de forme

Elle est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support :

- Sur un sol rocheux : elle joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface.
- Sur un sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée) : Elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement.

Actuellement, on tient de plus en plus compte du rôle de portance à long terme apporté par la couche de forme dans le dimensionnement et l'optimisation des structures de chaussées⁽¹¹⁾

VII-4- Les différentes catégories de chaussée

Il existe deux catégories de chaussées:

- Les chaussées classiques (souples et rigides)
- Les chaussées inverses (mixtes ou semi-rigides)

Structures de chaussée.

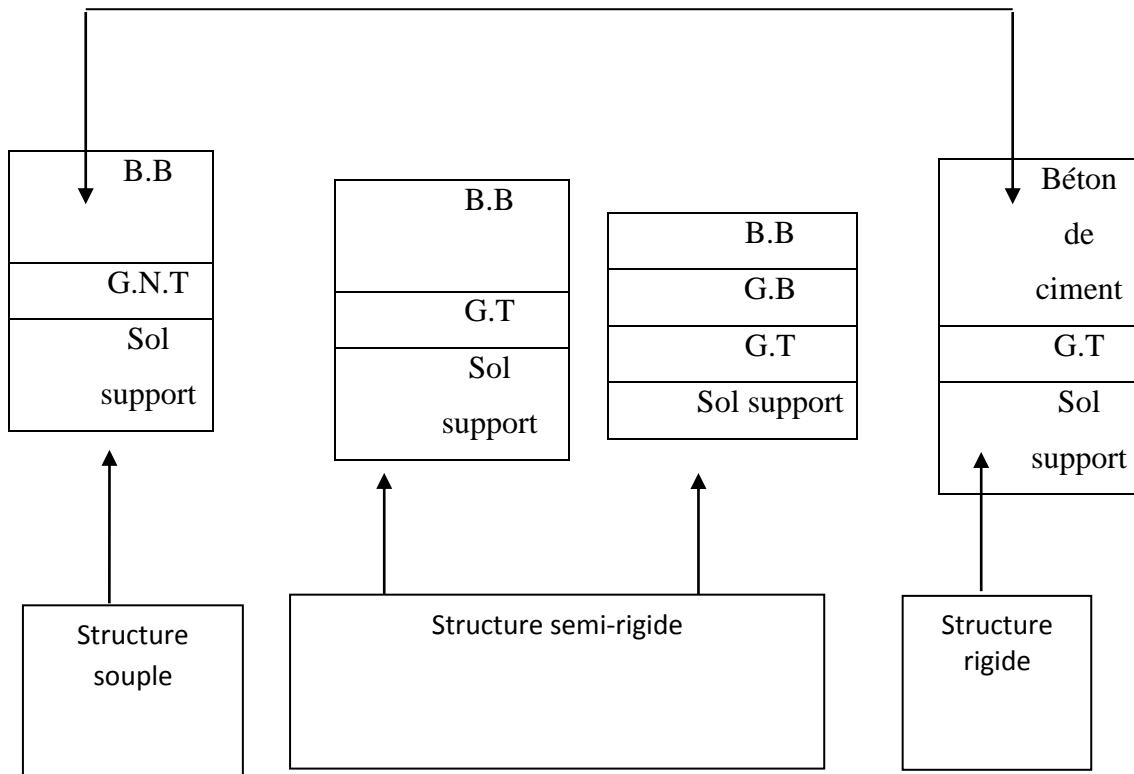


Figure VII.1:les différentes catégories de chaussée

BB : béton bitumineux

GB : grave bitume

GT : grave traité

G.N.T : grave non trait.

Le dimensionnement des structures constitue une étape importante de l'étude d'un projet routier car la qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long, en effet, une fois réalisée, la chaussée devra résister aux agressions des agents extérieurs et à la surcharge d'exploitation: action des essieux des véhicules lourds, effets des gradients thermiques pluie, neige, verglas,... Etc. ⁽¹¹⁾

Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes ces charges pendant sa durée de vie.

Partie II : Etude Géométrique

La qualité de la construction de chaussées joue à ce titre un rôle primordial, celle-ci passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, il est ensuite indispensable que la mise en œuvre de ces matériaux soit réalisée conformément aux exigences arrêtées.

VII-5-Les principales méthodes de dimensionnement

On distingue deux familles des méthodes :

- 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.⁽¹²⁾

❖ Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio)

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (90° à 100°) de l'optimum Proctor modifié sur une épaisseur d'eau moins de 15cm.

La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci après:

$$e = \frac{100 + (\sqrt{p}) (75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

Avec:

e : épaisseur équivalente

I : indice CBR (sol support)

n : désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide

P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t)

Log : logarithme décimal

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$$e = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

$a_1 \times e_1$: couche de roulement

$a_2 \times e_2$: couche de base

$a_3 \times e_3$: couche de fondation

Où:

c₁, c₂, c₃ : coefficients d'équivalence.

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches.

Partie II : Etude Géométrique

o Coefficient d'équivalence

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

Tableau 1:coefficient d'équivalence des matériaux

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave bitume	1.20 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60 à 0.75

VII-7-Application au projet :

$$TJMA_{2017} = 1000 \text{ v/j} :$$

avec un poids lourd = 50%

1- Calculer le trafic à l'année origine :

$$T_0 = (TJMA_{2017} \times \% \text{ pl})$$

$$T_0 = (1000 \times 0.25) = 2000 \text{ vpl/j}$$

2-Calculer le trafic à l'année on mise on service :

$$T_1 = (1+\tau)^2 \times T_0$$

$$T_1 = (1+0.05)^2 \times 2000 = 2205 \text{ vpl/j}$$

3- Calculer le trafic à l'année horizon :

$$T_n = (1+\tau)^n \times T_1$$

$$T_n = (1+0.05)^{20} \times 2205 = 5851 \text{ vpl/j}$$

$$E_{eq} = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times (75 + 50 \log \frac{5851}{10})}{9.5 + 5} \approx 44 \text{ cm}$$

$$\mathbf{E_{eq} = 45.00 \text{ cm}}$$

$$\text{On a : } E_{eq} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

Partie II : Etude Géométrique

Tableau VII.2: épaisseur du corps de chaussée

Couches	Épaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence (ai)	Épaisseur équivalente (cm)
BB	06	02	12
GC	15	1	15
TUF	24	0.75	18
TOTAL	45		45

Notre structure comporte : **6BB + 15GC + 24TUF**

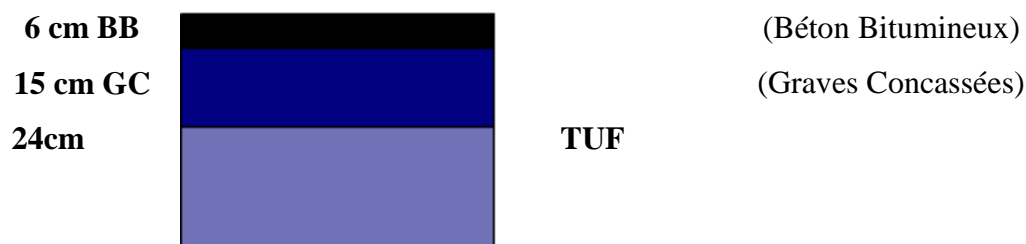


Figure VII.2 : Corps des chaussées

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre VIII : Implantation

VIII-1- Définition :

On sait que le trace d'une route comme toute les autres voies de communication se composent d'alignement droit raccordé par des courbes circulaires ou progressives en tenant compte des points de passage obligés de relief du terrain des obstacles rencontrés pour implanter un alignement droit, deux points principaux suffisent

Entre lequel il est facile de mettre en place des points intermédiaires, par contre implanter une courbes on a besoin d'un certain nombre de pont et il existe plusieurs méthode d'implantation

- Implantation par abscisses et ordonnées sur la tangente
- Implantation par abscisses et ordonnées sur la corde
- Implantation par rayonnement classique
- Implantation par coordonnées polaires

À partir des coordonnées rectangulaires déjà calculées lors des études pour matérialiser sur le terrain les repères nécessaires à la réalisation de la route.⁽¹²⁾

L'implantation du projet s'appuie sur le canevas de base qui a servi au levé du terrain. Il est utile de matérialiser donc solidement les piquets de stations qui doivent être ménagés contre la disposition et la distraction

VIII .2-Implantation des sommets

Méthode : coordonnées polaires

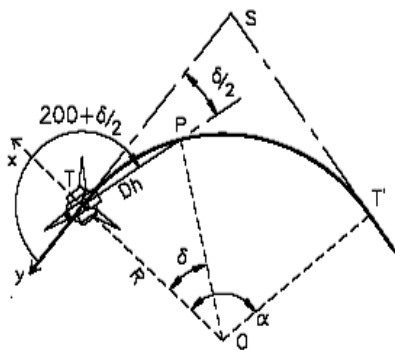


Figure VIII.1 : coordonnées polaires

Implantation par abscisse et ordonnées sur la tangente

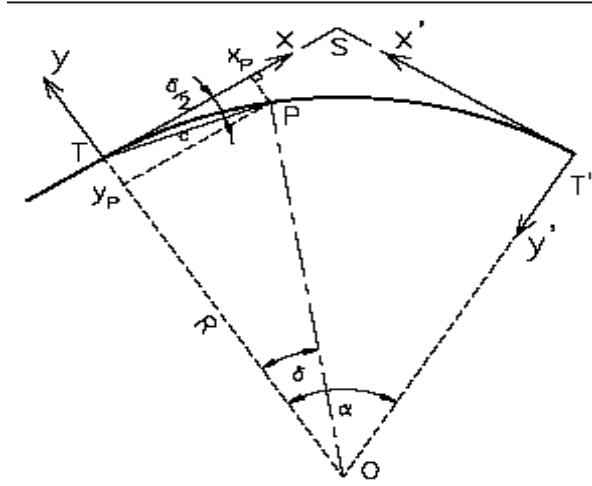


Figure VII.2 : implantation sur la tangente.

Pour l'implantation de notre projet on utilise l'instrument Leica qui permet d'implanter directement les points connus en coordonnées planimétriques et altimétriques ⁽¹²⁾

Les coordonnées sont illustrées dans les tableaux suivants :

Tableau VII : **RECAPITULATIF DES TABULATIONS**

Partie II : Etude Géométrique

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application			Altitude		Point d'axe	
		Avant	Après	Total	TN	Projet	X	Y
P1	0.00	0.00	12.50	12.50	39.45	39.45	59495.15	51987.76
P2	25.00	12.50	12.50	25.00	40.57	40.80	59481.13	51967.07
P3	50.00	12.50	12.50	25.00	41.74	42.15	59467.11	51946.37
P4	75.00	12.50	12.50	25.00	42.53	43.50	59453.08	51925.67
P5	100.00	12.50	12.50	25.00	44.08	44.87	59439.06	51904.98
P6	125.00	12.50	12.50	25.00	46.22	46.29	59425.03	51884.28
P7	150.00	12.50	2.43	14.93	49.30	47.75	59411.01	51863.59
P8	154.86	2.43	10.07	12.50	49.88	48.04	59408.28	51859.56
P9	175.00	10.07	12.50	22.57	51.72	49.25	59397.52	51842.55
P10	200.00	12.50	12.50	25.00	54.14	50.80	59385.68	51820.54
P11	225.00	12.50	12.50	25.00	57.16	52.38	59375.59	51797.67
P12	250.00	12.50	12.50	25.00	59.87	54.01	59367.32	51774.08
P13	275.00	12.50	12.50	25.00	63.15	55.68	59360.91	51749.92
P14	300.00	12.50	12.50	25.00	63.99	57.39	59356.41	51725.34
P15	325.00	12.50	12.50	25.00	66.50	59.13	59353.84	51700.48
P16	350.00	12.50	12.50	25.00	71.13	60.88	59353.22	51675.49
P17	375.00	12.50	12.50	25.00	74.57	62.63	59354.56	51650.53
P18	400.00	12.50	1.76	14.26	78.39	64.37	59357.83	51625.75
P19	403.52	1.76	10.74	12.50	78.59	64.61	59358.45	51622.29
P20	425.00	10.74	12.50	23.24	78.90	66.09	59362.33	51601.16
P21	450.00	12.50	12.50	25.00	77.89	67.80	59366.84	51576.57
P22	475.00	12.50	12.50	25.00	83.29	69.50	59371.35	51551.98
P23	500.00	12.50	12.50	25.00	81.06	71.20	59375.86	51527.39
P24	525.00	12.50	12.50	25.00	79.04	72.90	59380.38	51502.80
P25	550.00	12.50	3.55	16.05	78.76	74.60	59384.89	51478.22
P26	557.09	3.55	8.95	12.50	78.81	75.08	59386.17	51471.24
P27	575.00	8.95	12.50	21.45	79.47	76.30	59390.03	51453.76
P28	600.00	12.50	12.50	25.00	91.85	78.00	59397.49	51429.91
P29	625.00	12.50	12.50	25.00	93.52	79.69	59407.29	51406.92
P30	650.00	12.50	12.50	25.00	95.26	81.39	59419.34	51385.03
P31	675.00	12.50	12.50	25.00	98.81	83.09	59433.52	51364.45
P32	700.00	12.50	9.50	22.00	95.00	84.79	59449.68	51345.38
P33	719.00	9.50	3.00	12.50	94.99	86.08	59463.19	51332.03
P34	725.00	3.00	12.50	15.50	94.94	86.49	59467.61	51327.98
P35	750.00	12.50	2.14	14.64	97.63	88.19	59486.04	51311.09
P36	754.28	2.14	10.36	12.50	99.20	88.48	59489.20	51308.20
P37	775.00	10.36	12.50	22.86	102.05	89.89	59503.46	51293.19
P38	800.00	12.50	12.50	25.00	94.08	91.59	59517.72	51272.69
P39	825.00	12.50	12.50	25.00	91.42	93.29	59528.38	51250.11
P40	850.00	12.50	12.50	25.00	86.70	94.99	59535.15	51226.07

Partie II : Etude Géométrique

P41	875.00	12.50	0.18	12.68	97.41	96.68	59537.83	51201.25
P42	875.37	0.18	11.15	11.33	97.41	96.71	59537.84	51200.88
P43	897.66	11.15	0.00	11.15	98.23	98.23	59538.33	51178.59

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre IX : Cubatures

IX-1-Généralité :

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).^[12]

IX-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.^[12]

Partie II : Etude Géométrique

IX-3- Résultats du calcul de la cubature

Tableau IX .1 : calcul de cubature APD « variante choisie »

Volume cumulé déblais (m³) 74839.12

Volume cumulé remblais (m³) 3655.74

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application	Déblais					Remblais				
			Surf. G (m ²)	Surf. D (m ²)	Surf. Tot (m ²)	Volume (m ³)	Cumul Vol. (m ³)	Surf. G (m ²)	Surf. D (m ²)	Surf. Tot (m ²)	Volume (m ³)	Cumul Vol. (m ³)
P1	0.00	12.50	0.00	0.51	0.51	6.32	6.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P2	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.32	0.41	0.49	0.90	22.51	22.51
P3	50.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.32	1.43	2.65	4.08	101.93	124.44
P4	75.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.32	3.56	5.39	8.95	223.86	348.30
P5	100.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.32	4.15	3.40	7.55	188.67	536.98
P6	125.00	25.00	1.76	0.26	2.02	50.54	56.86	0.00	0.00	0.00	0.04	537.01
P7	150.00	14.93	14.10	9.55	23.66	353.17	410.04	0.00	0.00	0.00	0.01	537.03
P8	154.86	12.50	16.93	9.53	26.45	330.68	740.72	0.00	0.00	0.00	0.01	537.04
P9	175.00	22.57	24.71	13.14	37.85	854.32	1595.04	0.00	0.00	0.00	0.02	537.06
P10	200.00	25.00	28.45	19.16	47.61	1190.26	2785.30	0.00	0.00	0.00	0.02	537.08

Partie II : Etude Géométrique

P11	225.00	25.00	33.09	27.98	61.06	1526.60	4311.90	0.00	0.00	0.00	0.02	537.10
P12	250.00	25.00	45.87	34.42	80.29	2007.22	6319.12	0.00	0.00	0.00	0.02	537.13
P13	275.00	25.00	56.61	38.39	95.01	2375.14	8694.26	0.00	0.00	0.00	0.02	537.15
P14	300.00	25.00	46.97	39.58	86.55	2163.73	10857.99	0.00	0.00	0.00	0.02	537.17
P15	325.00	25.00	68.64	43.36	112.00	2800.02	13658.01	0.00	0.00	0.00	0.02	537.20
P16	350.00	25.00	84.41	56.51	140.91	3522.86	17180.87	0.00	0.00	0.00	0.02	537.22
P17	375.00	25.00	94.18	59.38	153.56	3839.06	21019.94	0.00	0.00	0.00	0.02	537.24
P18	400.00	14.26	108.35	62.52	170.87	2436.43	23456.37	0.00	0.00	0.00	0.01	537.25
P19	403.52	12.50	107.97	63.58	171.55	2144.37	25600.74	0.00	0.00	0.00	0.01	537.26
P20	425.00	23.24	98.89	61.41	160.30	3725.61	29326.35	0.00	0.00	0.00	0.02	537.29
P21	450.00	25.00	83.67	54.38	138.06	3451.41	32777.76	0.00	0.00	0.00	0.02	537.31
P22	475.00	25.00	81.59	68.80	150.39	3759.64	36537.40	0.00	0.00	0.00	0.02	537.33
P23	500.00	25.00	68.49	46.47	114.96	2874.08	39411.48	0.00	0.00	0.00	0.02	537.35
P24	525.00	25.00	36.02	33.15	69.18	1729.44	41140.92	0.00	0.00	0.00	0.02	537.38
P25	550.00	16.05	48.55	23.97	72.52	1163.52	42304.44	0.00	0.00	0.00	0.01	537.39
P26	557.09	12.50	42.08	21.26	63.34	791.70	43096.14	0.00	0.00	0.00	0.01	537.40
P27	575.00	21.45	65.45	14.96	80.40	1725.02	44821.16	0.00	0.00	0.00	0.02	537.42
P28	600.00	25.00	90.34	56.61	146.95	3673.78	48494.94	0.00	0.00	0.00	0.02	537.44
P29	625.00	25.00	89.08	72.25	161.33	4033.17	52528.11	0.00	0.00	0.00	0.02	537.47
P30	650.00	25.00	91.20	76.78	167.98	4199.61	56727.72	0.00	0.00	0.00	0.02	537.49
P31	675.00	25.00	101.59	80.31	181.90	4547.60	61275.31	0.00	0.00	0.00	0.02	537.51

Partie II : Etude Géométrique

P32	700.00	22.00	69.00	60.12	129.12	2840.89	64116.20	0.00	0.00	0.00	0.02	537.53
P33	719.00	12.50	56.92	53.19	110.11	1376.32	65492.52	0.00	0.00	0.00	0.01	537.54
P34	725.00	15.50	54.65	50.06	104.71	1622.77	67115.30	0.00	0.00	0.00	0.01	537.56
P35	750.00	14.64	72.84	45.32	118.17	1729.95	68845.25	0.00	0.00	0.00	0.01	537.57
P36	754.28	12.50	81.92	48.91	130.83	1635.42	70480.67	0.00	0.00	0.00	0.01	537.58
P37	775.00	22.86	83.45	49.14	132.59	3030.94	73511.62	0.00	0.00	0.00	0.02	537.60
P38	800.00	25.00	24.04	14.68	38.72	967.96	74479.58	0.00	0.00	0.00	0.02	537.62
P39	825.00	25.00	4.43	0.00	4.43	110.79	74590.37	1.32	24.13	25.46	636.41	1174.03
P40	850.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	74590.37	50.96	48.30	99.27	2481.68	3655.72
P41	875.00	12.68	4.75	4.42	9.16	116.25	74706.62	0.00	0.00	0.00	0.01	3655.72
P42	875.37	11.33	5.64	4.21	9.85	111.64	74818.26	0.00	0.00	0.00	0.01	3655.73
P43	897.66	11.15	0.50	1.37	1.87	20.86	74839.12	0.00	0.00	0.00	0.01	3655.74

Chapitre X : SIGNALISATION ET DISPOSITIFS

X-1- La signalisation :

X-1-1 : Généralité :

Parmi les principales composantes de l'environnement routier, on trouve la signalisation. Cette dernière est de deux types, le premier est la signalisation verticale et elle est constituée par des panneaux alors que la deuxième est horizontale et elle est matérialisée par un marquage.

D'après les statistiques sur les accidents, la manoeuvre du dépassement et le non respect de la signalisation verticale constituent une grande part dans les causes des accidents, d'où l'intérêt de l'entretien et de la maintenance de la signalisation existante ainsi que de la révision et du renouvellement des plans de signalisation.

L'étude de la signalisation horizontale ou verticale doit plus particulièrement concerner les points singuliers (carrefours, changement de profil en travers).⁽¹³⁾

X-1-2-L'objet de la signalisation routière :

La signalisation routière a pour objet :

- De rendre plus sûre la circulation routière.
- De faciliter cette circulation.
- De donner des informations relatives à l'usage de la route.

X-1-1-3-Règles à respecter pour la signalisation :

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation en respectant les règles suivantes:

- Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité).
- Cohérence avec les règles de circulation.
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale.
- Simplicité qui s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatiguent l'attention de l'utilisateur.

X-1-1-4-Catégories de signalisation :

La signalisation routière se divise en deux catégories de signalisation verticale et horizontale.

- La signalisation par panneaux.
- La signalisation par balisage.
- La signalisation par bornage.
- La signalisation par feux

A-. La signalisation routière horizontale :

Partie II : Etude Géométrique

La signalisation routière horizontale regroupe l'ensemble des marquages peints sur la route et qui indiquent aux usagers quel comportement adopter à ces endroits⁽¹³⁾



Ligne continue



Ligne discontinue



Flèches directionnelles

B-La signalisation routière verticale :



B14

Limitation de vitesse. Ce panneau notifie l'interdiction de dépasser la vitesse indiquée



A18

Circulation dans les deux sens



A1b

Virage à gauche



A1a

Virage à droite

Partie II : Etude Géométrique

X-1-2 -L'éclairage :

X-1-2-1-Généralité :

L'éclairage public doit permettre aux usagers de la voie de circuler de nuit avec une sécurité et un confort aussi élevé que possible.

Pour l'automobiliste, il s'agit de percevoir distinctement en les localisant avec certitude et dans un temps utile, les points singuliers de la route et les obstacles éventuels autant que possible sans l'aide des projecteurs de route ou de croisement.

Pour le piéton, une bonne visibilité de bordure de trottoir, des véhicules et des obstacles ainsi que l'absence des zones d'ombre sont essentiels.⁽¹³⁾

X-1-2-2-Catégories d'éclairage :

On distingue quatre catégories d'éclairages publics :

- Eclairage général d'une route ou une autoroute, catégorie **A**.
- Eclairage urbain (voirie artérielle et de distribution), catégorie **B**.
- Eclairage des voies desserte, catégorie **C**.
- Eclairage d'un point singulier (carrefour, virage...) situé sur un itinéraire non éclairé, catégorie **D**.

X-1-2-3-L'éclairage de notre route :

Des lampadaires d'hauteur de 10 à 12m sont implantés

Partie II : Etude Géométrique

Chapitre X : DEVIS quantitatif et estimatif

Tableaux X.1 : Devis Quantitatif et Estimatif

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	Unité	Quantité	Prix.U	Montant
	installation de chantier		f	f	f
1	Travaux de décapage de la terre végétale y compris évacuation à la D.P et finition de la plate forme, arrosage, compactage et toutes sujétions de mise en œuvre. l'assiette	M3	10855	100.00	1085500.00
2	Exécution d'une couche de fondation en tuf ép. :21 cm, y/c le transport la manutention l'épilage le compactage, l'arrosage essais de compacité et toutes sujétions comprises	M3	2072	1 000,00	2072070.00
3	Exécution d'une couche de base en grave concasse 0/40 sur une ép.: 15cm y compris arrosage, compactage ,essai de compacité et toutes sujétions comprises toute sujétions de mise en œuvre	M3	753	1600.00	1205568.00
4	F/Mise en œuvre d'une couche de béton bitumineux 0/14 sur une ép.:06 cm y compris toutes sujétions de mise en œuvre.	T	904	6 000,00	5425056.00
5	Réalisation d'un trottoir en biton imprime	M2	3588	2000.00	7176000.00

Partie II : Etude Géométrique

6	F/poste de bordure de trottoir type T2 bicouche de bonne qualité (1 ^{er} choix) y compris peinture mataxiale rouge et blanc avec caniveau dosé à 350 kg/m3 et toutes sujétions de mise en oeuvre	ML	3588	1000.00	3588000.00
				MONTANT EN HT	20552194.00
				TVA 19%	3904916.86
				MONTANT EN T.T.C	24 457110.46
				ARRONDI A	24 457111.00

Chapitre I : généralité sur l'étude géotechnique

I-1 Introduction :

La géotechnique est l'ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur. La mécanique des sols étudie plus particulièrement le comportement des sols sous leurs aspects résistance et déformabilité. A partir d'essais de laboratoire et in situ de plus en plus perfectionnés, la mécanique des sols fournit aux constructeurs les données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil et assurer leur stabilité en fonction des sols sur lesquels ils doivent être fondés, ou avec lesquels ils seront construits.

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physique et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de la chaussée. Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs et intérieurs. Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol.

I-2 Reconnaissance du sol :

Les reconnaissances géotechniques sont nécessaires pour une description correcte des terrains et de l'estimation de leurs propriétés physique et mécanique qui sera utilisée dans les calculs, il existe, généralement deux types de reconnaissance géotechnique **[Figure I.1]** :

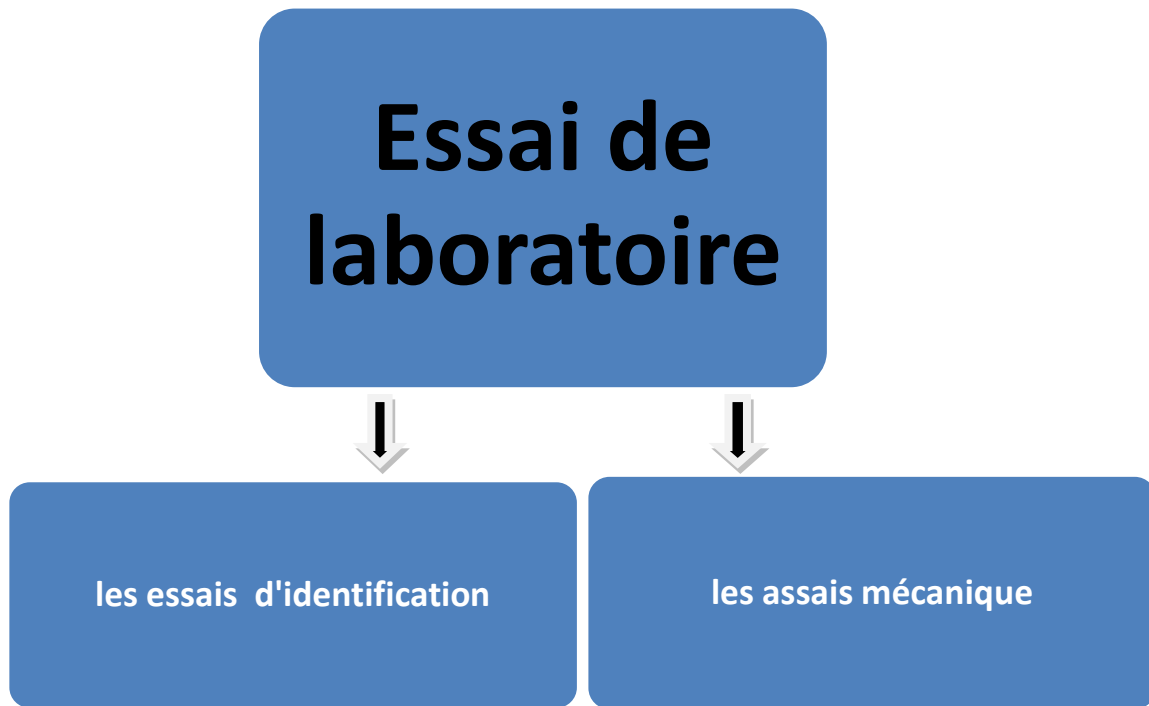


Figure I.1 : les deux types de reconnaissance géotechnique d'un sol en laboratoire.

Cette reconnaissance géotechnique doit donner des indications qualitatives (paramètre mécanique de résistance et de rhéologique), et quantitatives (compacité, perméabilité) sur la nature des terrains rencontrés.

I-3 Origine des échantillons

- L'échantillon sélectionné pour cette étude au niveau du chantier (puits T03) et analysé au niveau du laboratoire de l'université Abdelhamid ibn Badis de Mostaganem - faculté des sciences et de la technologie.

I-4 La couche de forme pour une bonne assise de route :

La couche de forme est une structure de transition, permettant l'adaptation du remblai. Elle doit respecter, en fonction de la norme de classification des sols NFP11-300, les caractéristiques suivantes :

- Mécanique : la couche doit être résistante :
 - homogénéisation et maintien de la portance dans le temps ;
 - la portance est la capacité du sol à résister aux charges transmises par les roues des véhicules.
- Géométrique : la couche doit être de faible granulométrie.
- Hydraulique : la couche doit être drainante.
- Thermique : la couche doit être hors gel.

Chapitre II : Les essais au laboratoire

Les essais de laboratoire ont pour but de déterminer les paramètres physique et mécanique du sol en vue d'estimer son état naturel [Figure II.1]. Les échantillons prélevés à partir (puits de reconnaissance, sondage carotté ...) ont été acheminés au laboratoire en vue de subir les essais suivant:

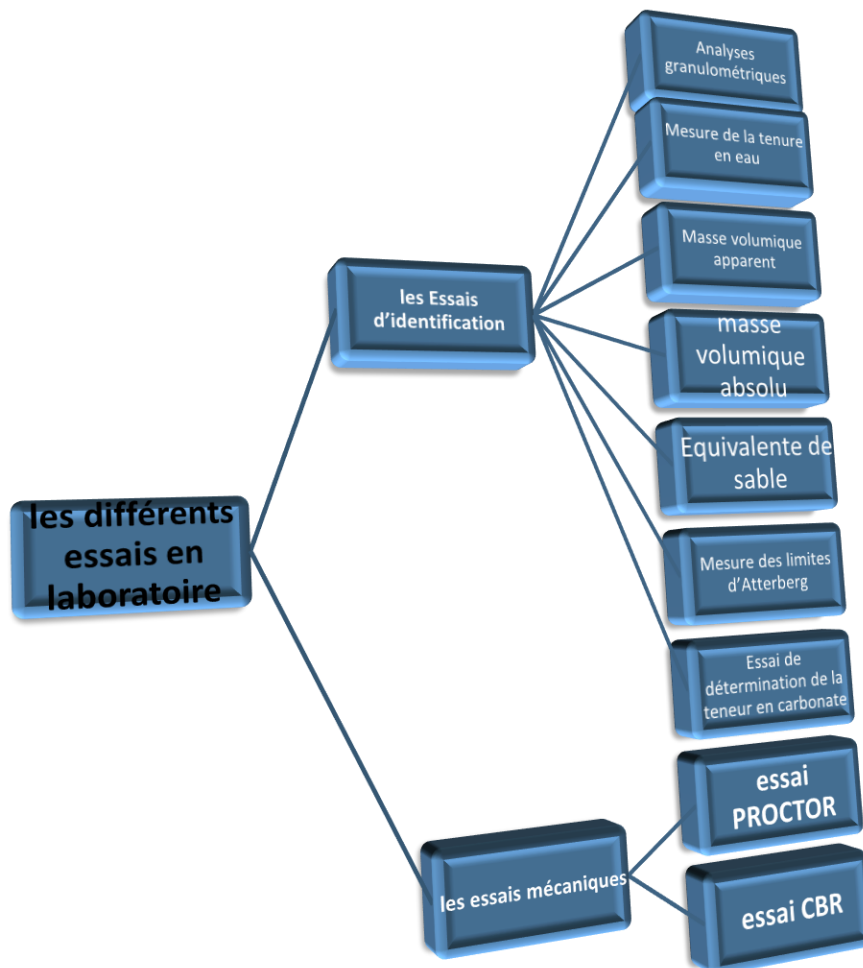


Figure II.1: Organigramme des essais réalisés au laboratoire

Partie II : Etude géotechnique

II-1 Essais d'identifications

Il est habituel de caractériser les sols à l'aide d'essais relativement simples. Ils nous permettent de déterminer la nature du sol, sa structure et ses propriétés physico-chimiques, Ces essais sont :

1. Analyses granulométriques.
2. Mesure de la teneur en eau
3. Masse volumique apparent
4. Masse volumique absolu
5. Equivalente de sable
6. Mesure des limites d'Atterberg
7. Essai de détermination de la teneur en carbonate par la méthode du calcimètre

II-1.1 Analyses granulométrique..... [NF P94-056]:

A) Définition

L'analyse granulométrique d'un sol est l'étude des dimensions des diamètres des grains, leur distribution, de différencier les sols entre eux, roche, gravier, argile...etc.

La détermination de la distribution de la taille des particules, ou en composition granulométrique du sol, est appelée analyse granulométrique d'un sol

Les sols sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par tamisage sur des tamis ou passoirs

B) But de l'essai :

- Le but de l'essai se matérialise par plusieurs points. Nous avons entre autre :
- Le dimensionnement des particules qui varie entre 10^{-6} mm à 1000 mm.
- La classification utilisée pour caractériser les grains de différentes dimensions.
- L'établissement de la courbe granulométrique qui donne des informations très précises sur le sol étudié.

C) Principe de l'essai :

- L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis

Avant l'opération de tamisage, l'échantillon est lavé au dessus d'un tamis de 0.080 mm afin d'éliminer les fines et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les

Partie II : Etude géotechnique

résultats de l'analyse. L'analyse granulométrique est conduite sur la fraction refusée par le tamis de 0.080 mm.

C) Equipement nécessaire :

Ce sont des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisées, sont réalisées soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle [Figure II.2]. Les passoires, qui comportent des trous ronds percés dans une tôle, ne sont plus utilisées actuellement. Pour un travail aisé et aux résultats reproductible, il est conseil d'utiliser une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire horizontale .ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis.



Figure II.2: série de tamis utilisée dans l'Analyses granulométrique.

- La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimension sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison depuis le tamis 0.063mm, l'analyse granulométrique n'est pas adaptée et l'on peut présider par sédimentométrie

L'existence de passoires (trous rond) a conduit, dans le passé. À une double classification des tamis et des passoires, tout en conservant pour chaque famille d'appareil la même progression géométrique des ouvertures .Afin d'éviter toute ambiguïté. Un tamis et une passoire équivalant étaient Alor désigné par un même numéro de module. Le tableau suivant présente la classification des tamis selon l'ancienne norme NF P18-560

Partie II : Etude géotechnique

Modules	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis (mm)	0.08	0.1	0.125	0.460	0.20	0.250	0.315	0.40	0.5	0.63	0.80
Modules	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis (mm)	1.00	1.25	1.60	2.00	1.50	3.15	4.00	5.00	6.3	8.00	10.00
Modules	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis (mm)	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	880		

Tableau II.1: classification des tamis selon l'ancienne norme NF P18-560

La norme actuelle EN933-2. Pour l'analyse granulométrique, la série de tamis souligné en gras progression suivante :

Tamis (mm)	0	0.063	0.08	0.1	0.125	0.160	0.2	0.25	0.315	0.4	0.5
Tamis (mm)	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3
Tamis (mm)	8	10	12.5	14	16	20	25	31.5	40	50	63
Tamis (mm)	80	100	125								

Tableau II.2 : classification des tamis selon La norme actuelle EN933-2.

D) Conduit de l'essai

- La prise d'essai est séchée jusqu'à masse constante Puis pesé (masse M1)

On réalise en suite un tamisage par lavage afin de séparer les éléments de dimension inférieure à 0.080 mm de reste de l'échantillon. Cette manipulation est réalisée après une période de trempage de 20 heures afin de favoriser la réparation de l'ensemble des grains. un dispersant peut être éventuellement utilisé pour faciliter cette opération. Au cour du lavage, il ya lieu de protéger le tamis de 0.080mm par un ou deux tamis d'ouverture plus grande (1 ou 2mm par exemple) placés au-dessus. Le lavage est poursuivi jusqu'à ce que l'eau passant au travers du tamis de 0.080mm soit claire [Figure II.3]. Si on souhaite étudier plus particulièrement l'élément fin, il y a lieu de conserver le filtrat obtenu et de séparer les éléments fins par décantation puis séchage.



FFF12F

Figure II.3 : Analyse granulométrique après lavage.

L'échantillon ainsi préparé est alors séché à $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. après refroidissement il est pesé jusqu'à masse constante (masse M2) le tamisage à sec peut alors être réalisé

➤ Dimension des tamis utilisés :

En fonction de la dimension d1D des matériaux analysés. On utilisera la série de tamis préconisée par la norme EN 933-2 [Tableau II.2] ainsi que tout les tamis nécessaire à la couverture de la dimension comprise entre 0.08mm et 2D pour les sablons et les sables, et entre 0.63d et 2D pour les gravillons (norme XP P 18-540)

➤ Préparation de l'échantillon :

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératif qui sont contradictoire :

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif.
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans le pratique, la masse utilisée sera telle que : $m \geq 0.2D$ avec M : masse de l'échantillon en kg et D diamètre du plus gros granulat exprimé en mm

Partie II : Etude géotechnique

➤ Description de l'essai :

Le matériau séché, de masse M_2 est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie Inférieure, on dispose un tamis de 0.080 mm sur un fond étanche afin de Récupérer les éléments fins qui n'auraient Pas été entraînés par le lavage initial. Un couvercle est également disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par se même tamis.

Le matériau étudié est vessé en Laut de colonne de tamis et celle-ci est vibrée a l'aide de la tamiseuse électrique .le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé .mais dépend également de la charge des matériaux présente sur le tamis et son ouverture. Un étalonnage de la machine est donc nécessaire.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient séquences de vibration de la tamiseuse [Figure II.4].⁽⁶⁾



Figure II.4 : Refus des particules > 0.080 mm

Partie II : Etude géotechnique

- Coefficient d'uniformité « coefficient de HAZARD »: Il est noté par c_u tel que :

$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Avec :

D60 est le diamètre du tamis qui laisse passer 60% de l'échantillon.

D10 est le diamètre du tamis qui laisse passer 10% de l'échantillon.

Pour :

coefficient de HAZARD	La continuité de la courbe
$c_u \geq 5$	La granulométrie est dite étalée (continue).
$c_u < 2$	La granulométrie est dite étroite (uniforme).

Tableau II.3 : Continuité de la courbe granulométrique selon leur coefficient d'uniformité ;
référence [NF P94-056].

- Coefficient de courbure : Il est noté par CC tel que :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})}$$

Avec :

D30 : est le diamètre du tamis qui laisse passer 30% de l'échantillon.

Partie II : Etude géotechnique

F) Application au projet :

a/ Analyses granulométrique après lavage :

Poids initiale		1000g		
Ouverture de tamis en [mm]	Masse des refus partiels en [g]	Masse des Refus cumulé en [g]	Pourcentage des refus cumulés en %	Le complément à 100 « Tamisât » en %
31.5	62	62	6 %	94%
20	92	154	15%	85%
16	13	167	1%	99%
12.5	5	172	17%	83%
10	11	183	18%	82%
8	9	192	19%	81%
5	20	212	21%	79%
4	11	223	22%	78%
2	36	259	26%	74%
0.800	47	306	31%	69%
0.400	81	387	39%	61%
0.200	273	660	66%	34%
0.100	144	804	80%	20%
0.080	8	812	81%	19%
Fon de tamis	3	815	82%	18%

Tableau II.4 : récapitulatif des résultats du l'analyse granulométrique (après lavage).

Partie II : Etude géotechnique

❖ **Calcul :**

➤ Refus cumulée en % :

$$R_c \% = (RC/P_i) \times 100 = (62/1000) \times 100 = 6\%$$

➤ Le complément à 100 :

$$100\% - \text{ref } C\% \implies 100\% - 6\% = 94\%$$

➤ Coefficient d'uniformité :

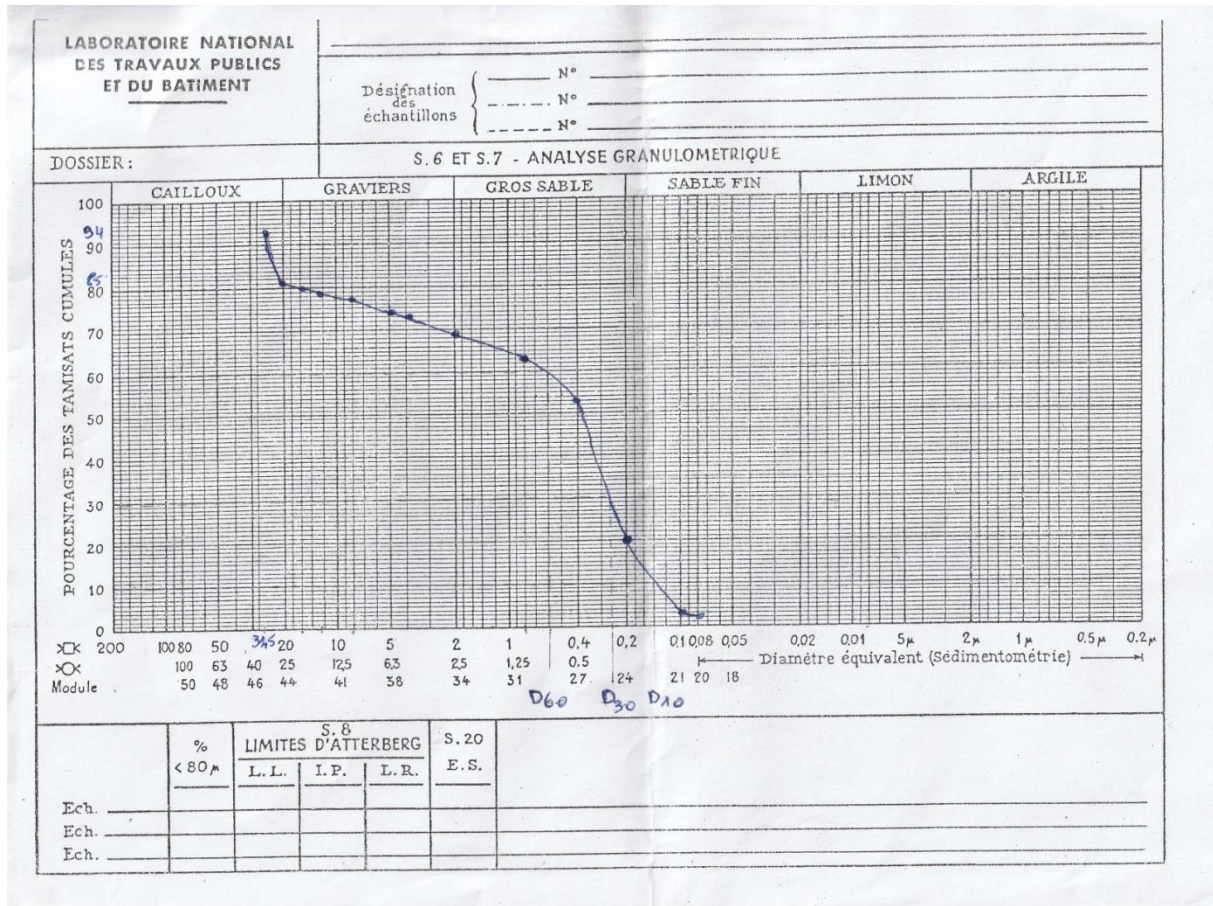
$$C_u = D_{60} / D_{10} \implies 0.400 / 0.080 = 5$$

➤ Coefficient de courbure :

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

$$\implies C_c = \frac{0.200^2}{0.400 \times 0.08} = 1.25$$

❖ **courbe granulométrique :**



Partie II : Etude géotechnique

b/ Analyses granulométrique avant lavage :

Poids initiale		3833g		
Ouverture de tamis en [mm]	Masse des refus partiels en [g]	Masse des Refus cumulé en [g]	Pourcentage des refus cumulés en %	Le complément à 100 « Tamisât » en %
31.5	170	170	4%	96%
20	212	382	10%	90%
10	311	693	18%	82%
5	235	928	24%	76%
2	277	1205	31%	69%
1	330	1535	40%	60%
0.400	536	2071	54%	46%
0.200	1200	3271	85%	15%
0.100	428	3699	96%	4%
0.080	35	3734	97%	3%
Fon du tamis	81	3815	100%	0%

Tableau II.5 : récapitulatif des résultats de l'analyse granulométrique (avant lavage).

❖ **Calcul:**

- Refus cumulée en % :

$$R_c \% = (RC/P_i) \times 100 = (170/3833) \times 100 = 4\%$$

- Le complément à 100 :

$$100\% - \text{ref } C\% \implies 100\% - 4\% = 96\%$$

- Coefficient d'uniformité :

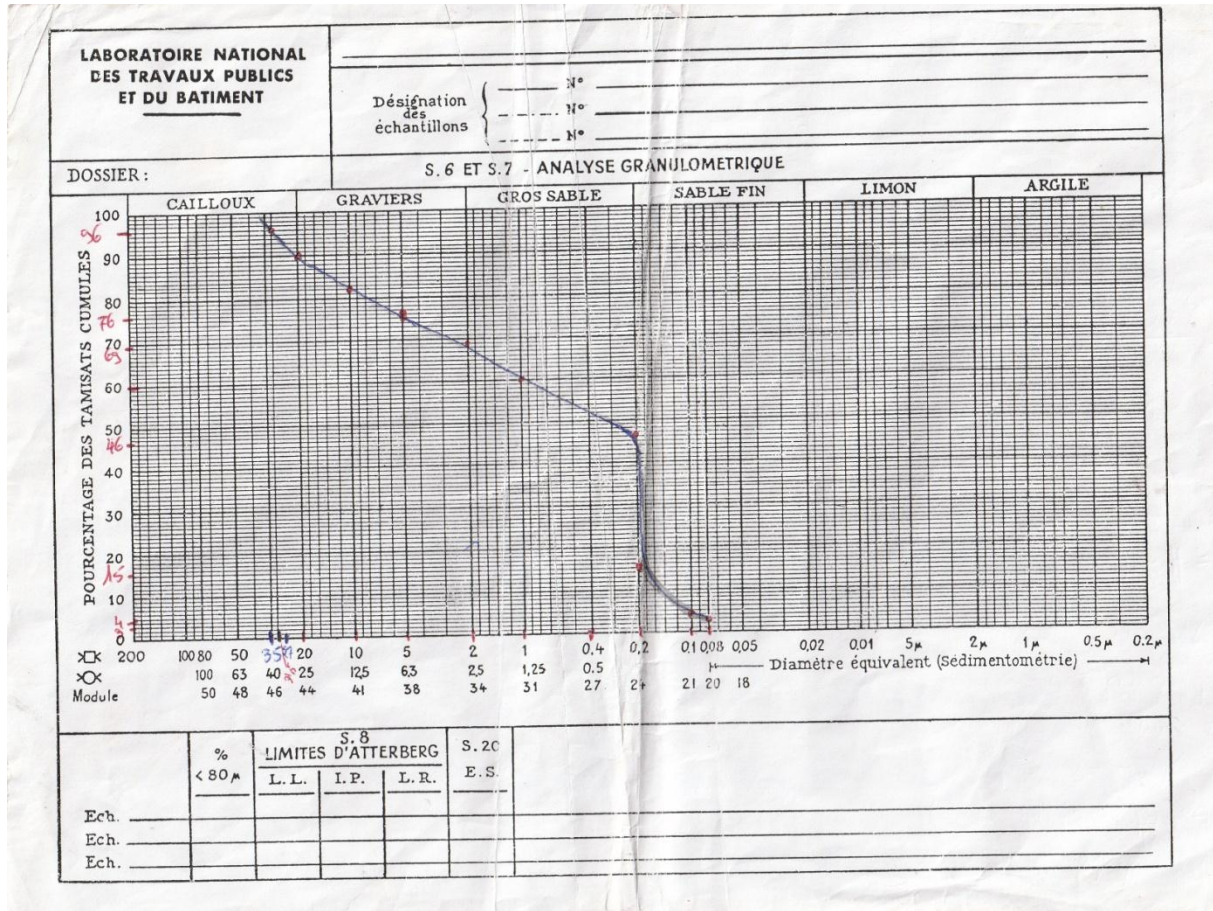
$$C_u = D_{60} / D_{10} \implies 1 / 0.200 = 5$$

- Coefficient de courbure :

$$\implies C_c = \frac{0.400^2}{1 \times 0.200} = 0.8$$

Partie II : Etude géotechnique

❖ courbe granulométrique:



❖ Commentaire :

O na : $c_u = 5 \geq 5$

d'après la norme [NF P94-056]. Tableau II.3 :

Alors on trouve que : La granulométrie est dite étalée (continue).

II-1.2 Teneur en eau..... [NF P94-065] :

A) Définitions :

Elle définit le rapport en % du poids d'eau W_w que le sol contient au poids W_s de ses éléments secs. L'obtention des éléments secs s'obtient par dessiccation du sol pendant 24 heures à l'étuve à 105°C.

On a

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} .100$$

Avec :

W_w : Poids de l'eau dans l'échantillon.

W_s : Poids des grains solide dans l'échantillon.

B) But de l'essai :

Détermination de la teneur en eau d'un sol, qui se définit par poids de l'eau contenu dans le poids des vides étant négligeable.

C) Principe de la détermination de la teneur en eau :

La perte d'eau d'un échantillon de matériau est provoquée par étuvage. Les masses de l'échantillon et de l'eau évaporée sont mesurées par pesage

La teneur en eau est le paramètre le plus important, sa variation modifie toutes les propriétés physiques du sol. Connaissant la valeur de la teneur en eau on peut avoir l'état dans lequel le sol se trouve, à titre d'exemple [Tableau II.6] donne une classification adoptée. ⁽⁶⁾

Teneur en eau %	Etat
01-25 %	Légèrement humide
25 -50 %	Humide
50 -75 %	Mouillé
75 -90 %	Détrempe
100 %	Saturé

Tableau II.6 : Etat hydrique des sols selon leur teneur en eau ; référence [NF P94-065]

Partie II : Etude géotechnique

D) Application au projet :

a/ La teneur en eau en chantier (in situ) :

$$W\% = (P_h - P_s / P_s) \cdot 100$$

	Échantillon N=° 1	Échantillon N=° 2	Échantillon N=° 3
Poids de plat vide en [g]	274	274	274
Poids d'échantillon humide (net) en [g]	22	22	29
Poids d'échantillon sec (net) en [g]	19	20	27
La teneur en eau W %	16%	10%	7%
La moyenne de W%	11%		

Tableau II.7 : récapitulative des résultats du teneur en eau à l'état naturel.

❖ Exemple de calcul sur ech N=°1 :

$$W\%=(Ph-Ps/Ps).100=(22-19/19).100 = 16\%$$

b/ teneur en eau par étuve

N° de la tare	B1	B2	H1	H2	D1	G1
Poids totale humide	17	21	41	35	30	32
Poids totale sec	16	20	38	34	28	31
Poids de la tare en [g]	7	6	16	13	13	18
Poids d'eau en [g]	1	1	3	1	2	1
Poids des sols secs en [g]	9	14	22	21	15	13
Teneur en eau ω %	11%	7%	14%	5%	13%	8%
La moyenne de ω %	9,6%=10%					

Tableau II.8 : récapitulative des résultats du teneur en eau étuvé.

❖ Exemple de calcul sur ech N=°1 :

$$W\%=(Ph-Ps /Ps).100 = (10-9/9).100 = 11.11\%$$

Commentaire :

D'après la norme: [NF P94-065]. Tableau II.6

Les teneurs en eau sont faibles de l'ordre de 01 à 25 % ;

Alors : le sol est légèrement humide.

II-1.3 mesure la masse volumique apparente [NF P94-064]:

A) Définition :

- La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules [Figure II.5] ⁽⁶⁾.

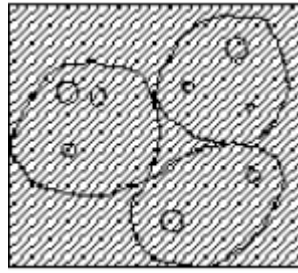


Figure II.5 : Masse volumique apparente d'un sol (Volume hachuré = Volume du récipient)

- L'intervalle théorique de la masse volumique apparente varie entre **1.30 et 1.60 (g/cm³)** ; référence [NF P94-064].

La masse volumique est donnée par la relation suivant:

$$\rho = M_t / V_t$$

Elle est en :

$$\text{Kg / m}^3 \quad \text{g / cm}^3 \quad \text{T / m}^3$$

B) Principe :

Il consiste à déterminer la masse volumique du matériau, sa densité à l'état naturelle « en présence des pores », avec la quelle on peut calculer la porosité, et la compacité du matériau.

C) Objectifs à atteindre

Le but de cet essai est la détermination de la masse volumique du matériau étudié
Détermination de la masse volumique.

D) Appareillages utilisés :

- Balance technique à 0.01 g.
- Etuve à t=105-110°C.
- Pot métallique de 1 litre (récipient).
- Règle plate métallique.
- Entonnoir.
- Main écope.
- Tamis de 0.2m.



Figure II.6 : Matériels utilisés pour la mesure de la masse volumique apparente

E) Mode opératoire :

- Etuver une quantité d'échantillon à $t=105-110^{\circ}\text{C}$
- peser un récipient de capacité 1 ou 2 litre (V_0) et noter sa masse $M_1(\text{g})$.
- verser l'échantillon(sec) à l'aide de l'entonnoir dans le récipient et le disposer sans tassement par couches horizontales successives jusqu'au remplissage (la distance entre l'extrémité de l'entonnoir et le bord du récipient est de 10 cm).
- Ensuite araser la couche supérieure du pot à l'aide d'une règle que l'on anime d'un mouvement de « va et vient », peser le récipient : soit $M_2(\text{g})$ sa masse

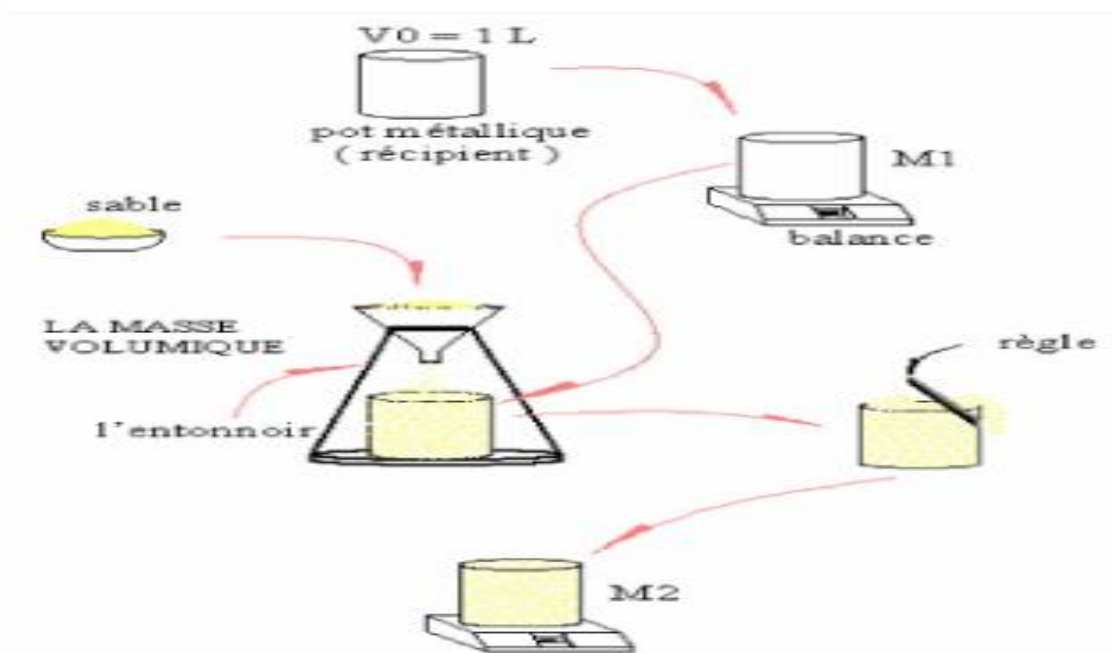


Figure II.7 : Méthode de détermination de la masse volumique apparente

F) Application au projet :

La masse volumique apparente du sol: $\rho_{app} = \frac{M_s}{V}$

Avec :

M_s : Poids de l'échantillon (net) à l'état sec.

V : volume de récipient.

❖ Application numérique :

$$M_s \text{ (net)} = 80 \text{ (g)} ; \quad V = 76.93 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{app} = 80 / 76.93 = 1.03 \text{ g/cm}^3$$

- **Commentaire** : on remarque que la valeur trouvée de la masse volumique apparente est faible par rapport à l'intervalle théorique qui varie entre **1.30 et 1.60 (g/cm³)** ; référence [NF P94-064].
alors : Ces sols sont saturés ou tendent vers la saturation

Partie II : Etude géotechnique

II-1.4 Mesure la masse volumique absolue..... [NF P94-065] :

- La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

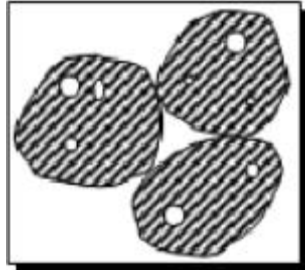


Figure II.8 : Masse volumique absolu d'un sol (Volume hachuré = Volume absolu -sans pores)

- L'intervalle théorique de la masse volumique absolu varie entre **2.45 et 2.65 (gr/ml)** ; référence [NF P94-064]

A) But de l'essai :

La détermination de masse volumique des grains solides consiste à mesurer le volume propre des grains à l'exclusion des vides à calculer le rapport entre leurs points et leur volume.

B) Principe de l'essai :

- L'essai est effectué avec 205g des cailloux et 40g des fines tel que (En passe l'échantillon par le tamis 0.200 mm; et en prend 40 g)
- En prend l'échantillon à son état naturel (San étuvage)

C) Application au projet :

a/ Masse volumique des cailloux :

❖ Mode opératoire

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser l'échantillon sec M et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V_2 .
- Calculer la masse volumique absolue :

$$\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1)$$

Partie II : Etude géotechnique



Figure II.9 : Mesure la masse volumique absolue des cailloux.

❖ **Résultats**

		Echantillon N°1	Echantillon N°2
Poids de l'échantillon en [g]	M	205	205
Volume d'eau en [ml]	V1	500	500
Volume d'eau+poids de l'échantillon en [ml]	V2	590	580
V2-V1		90	80
Masse volumique absolu en [g/ml] $\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1)$		2.27	2.41
La moyenne		2.34 g/ml	

Tableau II.9 : résultat de masse volumique absolue des cayeux.

Partie II : Etude géotechnique

b/ Masse volumique des fins :

❖ Mode opératoire :

- Remplir un pycnomètre avec l'eau au repère (M_1 = poids [pycnomètre + eau])
- Peser un échantillon sec ($M_m = 40\text{g}$) et l'introduire dans le pycnomètre en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air (M_2 = poids [pycnomètre + eau]).



Figure II.10 : mesure la masse volumique absolue des fins.

❖ Résultat:

M_m en [g]	40g
M_1 en [g]	279
M_2 en [g]	303
$V_s = (M_1 + M_m) - M_2$	16
$\delta_{abs} = \frac{M_m}{V_s}$	2.5 g/ml

Tableau II.10 : résultat de masse volumique absolue des fins.

Partie II : Etude géotechnique

Avec :

M_m : Poids du l'échantillon 40g

M_1 : Poids de (pycnomètre+eau au repaire)

M_2 : Poids de (pycnomètre +eau au repaire +poids du l'échantillon)

δ_{abs} : Masse volumique absolue

Calcul:

$$V_s = (M_1 + M_m) - M_2 = (279 + 40) - 303 = 16 \text{ g}$$

$$\delta_{abs} = M_m / V_s = 40 / 16 = 2.5 \text{ g/ml}$$

❖ **Commentaire :**

on remarque que les valeurs trouvée de la masse volumique absolue est très proche de l'intervalle théorique qui varie entre **2.45 et 2.65 (gr/ml)** ; référence [NF P94-064]

c/ Conclusion : pour avoir une valeur de masse volumique absolue comprise dans l'intervalle théorique il faut diminuer les erreurs le plus que possible toute en s'assurant du réglage de la balance, ainsi qu'en travaillant avec l'entonnoir pour ne pas perdre d'échantillon, et aussi répéter l'essais plusieurs fois si possible

II-1.5 Essai équivalent de sable[NF EV 933-8]:

L'essai d'équivalent de sable permet de déterminer dans un sol la proportion relative de sol fin et de sol grenu. est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm

Cet essai est important, car la présence d'éléments fins peut modifier le comportement de ces sols.

A) **But de la manipulation :**

- L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propriété

Partie II : Etude géotechnique

du sable. il Rend compte globalement de la quantité et la qualité des éléments fins.

B) Principe de l'essai :

L'essai est effectué avec 120g de grains. il est préférable d'utiliser un échantillon humide, pour éviter les pertes des éléments fins du sol

On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. au bout de 20mn, on mesure les éléments suivants

La hauteur h1 : sable propre + éléments fins

La hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable : $E_s = h_1/h_2 * 100(\%)$

Il ya 2 façons de mesurer h2, soit visuellement pour déterminer ESV (équivalent de sable à vue), soit avec un piston pour déterminer ES.

Le mode opératoire à une grande influence sur le résultat donc il faut le suivre scrupuleusement.

Connaissant les valeurs de l'équivalent de sable on peut avoir la nature et la qualité du sable ; à titre d'exemple le tableau [Tableau II.11] donne une classification adoptée :

E.S. visuelle	E.S piston	nature et la qualité du sable
$E.S.V < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq E.S.V < 75$	$60 \leq E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne court pas particulièrement le retrait
$75 \leq E.S.V < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité (valeurs optimale E.S piston = 75 ; E.S.V = 80)
$E.S.V \geq 85$	$E.S \geq 80$	Le sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

Tableau II.11 : nature et la qualité du sable selon de l'équivalent de E.S.V et E.S ; référence

Partie II : Etude géotechnique

[NF EV 933-8]:

C) Mode opératoire de la manipulation :

- réparer 5 litres de solution lavante en diluant une dose de solution lavante concentrée de 125 cm³ dans 5 litres d'eau déminéralisée. (Conservation 2 à 4 semaines)
- Tamiser le matériau à tester de façon à séparer les éléments sableux les plus grossiers des particules fines (fraction 0/5) (Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins), puis en prélever 120 gr.
- Préparer Trois éprouvettes propres (on prendra la moyenne de 3 résultats [Figure II.11])

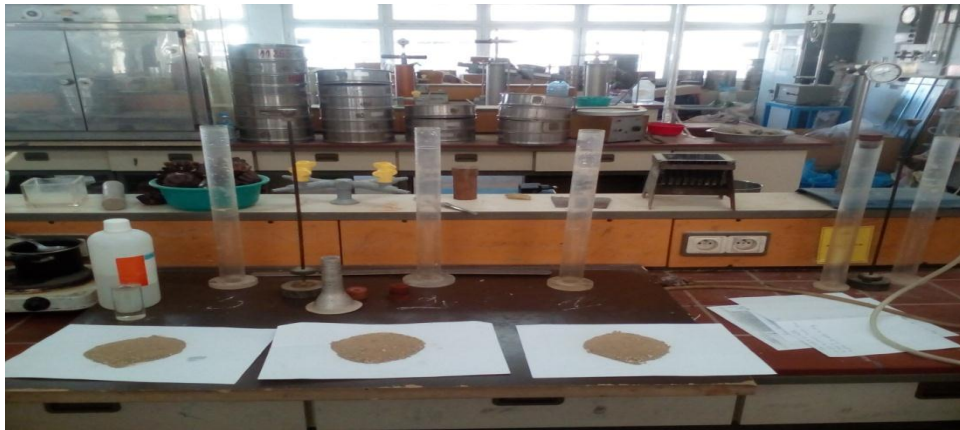


Figure II.11 : matériel utilisé en mode opérationnel.

- Mettre la Solution lavante dans une bonbonne de 5 L à 1 m au-dessus du fond des éprouvettes
- Remplir les éprouvettes avec la solution lavant, jusqu'au premier trait.
- Verser la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air.
- Boucher les éprouvettes et les agiter par des mouvements rectilignes horizontaux de 20cm d'amplitude 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine, si possible)
- Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube plongeur
 - Rincer le bouchon au dessus de l'éprouvette
 - Faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pou laver les parois intérieures de l'éprouvette
 - Laver le sable en faisant descendre et remonter lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure
- Laisser reposer 20 mm. est évité toute vibration pour les éprouvettes en cours d'essai
- Mesurer à vue les hauteurs h1 et h2

Partie II : Etude géotechnique

La mesure de h_2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes. Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston

- Descendre le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable. Mesurer alors h_2 [figure]

Ces opérations sont identiques pour les 3 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h_1 , h_2 et h' doivent être faites avec la précision du mm

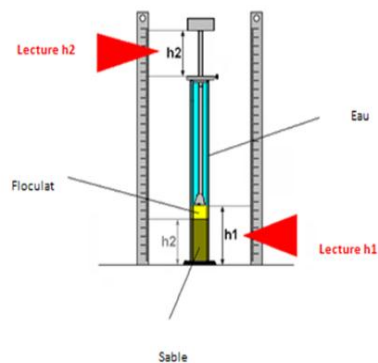


Figure II.12 : la façon de mesurer les hauteurs

D) Précautions :

- Matériel propre et solution lavante récente
- Attention aux orifices du tube laveur (à nettoyer si besoin)

E) Expression des résultats :

Calculer pour chaque éprouvette ES avec une précision décimale et retenir les moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche.

F) Matériel utilisé :

- Éprouvettes en P1 exiguas avec deux traits et leurs bouchons
- Entonnoir pour introduire le sable
- Bonbonne de solution lavant avec son bouchon, le siphon et le tube souple
- Tube laveur métallique plongeant
- Machine agitatrice (si disponible)
- Réglet métallique pour la mesure des hauteurs des sables et floculats
- Piston taré à masse de 1 kg pour la mesure de l'ES⁽⁶⁾

Partie II : Etude géotechnique

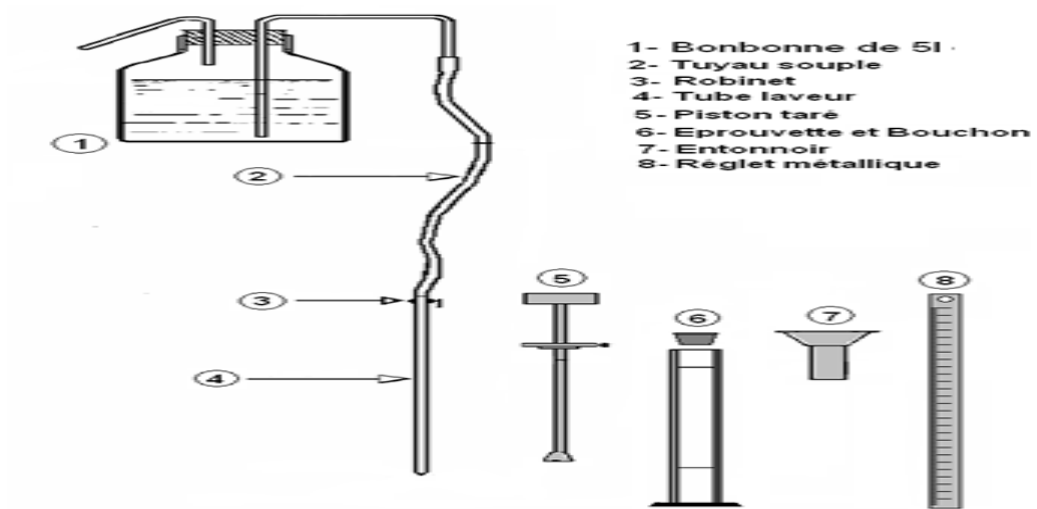


Figure II.13 : dispositif de l'essai équivalent de sable

Partie II : Etude géotechnique

G) Application au projet

On calcul pour chaque éprouvettes ES avec une précision décimale

		Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3
Hauteur de l'éprouvette	h	43	43	43
Hauteur au floculat en [cm]	h₁	28.3	28.6	29.7
Hauteur de piston en [cm]	h'	34.7	35.3	34
Hauteur de sable en [cm]	h₂ = h-h'	8.3	7.7	9
Equivalent de sable en %	ES	29.32%	26.92%	30.30%
La moyenne		28.84%		

Tableau II.12 : résultat d'essai équivalent de sable.

H) Les calcule :

$$ES = \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \times 100\%$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ES1 = (8.3/28.3) \times 100 = 29.32\% \\ ES2 = (7.7/28.6) \times 100 = 26.92\% \\ ES3 = (9/29.7) \times 100 = 30.30\% \end{array} \right.$$

Partie II : Etude géotechnique

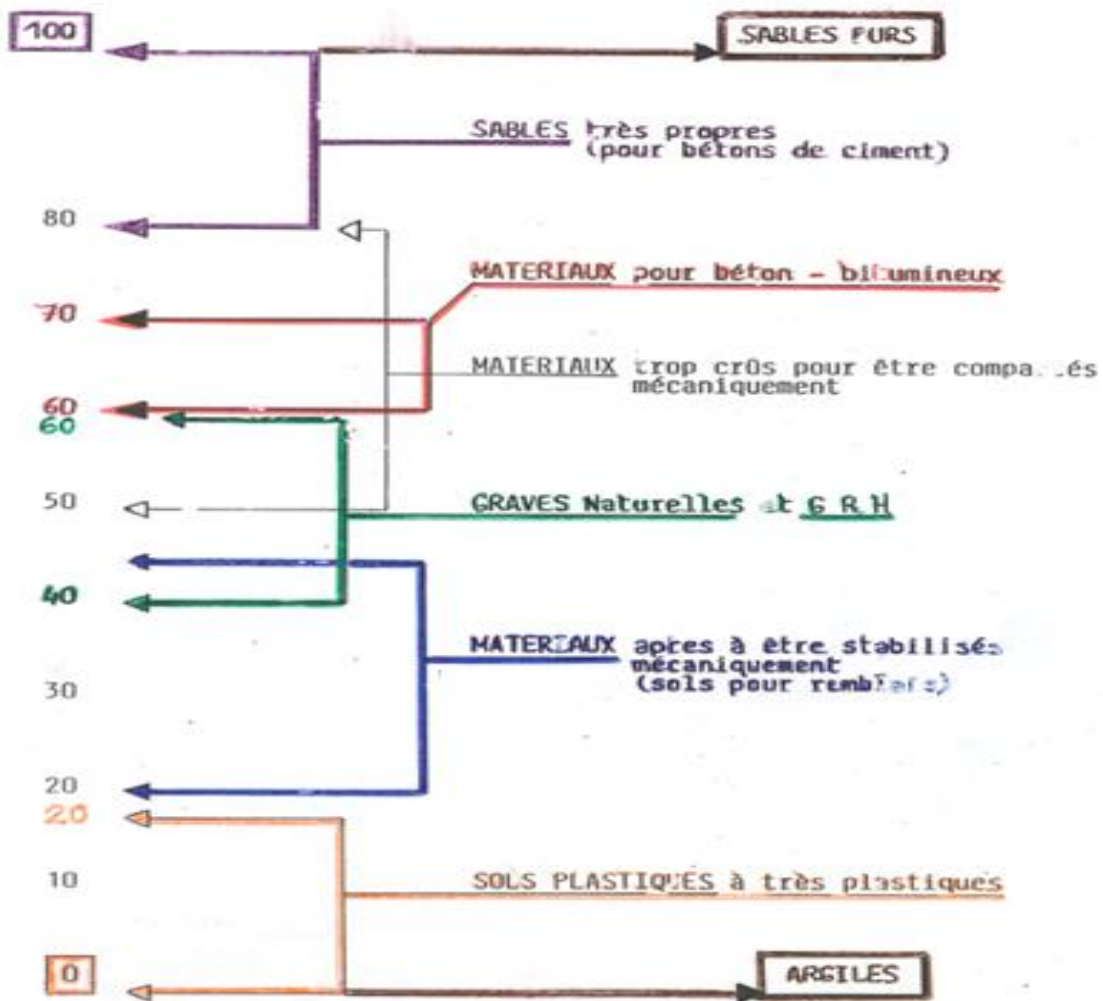


Figure II.14 : interprétation des résultats et qualité du sable

Commentaire :

D'après la norme [NF EV 933-8]. Tableau II.11 :

En vu que $ES=28.84\% < 60\%$

Alors : notre échantillon est parmi les sols argileux ; risque de retrait ou de gonflement.

Partie II : Etude géotechnique

II-1.6 Essai de Limite d'Atterber[NF P94-051]:

Limite d'Atterberg ont pour but de définir les états d'humidité correspondantes aux limite entre les trois états et la nature de sol. La consistance d'un sol va donc varier en fonction de la teneur en eau.

On définit des limites d'Atterberg pour qualifier ces différents états :

A) Limite de liquidité WL :

La limite de liquidité (wl) caractérise la transition entre un état plastique et un état liquide. C'est la teneur en eau pondérale, exprimée en pourcentage, au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide visqueux sous l'influence de son propre poids.

B) Limite de plasticité WP :

La limite de plasticité (wp) caractérise la transition entre un état solide et un état plastique. Cette limite indique la teneur en eau pondérale, en pourcentage, optimale pour travailler un sol et favoriser le compactage. En dessous de cette limite, le sol est friable d'un point de vue agronomique. La limite de plasticité est déterminée par le modelage d'un petit fil avec la partie fine d'un sol sur une surface plane, non poreuse. La procédure est définie dans la norme ASTM D 4318. Si le sol est plastique, ce petit fil conserve sa forme jusqu'à un diamètre très étroit. L'échantillon peut alors être reformulé et l'essai est répété. Comme la teneur en humidité diminue à cause de l'évaporation, le fil commence à se briser à grands diamètres. La limite de plasticité est définie comme étant la teneur en eau, où le fil se casse à un diamètre de 3 mm (environ 1/8 "). Un sol est considéré comme non-plastique, si un fil ne peut pas rouler jusqu'à 3 mm, quel que soit le taux d'humidité de la partie fine du sol.

C) Indice de liquidité

$$I_l = \frac{W - W_p}{I_p}$$

D) L'indice de plasticité Ip

$$I_p = W_l - W_p$$

Partie II : Etude géotechnique

C'est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l'argilosité des sols. Le tableau ci-dessous indique les degrés de plasticité d'un sol.

Indice de plasticité	Degré de plasticité
0 – 5	Non plastique
5 – 15	Peu plastique
15 – 40	Plastique
>40	Très plastique

Tableau II.13 : Degré de plasticité des sols selon I_p ; référence [NF P94-051].

E) Estimation du gonflement des sols

Selon les valeurs de l'indice de plasticité I_p , on peut évaluer le gonflement possible des sols. Généralement les sols gonflants ont un très grand indice de plasticité.

I_p (%)	Gonflement potentiel
0 -15	Faible
15 – 25	Moyen
25 – 55	Elevé
>55	Très élevé

Tableau II.14 : Gonflement potentiel des sols selon I_p ; référence [NF P94-051].

Partie II : Etude géotechnique

F) Indice de consistance I_c :

Pour apprécier le degré de consistance d'un sol, on a comme indication l'indice de consistance $I_c = (WL - W) / I_p$

G) Principe et manipulation du Limite de liquidité :

❖ Mode opératoire

- Quelques grammes de la pâte du sol déjà préparé sont placés dans la coupelle
- On nivelle la surface à une épaisseur d'environ 1 cm
- On trace une rainure suivant le plan axial de la coupelle à l'aide de l'outil spécial
- La manivelle est tournée de 2 tours par seconde environ jusqu'à ce que les deux lèvres de la rainure se rejoignent sur 1 cm
- On note le nombre de chocs
- On prélève un échantillon d'environ 10g à l'endroit où les deux lèvres sont jointes, on le pèse immédiatement et on l'introduit dans l'étuve.
- La coupelle est vidée sur le reste de l'échantillon et malaxée
- On reprend l'essai 5 fois
- Cette essai consiste à déterminer la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiqué dans la pâte de sol placé dans la coupelle cette dernière se ferme en répétant des chocs successive



Figure II.15 : Mode opératoire du Limite de liquidité.

Partie II : Etude géotechnique

❖ Principe

- Le nombre de coups doit être compris entre 15 et 35 pour atteindre les limites de liquidité.
- remplissage de la coupelle : la pâte doit être étalée par une épaisseur [Figure II.16].
- Réalisation de la rainure : la rainure doit être réalisée de façon à partager la pâte en deux moitiés égales.
- Fermeture de la rainure : l'essai doit être arrêté lorsque la rainure se rejoigne sur une longueur de 1 cm

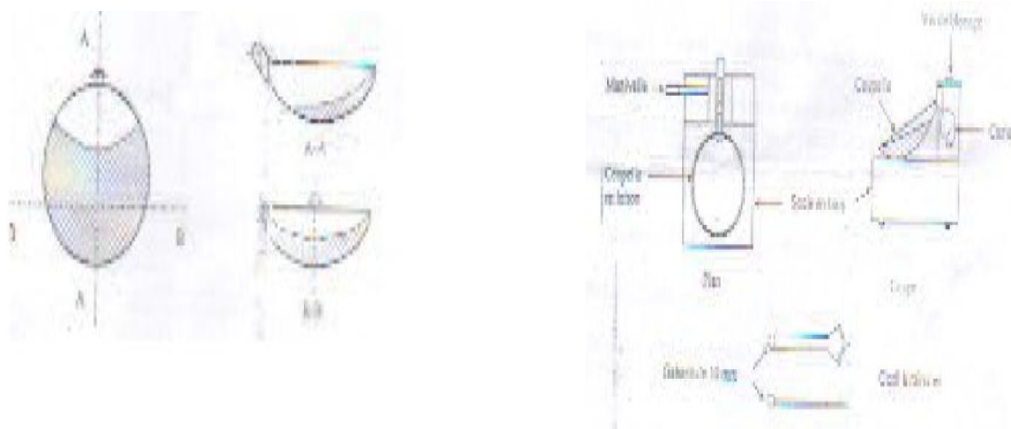


Figure II.16: appareil de Casagrande (montre l'épaisseur correspondante)

H) Principe et manipulation du Limite de plasticité :

❖ Mode opératoire

On mélange l'échantillon avec des quantités variables d'eau; on façonne avec la pâte un rouleau de 6 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur. Puis on atteint 3 mm de diamètre en le roulant (souvent avec les doigts), après 5 à 10 allers-retours maximum. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm.



Figure II.17 : Mode opératoire du Limite de plasticité.

I) La précision de l'essai :

Est de l'ordre du demi-point de teneur en eau pour la détermination de la limite de liquidité et du point de teneur en eau pour la détermination de la limite de plasticité.

Partie II : Etude géotechnique

J) Application au projet :

- ❖ La teneur en eau en état nature : 10%

	Limite de liquidité				Limite de plasticité		
	6	11	17	35			
Nombre de coups N en [g]	6	11	17	35			
Numéro de la tare en [g]	B	2	9	M2	E	A31	R
Poids total humide en [g]	12.9	15.2	31.1	18.5	25.1	13.5	10.7
Poids total sec en [g]	10.8	12.7	28.9	16.7	24.6	13.2	10.5
Poids de la tare en [g]	5.8	6.2	23.5	11.9	22.4	11.7	9.5
Poids d'eau en [g]	2.1	2.5	2.2	1.8	0.5	0.3	0.2
Poids net sec P_S en [g]	5	6.5	5.4	4.8	2.2	1.5	1
Poids net humide P_H	7.1	9.1	7.6	6.6	2.7	1.8	1.2
Teneur en eau en %	42%	38%	41%	38%	23	20	20
Le moyen de ω_L et ω_P	$\omega_L = 32 \%$				$\omega_P = 21 \%$		

Tableau II.15 : récapitulatives des résultats du Limite d'Atterberg

Avec :

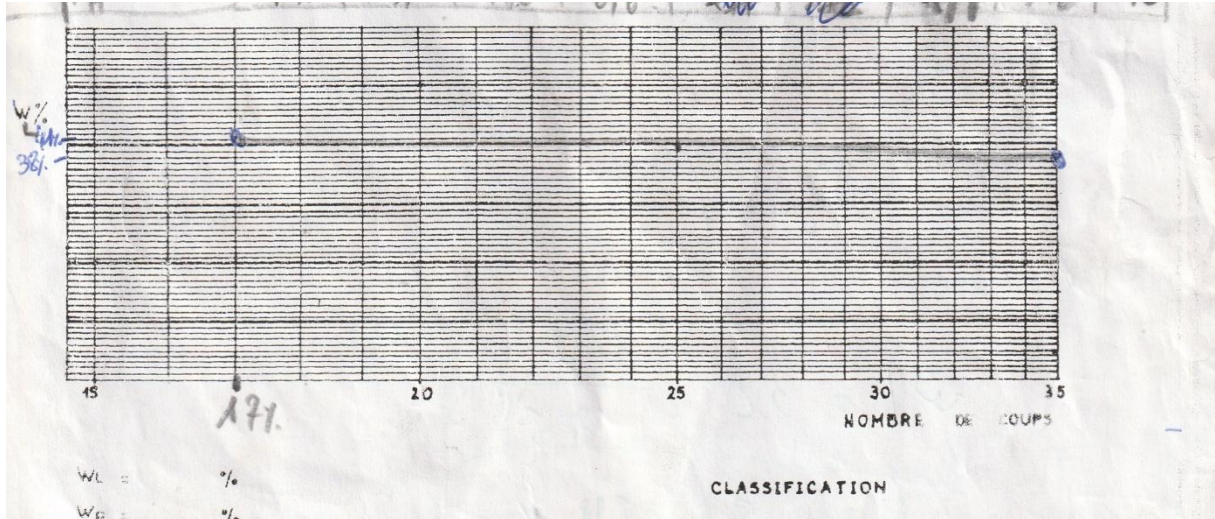
$$\omega_L = \left(\frac{P_h - P_S}{P_S} \right) \times 100$$

Exemple :

$$\omega_L = \left(\frac{7.1 - 5}{5} \right) \times 100 = 42\%$$

Partie II : Etude géotechnique

❖ Tracer la courbe $\omega_L = f(N)$



La limite de la liquidité correspond au taux d'humidité pour lequel la fermeture de la rainure est obtenue en 25 coups. Donc par projection sur la droite $\omega_L = f(N)$ on détermine la valeur limite de liquidité **LL=40 %**.

Partie II : Etude géotechnique

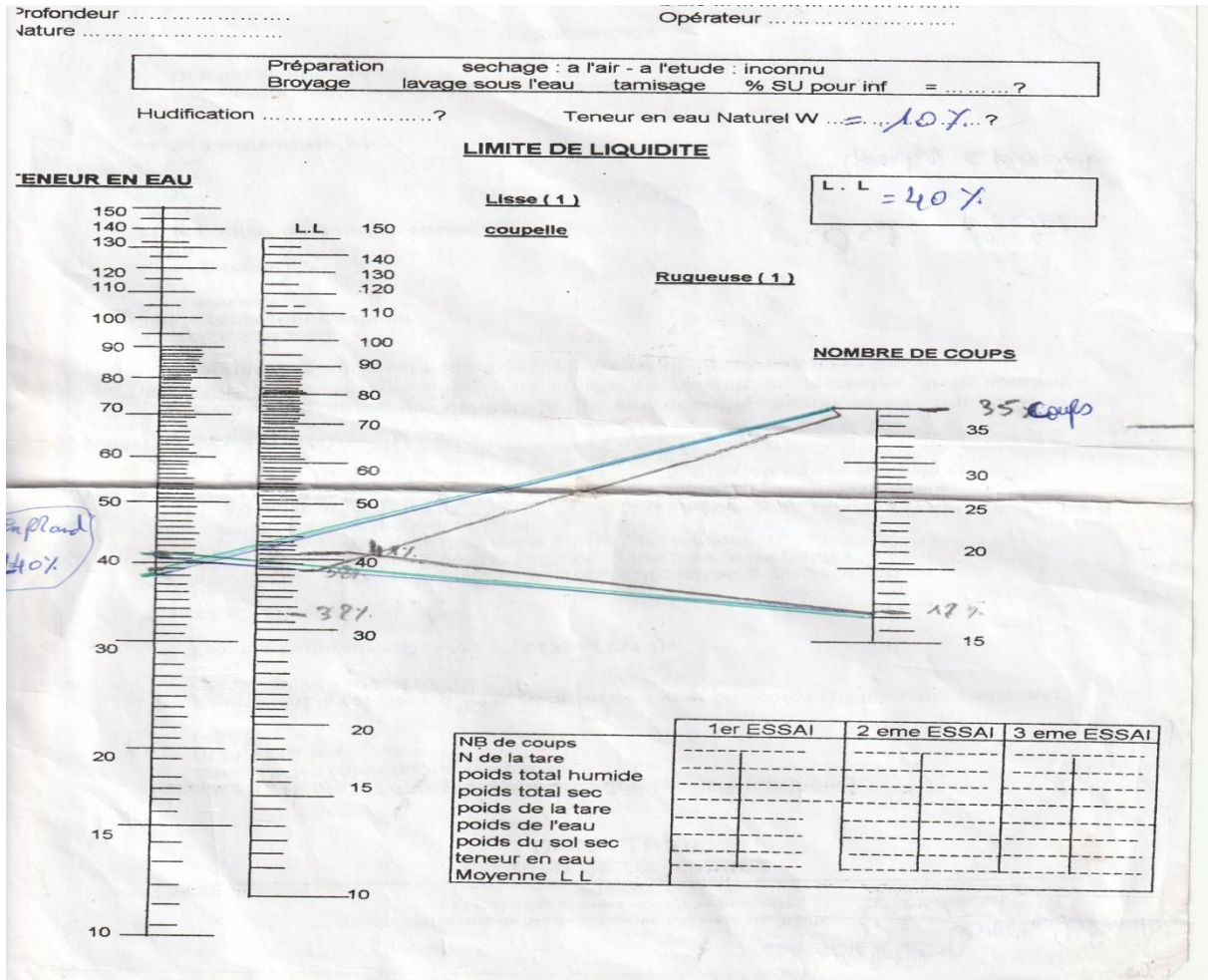
❖ Obtenir la limite de liquidité LL par calcul :

$$L.L = \omega_{L_{moy}} \times (nbr \text{ des cout}/25)^{tg\alpha}$$

Avec : $tg\alpha = 0.125$

$$L.L = 32 \times (17.25/25)^{0.125} = 30.54\%$$

❖ Obtenir la limite de liquidité LL par la lisse(1) de coupelle :



En option L.L= 40 %

Commentaire :

D'après les normes il faut que les trois méthodes de calcul du L.L soit égal

$$L.L_{calcul} = L.L_{tracé} = L.L_{liss}$$

Mais qui n'est pas le cas dans notre échantillon.

Partie II : Etude géotechnique

❖ Calcul I_p :

$$I_p = \omega_L - \omega_P$$

$$I_p = 32 - 21 = 11 \%$$

Commentaire :

D'après la norme [NF P94-051]. Tableau II.13 :

➤ $5 < I_p = 11\% < 15$: Le degré de plasticité de notre échantillon est peu plastique.

D'après la norme [NF P94-051]. Tableau II.14 :

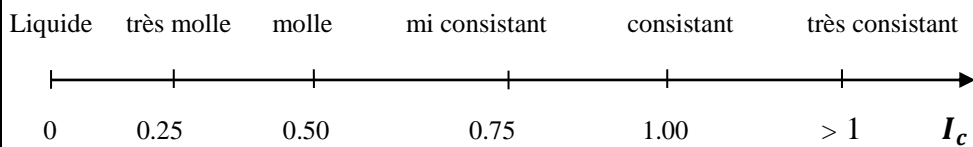
➤ $0 < I_p < 15$: le gonflement potentiel de notre échantillon est faible

❖ Calcul I_c :
$$I_c = \frac{(\omega_L - \omega_{natur})}{I_p}$$

$$I_c = \frac{(32 - 10)}{11} = 2$$

Commentaire :

D'après la norme [NF P94-051] :



Alors :

$I_c > 1$ donc : l'échantillon il est très consistant.

❖ Calcul I_L :

$$I_L = \frac{(\omega_{natur} - \omega_P)}{I_p}$$

$$I_L = \frac{(10 - 21)}{11} = -1$$

Partie II : Etude géotechnique

II-1.7 Essai de détermination de la teneur en carbonate par la méthode du calcimètre.....[NF P94-048] :

A) But :

Le calcimètre detrich –fru_ling [Tableau II.16] Sert à déterminer commodément et rapidement le pourcentage de carbonate de chaux d'une roche calcaire, d'une chaux, d'un sable ou d'un sol.

B) Objet :

Détermination de la teneur en carbonate par la méthode volumétrique.

C) Domaine d'application

Méthode de détermination de la teneur en carbonate dans des échantillons de sols (y compris les sédiments), de matières utilisées sur ou dans les sols et de déchets. Cette détermination est systématique sur les matières amendâtes mais pas sur les sols.

D) Principe :

L'acide chlorhydrique est ajouté à un échantillon pour décomposer tous les carbonates présents : $\text{MeCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Me}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3$ $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ gazeux Le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide d'un appareil Scheibler et est comparé au volume de gaz carbonique produit par du carbonate de calcium pur. Afin de ne pas tenir compte de correction, tous les tests sont réalisés dans les mêmes conditions.

E) Préparation de l'échantillon :

Conformément à la procédure S-I-1, les échantillons sont séchés à l'air ou dans une étuve ventilée à une température inférieure à 40 °C. Ils sont alors émottés et tamisés au travers d'un tamis de 2 mm d'ouverture de mailles. Eventuellement (cf. §5), si la prise d'essai est inférieure à 2 g, une partie de l'échantillon peut être broyé, sans refus, pour passer au travers d'un tamis à 250 µm d'ouverture de mailles. Une partie de l'échantillon à 2 mm servira à la mesure de l'humidité résiduelle conformément à la procédure S-I-3.

F) Analyse préliminaires :

Faire un essai préliminaire en ajoutant un peu d'acide chlorhydrique sur une fraction de l'échantillon déposé sur un verre de montre. L'intensité et le temps de l'effervescence donneront une estimation de la teneur en carbonate. Le tableau donne une idée de la quantité d'échantillon nécessaire :

Partie II : Etude géotechnique

Intensité de l'effervescence	Teneur en Carbonate (g/kg)	Masse de la prise d'essai (g)
Aucune ou limitée	<20	10
Faible, de courte durée	20 à 80	5
Forte, de longue durée	80 à 160	2.5
Très forte, de longue durée	>160	≤1

Tableau II.16 : expérimental de l'intensité de l'effervescence ; référence [NF P94-048].

Si la masse d'échantillon est inférieure à 2 g, il convient de prélever une portion représentative de l'échantillon et de le broyer, sans refus, pour obtenir des particules < 250 µm, conformément à la procédure S-I-1.

G) Appareillages et matériels utilisés

- Appareil Scheibler : adapté à l'exécution de dosages d'un échantillon seul.
- Balance analytique : précision minimum de 0.1 mg.
- Flacons à réaction : capacité de 150 ml et munis d'un col large.
- Récipients en matière plastique : capacité d'environ 10 ml, pouvant être introduit dans les flacons à réaction.

Pincés : résistantes à l'acide.

- Verre de montre.
- Tamis de 250 µm (éventuellement).

H) Réactifs utilisés :

Eau : conductivité électrique ≤ 0.2 mS/m à 25 °C, eau de qualité 2, conformément à l'ISO 3696

Acide chlorhydrique 4 M : diluer 340 ml d'acide chlorhydrique concentré à 1000 ml avec de l'eau. Carbonate de calcium (CaCO₃) : en poudre.

I) Mode opératoire :

L'échantillon après avoir été séché à l'air, est réduit en une fraction < 2 mm. Dosage : Les dosages des échantillons, des essais à blanc et du carbonate de calcium doivent être réalisés simultanément dans un local où la température et la pression ne varient pas trop durant la durée des dosages. Inclure pour chaque série 2 essais à blanc et 2 étalons de respectivement 0.200 et 0.400 g de carbonate de calcium.

Peser une prise d'essai représentative de l'échantillon et la transférer quantitativement dans un flacon à réaction et y ajouter 20 ml d'eau. Peser également les étalons de 0.200 et 0.400 g de

Partie II : Etude géotechnique

carbonate de calcium et les transférer quantitativement dans des flacons à réaction et y ajouter 20 ml d'eau. Pour la détermination à blanc, utiliser les flacons à réaction contenant 20 ml d'eau.

Placer ces flacons en face des appareils Scheibler. Ouvrir les robinets d'arrêt D1 et D2 et régler le niveau de l'eau à 3 ml dans les tubes pour les échantillons et les étalons et respectivement à 20 et 80 ml pour les blancs. Fermer le robinet d'arrêt D2.

Remplir le récipient en matière plastique de 7 ml d'HCl et l'introduire à l'aide de pinces dans le flacon à réaction contenant la prise d'essai. Veiller à ce qu'il n'y ait aucun contact entre l'acide et le sol avant que le flacon ne soit relié à l'appareil Scheibler.

Humecter les bouchons en caoutchouc de l'appareillage avec de l'eau, puis relier les flacons à réaction. Fermer le robinet d'arrêt D1 et noter à nouveau le niveau de l'eau dans les tubes. Verser doucement l'HCl sur l'échantillon en inclinant doucement le flacon à réaction. Agiter pendant 5 minutes et noter le volume lorsqu'il ne varie plus. Si le volume varie, continuer à agiter le flacon jusqu'à atteindre un volume stable. Veiller à ce que la différence entre les niveaux d'eau dans les 2 tubes ne dépasse pas 3 ml. Ceci peut être ajusté en ouvrant le robinet d'arrêt D2. A la fin de la période d'agitation, équilibrer le niveau de l'eau dans les 2 tubes et mesurer le volume de gaz produit dans le tube d'étalonnage avec une précision de 0.1 ml.

J) Calcul de la teneur en carbonate de l'échantillon

$$w(\text{CaCO}_3) = 1000 * \left(\frac{m_2}{m_1} \frac{V_1 - V_3}{V_2 - V_3} \right) * \frac{100 + w_{\text{H}_2\text{O}}}{100}$$

Où

$w(\text{CaCO}_3)$ est la teneur en carbonate, en g par kg, d'échantillon séché en étuve

m_1 est la masse de la prise d'essai (g).

m_2 est la masse moyenne des étalons de carbonate de calcium (g)

V_1 est le volume moyen du gaz carbonique produit par la réaction de la prise d'essai (ml).

V_2 est le volume moyen du gaz carbonique produit par la réaction de carbonate de calcium (ml)

V_3 est la variation en volume des déterminations à blanc (ml), cette valeur peut être négative

; $w(\text{H}_2\text{O})$ est la teneur en eau, exprimée sous forme de pourcentage en masse, sur la base d'une masse séchée, mesurée conformément à la procédure S-I-3.

Partie II : Etude géotechnique



Figure II.18 : Appareille de calcimètre.

A) Application au projet :

Masse de l'échantillon = 0.54g

Niveau initial = 0ml

Niveau final = 34.4ml

Masse de CaCO_3	volume de CO_2
100g 22400ml	$x = (34.4 \cdot 100) / 22400$
X g 34.4 ml	$x = 0.15$

Masse de CaCO_3	masse d'échantillon
0.15g 0.54g	$y = (0.15 \cdot 100) / 0.54$
Y g 100g $y = 27.7 = 28\%$	

Partie II : Etude géotechnique

❖ Commentaire

100g d'échantillon contiennent 28g de CaCO_3 : cet échantillon contient 28% de calcaire
D'après la norme [NF P94-048]. Tableau II.16 :
alors : l'intensité de l'effervescence du l'échantillon est faible de courte durée.

II-2 Essais mécaniques :

II-2.1 Essai Proctor..... [NF P 94-093] :

En [travaux publics](#), lors de la construction d'un stock de terre (un [remblai](#)), l'objectif va être de compacter le sol afin à la fois de stocker un maximum de matériau dans le volume donné, et aussi d'augmenter la stabilité du remblai pour éviter les phénomènes de [glissement](#)

Le « compactage » est le procédé le plus économique toujours utilisé dans la construction des remblais pour améliorer la densité sèche du sol.

Le « compactage » est une réduction pratiquement instantanée du volume du sol dû à la réduction des vides d'air. Il ne y'a aucune expulsion d'eau ce qui différencie le compactage de la consolidation.

L'étude du compactage s'effectue à l'aide d'un damage normalisé connu sous le nom de « l'essai Proctor ».

A) But :

L'essai Proctor a pour but de connaître la réaction d'un sol au compactage en fonction de sa teneur en eau et de déterminer sa densité sèche optimum. Il sert de référence pour les objectifs de compactages.

B) Les caractéristiques de compactage Proctor :

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits :

- Essai Proctor normale : résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé.
- Essai Proctor modifié : forte résistance souhaitée, du type chaussée autoroutière.

Partie II : Etude géotechnique

C) Principe :

a/ Essai Proctor normal :

Le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études de remblais en terre (barrages et digues).

Il s'effectue en trois couches avec « la dame Proctor normal », l'énergie de compactage est de 25 coups par couche dans le moule Proctor normal.

b/ Proctor modifié :

le compactage est beaucoup plus intense ;il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes. C'est ordinairement par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optima, densité sèche maxima) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes.

Le compactage dans ce cas la s'effectue en cinq couches successives avec « la dame Proctor modifié » l'énergie de compactage est de 55 coups de dame par couche dans le moule C.B.R (moule proctor modifié)

D) Appareillage:

Il comprend :

- Le moule Proctor constitué par un tube cylindrique métallique inoxydable de 10,15 cm de diamètre intérieur et 11,7 cm de hauteur, pourvu d'un fond et d'une hausse métallique amovibles.
- La dame Proctor normal qui est constitué par un mouton de 2,49 kg (cylindrique de 5,1 cm de diamètre) dont la hauteur de chute est de 30,4 cm.
- Du sable.
- Une étuve.
- Une règle à araser d'environ 250 mm.
- Truelles pour le malaxage.
- Des maillets, burins, couteaux, etc. pour le démoulage, ou mieux un appareil à démouler.
- Une balance sensible au gramme d'une portée maxima au moins égale à 20 kg
- Une éprouvette graduée.
- De l'eau.
- Un bac.
-

Partie II : Etude géotechnique

E) Mode opératoire:

a/ Préparation des échantillons pour essais :

Quantités à prélever : On prend une quantité de sable (Moule PROCTOR : 2.7 kg ; Moule C.B.R. : 5.5 kg) Préalablement préparé qu'on verse dans un bac.

b/ Préparation du matériel Choix du moule :

Il dépend de la grosseur D des gros grains du sol : Si $D \leq 5$ mm (et seulement dans ce cas), le moule Proctor est autorisé, mais le moule CBR est conseillé, Si $5 < D \leq 20$ mm, utiliser le moule CBR (sol conserver intact avec tous ses constituants), Si $D > 20$ mm, mais refus ≤ 25 %, l'essai se fait dans le moule C.B.R., (sol écrêté à 20 mm).

Rappel : $D > 20$ mm, mais refus > 25 %, l'essai Proctor ne peut être fait !

c/ Exécution de l'essai

Avant –propos : Pour l'essai PROCTOR NORMAL, le remplissage est fait en 3 couches. Pour l'essai PROCTOR MODIFIÉ, le remplissage est fait en 5 couches. L'ensemble de la surface doit être compactée pour chaque couche comme suit :

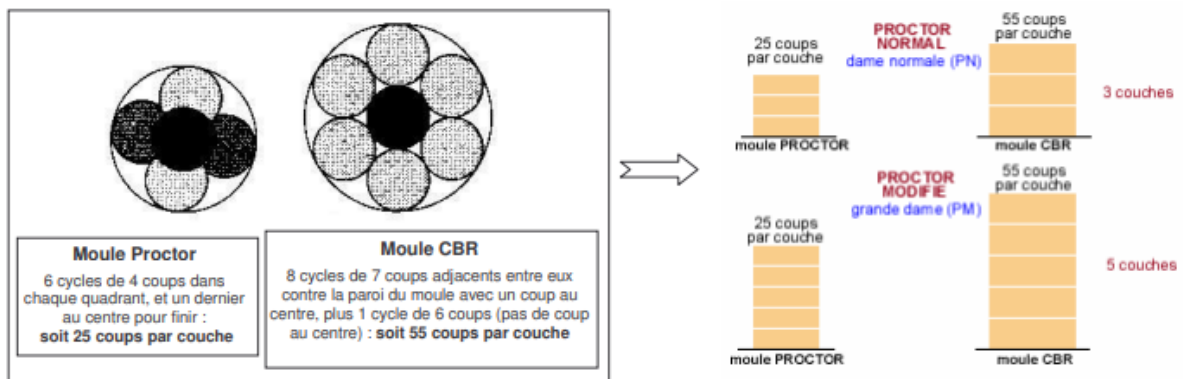


Figure II.19 : schéma explicative du nombre des coups et les couche concernant chaque moule

- Assembler moule + embase + disque d'espacement (si moule C.B.R.) + disque de Papier au fond du moule (facilite le démoulage) ; puis : Peser l'ensemble : soit P_1 , Adapter la rehausse.
- Introduire la 1ère couche et la compacter. Placer le moule sur un socle en béton d'au moins 100 kg, ou sur un plancher en béton de 25 cm d'épaisseur, pour que l'ensemble de l'énergie appliquée le soit à l'échantillon. Astuces : faire des rayures sur la surface compactée (améliore la liaison avec la couche suivante).

Partie II : Etude géotechnique

- Recommencer l'opération pour chaque couche (3 pour énergie de compactage Normal ; 5 pour Modifiée) [Figure II.20].
- Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse. Le sol compacté doit dépasser du moule de 1 cm environ. Sinon, recommencer l'essai.
- Araser soigneusement à partir du centre ; on veillera, au cours de l'arasement à ne pas créer de trous sur la surface arasé,
- Peser l'ensemble juste arasé : soit P2.
- Oter l'embase (et disque d'espacement si nécessaire) et prélever 2 prises sur l'échantillon, l'une en haut et l'autre en bas ; en déterminer la teneur en eau ω ; on prendra la moyenne des deux valeurs obtenues,
- Réitérer 4 fois le même mode opératoire en ajoutant à chaque fois 5% d'eau au matériau.
- Collecter les résultats pour tracer une courbe sur la quel il est reporté la teneur en eau en abscisses et la densité sèche correspondante en ordonnées.



Figure II.20 : Mode opératoire de proctor.

A) Détermination de la masse humide nette de l'échantillon total :

Désolidariser la rehausse du moule. Araser le matériau à l'aide de la règle. Nettoyer le moule au pinceau. Peser le moule plein. Calculer la masse humide nette en effectuant.
Masse humide nette = Masse du moule plein – Masse du moule vide

B) Calcul de la teneur en eau W de l'échantillon :

Démouler le contenu du moule. Prélever un échantillon partiel de matériau compacté situé au milieu de la 2ème couche. Peser l'échantillon partiel pour déterminer « Mh » sa masse

Partie II : Etude géotechnique

humide.

Cuire l'échantillon jusqu'à évaporation totale de l'eau.

Peser l'échantillon partiel pour déterminer sa masse sèche « Ms ». Calculer la teneur en eau « W% » en effectuant le calcul :

$$[(Mh - Ms) : Ms] = \text{Teneur en eau (W\%)}$$



Figure II.21 : les différents échantillons prélevés pour calculer « W% ».

C) Calcul de la densité humide Dh de l'échantillon:

On applique la formule suivante :

$Dh = \text{Masse Humide Nette} : \text{Volume intérieur du moule.}$

Volume du moule = $3,14 \times R^2 \times \text{hauteur}$ R étant le rayon intérieur du moule.

D) Calcul de la densité sèche Ds de l'échantillon:

On applique la formule suivante : $Ds = Dh : [1+W]$

E) Application au projet :

a/ Proctor normale :

❖ Détermination de la densité sèche

- Poids de moule vide : 6373 g.
- La teneur en eau à l'état nature $\omega = 10\%$
- Poids initial net de l'échantillon : 2700g
- Calcul le volume de moule :

Volume du moule :

$$V = \frac{(\pi \times D^2)}{4} \times H$$

Partie II : Etude géotechnique

D : le diamètre intérieur du moule.

H : hauteur de moule

$$H=11.7 \text{ cm} ; D=10.3 \text{ cm}$$

$$V = \frac{(\pi \times 10.3^2)}{4} \times 11.7$$

$$V = 974.383 \text{ cm}^3$$

- Calcul la quantité d'eau :
- Augmenter de 5% la teneur en eau ω_{nature} de notre échantillon de départ réitérer 4 fois le même mode opératoire
 - **Echantillon N°1 à $\omega = 10\%$**

✚ Calcul de la quantité d'échantillon nécessaire pour échantillon N°1

$$\left\{ \begin{array}{l} 17\text{g} \longrightarrow 2 \text{ g d'eau (d'après l'essai de la teneur en eau nature)} \\ 2700\text{g} \longrightarrow X \\ X = (2700 \times 2) / 17 = 317.64 \text{ g d'eau} \end{array} \right.$$

$$\text{Alors : } 2700 \text{ g} + 317.64 \text{ g} = 317.64 \text{ g}$$

✚ Calcul la quantité d'eau q_{eau} :

$$q_{eau} = \frac{2700 \times 5}{100} = 135 \text{ ml}$$

✚ Calcul du poids du sol humide :

Poids du sol humide = poids totale humide – poids du moule

$$P_h = P_{ht} - P_m = 7989 - 6373 = 1616$$

✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{P_h \times 100}{100 + \alpha}$$

$$\text{Avec : } \alpha \text{ la teneur en eau en \%} \longrightarrow \alpha = 100 \times \left(\frac{P_e}{P_s}\right) \quad (P_e : \text{poids d'eau})$$

$$P_s = \frac{1616 \times 100}{100 + 0.10} = 1614.38 \text{ g}$$

✚ Calcul du poids spécifique :

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V} = \frac{1614.38}{974.38} = 1.66 \text{ g/cm}^3$$

- **Echantillon N°2 à $\omega = 15\%$:**

✚ Poids échantillon net : 2807 g

✚ Calcul la quantité d'eau :

Partie II : Etude géotechnique

$$q_{eau} = \frac{2807 \times 5}{100} = 140 \text{ ml}$$

- ✚ Calcul du poids du sol humide :

$$8141 - 6373 = 1768 \text{ g}$$

- ✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{1768 \times 100}{100 + 0.15} = 1765.35 \text{ g}$$

- ✚ Calcule du poids spécifique:

$$\gamma_d = \frac{1765.35}{974.38} = 1.81 \text{ g/cm}^3$$

- **Echantillon N°3** à $\omega = 20\%$:

- ✚ Poids échantillon net : 2891 g

- ✚ Calcul la quantité d'eau :

$$q_{eau} = \frac{2891 \times 5}{100} = 144.55 \text{ ml}$$

- ✚ Calcul du poids du sol humide :

$$8268 - 6373 = 1895 \text{ g}$$

- ✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{1895 \times 100}{100 + 0.20} = 1891.22 \text{ g}$$

- ✚ Calcule du poids spécifique :

$$\gamma_d = \frac{1891.22}{974.38} = 1.94 \text{ g/cm}^3$$

- **Echantillon N°4** à $\omega = 25\%$:

- ✚ Poids échantillon net : 2919 g

- ✚ Calcul la quantité d'eau :

$$q_{eau} = \frac{2919 \times 5}{100} = 145.95 \text{ ml}$$

- ✚ Calcul du poids du sol humide :

$$8235 - 6373 = 1862$$

- ✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{1862 \times 100}{100 + 0.25} = 1857.35 \text{ g}$$

Partie II : Etude géotechnique

✚ Calcule du poids spécifique :

$$\gamma_d = \frac{1857.35}{974.38} = 1.906 \text{ g/cm}^3$$

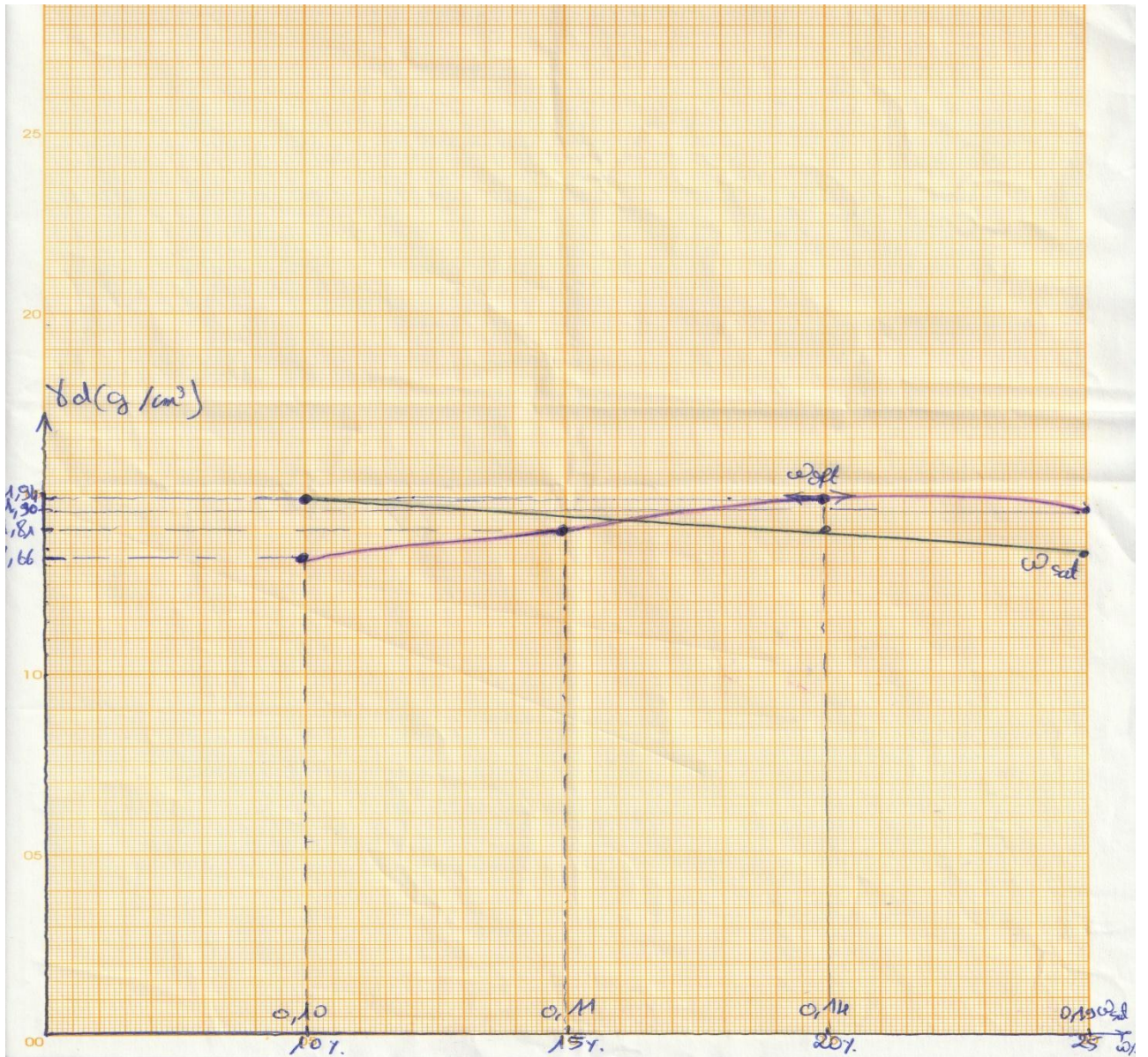
➤ Tableau :

10%	15%	20%	25%
7989	8141	8268	8235
6373	6373	6373	6373
1616	1768	1895	1862
1614.38	1765.35	1891.22	1857.35
974.38	974.38	974.38	974.38
1.66 g/cm ³	1.81 g/cm ³	1.94 g/cm ³	1.906 g/cm ³
1.66	1.81	1.94	1.90
0.19	0.14	0.10	0.11

Tableau II.17 : récapitulative des résultats de proctor normal.

Partie II : Etude géotechnique

La courbe :



Partie II : Etude géotechnique

❖ **Détermination de la teneur en eau :**

- **Méthode par calcul :** Cette méthode se fait quand ya pas l'étuve par exemple quand en est sur chantier.

Désignation $\omega\%$	N=° de la tare	P. humide total	Poids de la tare	Ph	Ps	$\omega_{opt}\%$	moyenne
10%	H	24	13	11	10.9	9.1	8.96%
	D	33	13	20	19.9	5	
15%	N3	13	6	7	6.9	14.4	
	N2	14	6	8	7.9	13	
20%	B	17	6	11	10.9	9	
	G	27	18	9	8.9	11.2	
25%	N4	23	6	17	16.9	5.9	
	B1	31	7	24	23.9	4.1	

Tableau II.18: Résultats de la teneur en eau

Exemple de calcul (la tare H) :

$$P_h = P_{ht} - P_s = 24 - 13 = 11$$

$$P_s = \frac{P_h \times 100}{100 + \alpha} = \frac{11 \times 100}{100 + 0.01} = 10.9$$

$$\omega\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{11 - 10.9}{10.9} \times 100 = 0.91\%$$

Partie II : Etude géotechnique

➤ **Méthode par l'étuve :**

Désignation $\omega\%$	N=° du le tar	P. sec total	Poids du la tar	Ps	Ph	W %	La moyene
10%	H	22	13	9	11	22.2	26.6%
	D	23.4	13	10.4	20	92.30	
15%	N3	12	6	6	7	16.6	
	N2	13	6	7	8	14.3	
20%	B	15	6	9	11	22.2	
	G	26	18	8	9	12.5	
25%	N4	21	6	15	17	13.3	
	B1	27	7	20	24	20	

Tableau II.19 : résultats da la teneur en eau étuver (proctor normal).

Exemple de calcule (la tare H) :

$$\omega\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{11 - 9}{9} \times 100 = 22.2\%$$

b/ Proctor modifié:

❖ **Détermination de la densité sèche**

- Poids de moule vide : 1085 g.
- La teneur en eau a l'état nature $\omega = 10\%$.
- Poids initiale net de l'échantillon : 5500g

Partie II : Etude géotechnique

- Calcule le volume de moule :

$$H=15.3 \text{ cm} ; D =15.5 \text{ cm}$$

$$V = \frac{(\pi \times 15.5^2)}{4} \times 15.3$$

$$V = 2885.52 \text{ cm}^3$$

- Calcul la quantité d'eau :

- Augmenter de 5% la teneur en eau de notre échantillon de départ réitérer 4 fois le même mode opératoire

- **Echantillon N°1 à $\omega = 5\%$:**

- ✚ Calcul la quantité d'eau :

$$q_{eau} = \frac{5500 \times 5}{100} = 275 \text{ ml}$$

- ✚ Calcul du poids du sol humide :

$$15800 - 10858 = 4942 \text{ g}$$

- ✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{4942 \times 100}{100 + 0.05} = 4936.53 \text{ g}$$

- ✚ Calcul du poids spécifique :

$$\gamma_d = \frac{4939.53}{2885.52} = 1.72 \text{ g/cm}^3$$

- ✚ calcul ω de saturation en fonction de poids spécifique :

$$\omega_{sat} = \gamma_w \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_{sec}} \right) = 1 \left(\frac{1}{1.72} - \frac{1}{2.42} \right) = 0.171$$

Avec : en prend la moyenne entre $\frac{\gamma_{sec}^{fin} + \gamma_{sec}^{cayeux}}{2}$

$$\gamma_{sec} = \frac{2.27 + 2.5}{2} = 2.42$$

- **Echantillon N°2 à $\omega = 10\%$:**

Poids d'échantillon net ; 5422 g

- ✚ Calcul la quantité d'eau :

$$q_{eau} = \frac{2422 \times 5}{100} = 271 \text{ ml}$$

- ✚ Calcul du poids du sol humide :

Partie II : Etude géotechnique

$$16339 - 10858 = 5481g$$

✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{5481 \times 100}{100 + 0.10} = 5475.5 g$$

✚ Calcul du poids spécifique:

$$\gamma_d = \frac{5475.5}{2885.52} = 1.90 g/cm^3$$

✚ calcul ω de saturation en fonction de poids spécifique :

$$\omega_{sat} = 1\left(\frac{1}{1.90} - \frac{1}{2.42}\right) = 0.116$$

○ **Echantillon N°3 à $\omega = 15\%$:**

Poids d'échantillon net ; 5680 g

✚ Calcul la quantité d'eau :

$$q_{eau} = \frac{5680 \times 5}{100} = 284 ml$$

✚ Calcul du poids du sol humide :

$$16667 - 10858 = 5809g$$

✚ Calcul du poids du sol sec :

$$P_s = \frac{5809 \times 100}{100 + 0.15} = 5800.2 g$$

✚ Calcul du poids spécifique :

$$\gamma_d = \frac{5800.2}{2885.52} = 2.01 g/cm^3$$

✚ calcul ω de saturation en fonction de poids spécifique :

$$\omega_{sat} = 1\left(\frac{1}{2.01} - \frac{1}{2.42}\right) = 0.087$$

○ **Echantillon N°4 à $\omega = 20\%$:**

Poids d'échantillon net : 5808 g

✚ Calcul la quantité d'eau :

$$q_{eau} = \frac{5808 \times 5}{100} = 290.4 ml$$

✚ Calcul du poids du sol humide :

$$16102 - 10858 = 5244g$$

✚ Calcul le poids du sol sec :

$$P_s = \frac{5244 \times 100}{100 + 0.20} = 5233.53g$$

✚ Calcul du poids spécifique :

Partie II : Etude géotechnique

$$\gamma_d = \frac{5233.53}{2885.52} = 1.82 \text{ g/cm}^3$$

✚ calcul ω de saturation en fonction de poids spécifique :

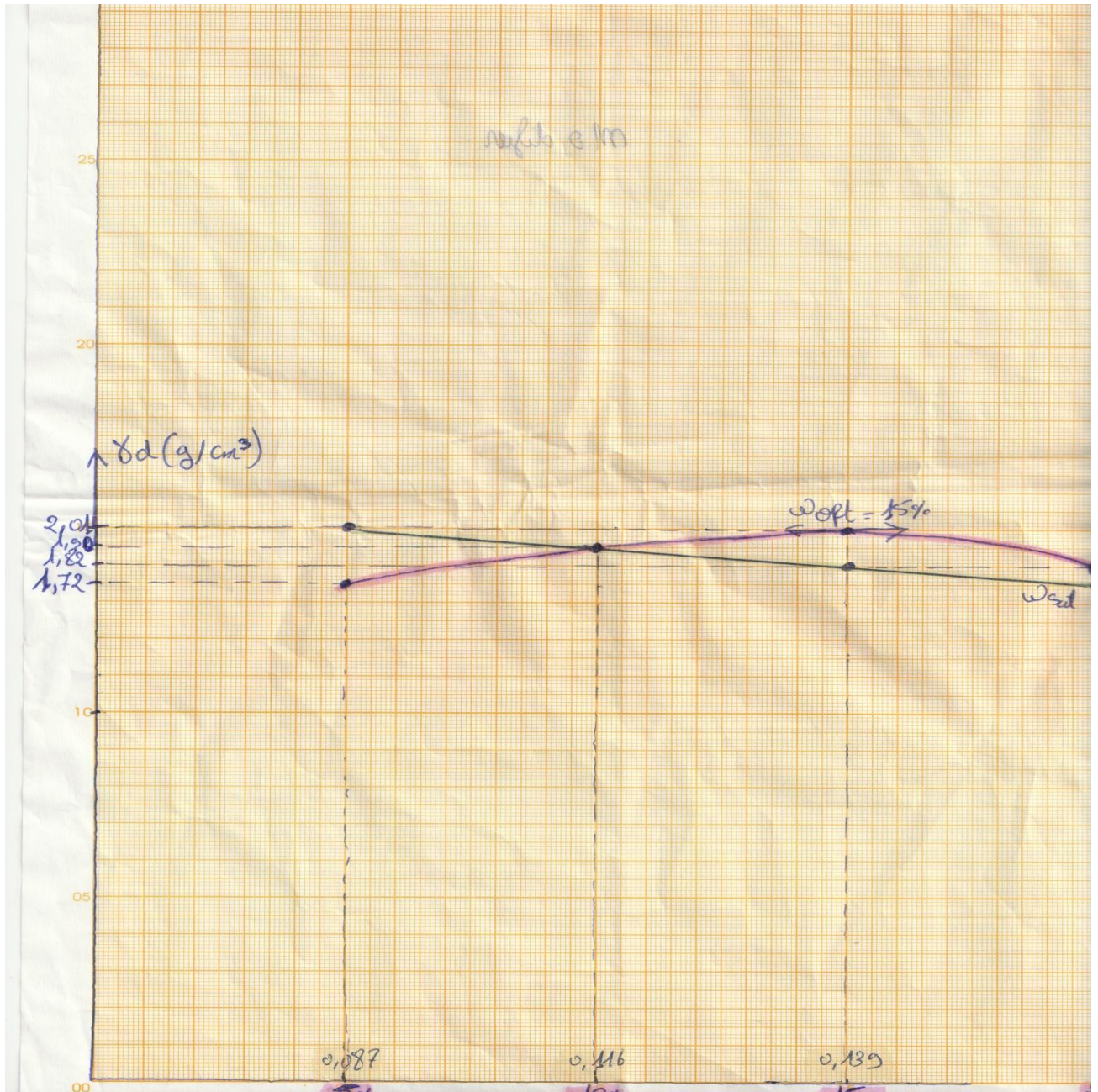
$$\omega_{sat} = \left(\frac{1}{1.82} - \frac{1}{2.42} \right) = 0.139$$

$\omega\%$ Désignation	5%	10%	15%	20%
P. total humide	15800	16339	16667	16102
Pm en [g]	10858	10858	10858	10858
Ph en [g]	4942	5481	5809	5244
Ps en [g]	4939.53	5475.5	5800.2	5233.5
V en [cm ³]	2886	2886	2886	2886
D_s	1.72	1.90	2.01	1.82
ω_{sat} %	0.171	0.116	0.087	0.139

Tableau II.20 : récapitulative des résultats du proctor modifier.

Partie II : Etude géotechnique

➤ Tracer la courbe :



Partie II : Etude géotechnique

Commentaire:

La courbe obtenue a une forme de cloche. Elle indique que dans un premier temps, lorsqu'on augmente la teneur en eau du matériau, sa densité sèche augmente, ce qui signifie que le matériau devient plus dur, plus compact et plus portant. Puis la courbe arrive à un maximum obtenu pour une valeur précise de la teneur en eau ($\omega_{opt} = 15\%$) appelée l'optimum Proctor [Figure II.22] Pour cette valeur, la densité sèche est maximale ($D_s = 2.01$).



Figure II.22 : résultat d'essai proctor modifié ($\omega = 15\%$).

Si on poursuit l'augmentation de la teneur en eau, à nouveau le sol se fragilise [Figure II.23].



Figure II.23: résultat d'essai proctor modifié ($\omega = 20\%$).

Partie II : Etude géotechnique

❖ Détermination de la teneur en eau :

➤ Méthode par l'étuve :

	N ^o du le tar	Poids du le tar En [g]	P. humide total En [g]	P_h En [g]	P. total sec En [g]	P_s En [g]	$\omega\%$	La moyenne
5%	B	6	10	4	9	3	33.3	18.26%
	A31	11.6	17	5.4	16.9	5.3	1.88	
10%	2	6	15	9	14	8	12.5	
	4	7	10	3	9.6	2.6	15.38	
15%	E	22	41	19	39	17	11.76	
	9	23	33	10	31	8	25	
20%	G	18	42	24	37	19	26.31	
	D	13	43	30	38	25	20	

Tableau II.21 : résultats da la teneur en eau étuver (proctor modifier).

Exemple de calcul (la tare B) :

$$\omega\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

❖ Conclusion :

Nous pouvons illustrer ce phénomène avec une situation que nous connaissons tous lorsque nous allons à la plage.

Loin de l'eau, le sable est totalement sec, sa teneur en eau est nulle, il ne se tient pas et il est difficile de marcher dessus.

Dans l'eau, le sable est détrempé, sa teneur en eau est maximale, et il est tout aussi difficile d'y marcher.

Mais entre les deux, là où la mer se retire, la teneur en eau du sable est proche de l'optimum Proctor, le sable est lisse, dur, compacté, et il est facile d'y marcher.

Partie II : Etude géotechnique

Tous les sols se comportent comme le sable, et on cherchera sur les chantiers à approcher l'optimum Proctor pour avoir la portance maximale du sol.⁽⁸⁾



Figure II. 24: la stabilité du sable de mer.

II-2.1 Essai CBR [NF P 94-078] :

A) Définition

L'essai CBR [California Bearing Ratio](#) nous permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols naturels et de sols compactés dans des remblais et des couches de forme, de fondations et de sous-fondations de routes et aéroports. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau pendant 4 jours. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement.

Cet essai est utilisé partout dans le monde pour déterminer l'épaisseur des couches de fondation, établir une classification des sols et permettre d'étudier la traficabilité. Il peut être réalisé in-situ et en laboratoire, mais cette dernière option n'est pas souvent réalisée. Il nous donne un des paramètres indispensable dans les essais géotechniques précédant la construction. Il y a différents types d'essais CBR à réaliser en fonction du type et de la qualité du sol.

B) Origine

Cet essai a été développé en 1929 par les ingénieurs T.E Stanton et O.J. Porter du département des routes de Californie. Il permet la classification d'un sol pour être utilisé comme sous-fondation et fondation dans la construction de routes. Pendant la deuxième guerre mondiale, le corps des ingénieurs des États-Unis l'ont également adopté pour la construction des aéroports.

Partie II : Etude géotechnique

C) But de l'essai

L'essai permet de déterminer la capacité de portance d'un sol compacté, en estimant sa résistance au poinçonnement, en fonction de son état, sa densité et son humidité, ainsi que les charges appliquées. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol sous conditions d'humidité et de densité contrôlées et du niveau de compactage variable, en permettant d'obtenir un pourcentage du rapport de portance. Cet essai CBR est utilisé pour le dimensionnement des structures des chaussées et l'orientation des travaux de terrassements.

D) Principe de l'essai :

Les essais de CBR sont effectués sur des échantillons compactés avec une teneur en humidité optimale, obtenus à partir de l'essai de compactage Proctor.

L'expression qui définit le CBR est la suivante :

Où:
$$CBR = \frac{P}{P_s} \times 100$$

- P = est la pression mesurée dans les sols du site [N / mm²].
- P_s = est la pression pour atteindre la pénétration égale sur sol standard [N / mm²].

L'équation représente le nombre CBR, qui représente le pourcentage de la charge unitaire standard. Dans la pratique, le symbole de (%) est enlevé et le rapport est représenté par un nombre entier.

Normalement le nombre CBR est basé sur le rapport de la charge pour une pénétration de 2,5 mm (0,1 pouces), cependant si la valeur de CBR à une pénétration de 5mm (0,2 pouces) est supérieure, l'essai doit être répété. Si, au cours du deuxième essai, la valeur CBR dépasse les 5 mm de pénétration, cette valeur pourra être acceptée.

Avant la détermination de la résistance à la pénétration, les éprouvettes peuvent être saturées d'eau pendant 96 heures pour simuler les conditions de travail les plus défavorables et pour déterminer sa possible expansion.

Dans la plupart des cas, 3 éprouvettes au moins sont confectionnées, auxquelles sont appliquées différentes énergies de compaction (56, 25 et 10 de coups). Le sol doit avoir une petite quantité de matériel passant par le tamis de 50 mm et une retenue dans le tamis de 20 mm inférieure ou égale à 20%.

Partie II : Etude géotechnique

Le comportement du sol est différent en fonction du degré d'altération (inaltéré ou altéré), sa granulométrie et les caractéristiques physiques (granulaires, fins et peu plastique). Donc, la méthode à suivre dans chaque cas pour la détermination du CBR est différente. - Détermination du CBR pour sols perturbés et remoulés graviers et sables sans cohésion sols cohésifs, peu plastiques et pas expansifs sols cohésifs et expansifs -Détermination du CBR de sols inaltérés -Détermination du CBR in-situ

E) Préparation des échantillons :

Il faut prendre deux ou plusieurs échantillons de sol avec un poids de 4,5 kg, dans le cas de sol fin et 5,5 kg dans le cas de sols granulaires.

Si les échantillons doivent être soumis à l'immersion, il faut d'abord prendre un échantillon représentatif du matériel afin de déterminer son humidité (égale ou supérieure à 100 g pour les sols fins et 500 g pour les sols granulaires).

Si les échantillons ne sont pas destinés à être soumis à l'immersion, l'échantillon pour la détermination de l'humidité est obtenu de la coupe des faces de l'éprouvette, après la réalisation de la pénétration de l'éprouvette et supprimer ainsi l'humidité de la couche supérieure à une épaisseur de 25 mm.

Une fois que la densité de l'échantillon est déterminée de la même manière que dans le Proctor modifié, l'échantillon est placé sur le moule.

Dans un premier temps, les moules doivent être remplis de plusieurs couches de 1 pouce d'épaisseur après compactage. Dans le premier moule, sera appliqué 56 coups pour la compaction de chaque couche, pour le deuxième 25 coups et pour le troisième 10 coups. Immédiatement après, les trois moules du CBR doivent être pesés avec les plaques de support du moule. Ensuite, le collier est enlevé du moule et est pesé avec l'échantillon compacté, le disque d'écartement et la plaque du support. Enfin, un papier filtre est placé sur la plaque du support et le moule est retourné et placé sur la plaque du support.

F) Réalisation de l'essai :

Si l'essai est réalisé sans immersion dans l'eau, un poids annulaire sera placé sur l'échantillon de telle manière à simuler la surcharge qu'aura le sol.

Si l'échantillon a été immergé pour mesurer son expansion, une fois drainé, un poids annulaire sera également placé sur l'échantillon. Le moule avec l'échantillon est placé sur la presse et le piston cylindrique descend à 1,27 mm/min à vitesse uniforme. Il faut prendre les

Partie II : Etude géotechnique

lectures de charges appliquées à différentes profondeurs de pénétration du piston, jusqu'à atteindre 0,5 pouces de profondeur.

Pour terminer, l'humidité de l'échantillon est mesurée.

Partie II : Etude géotechnique

G) Application au projet :

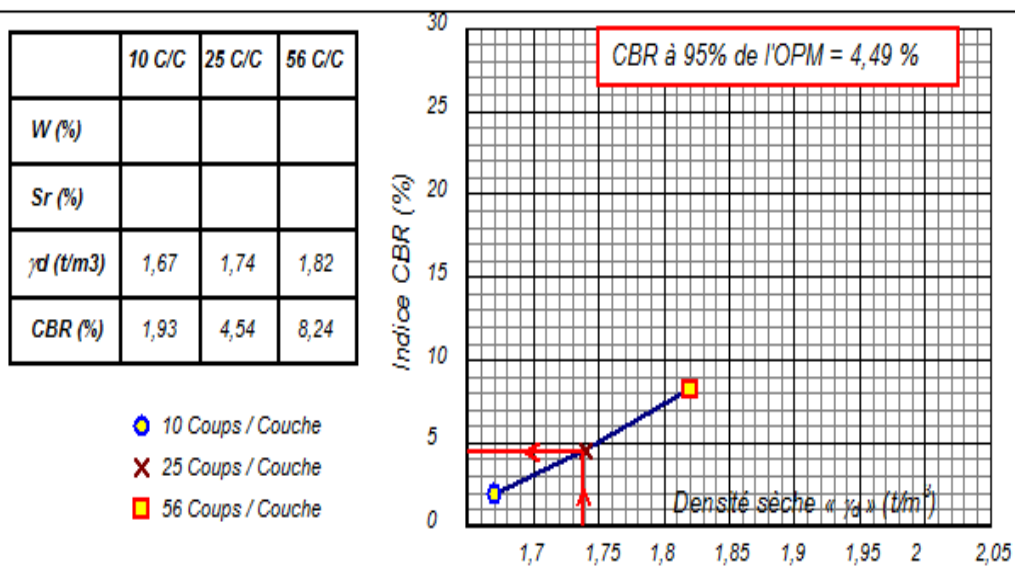
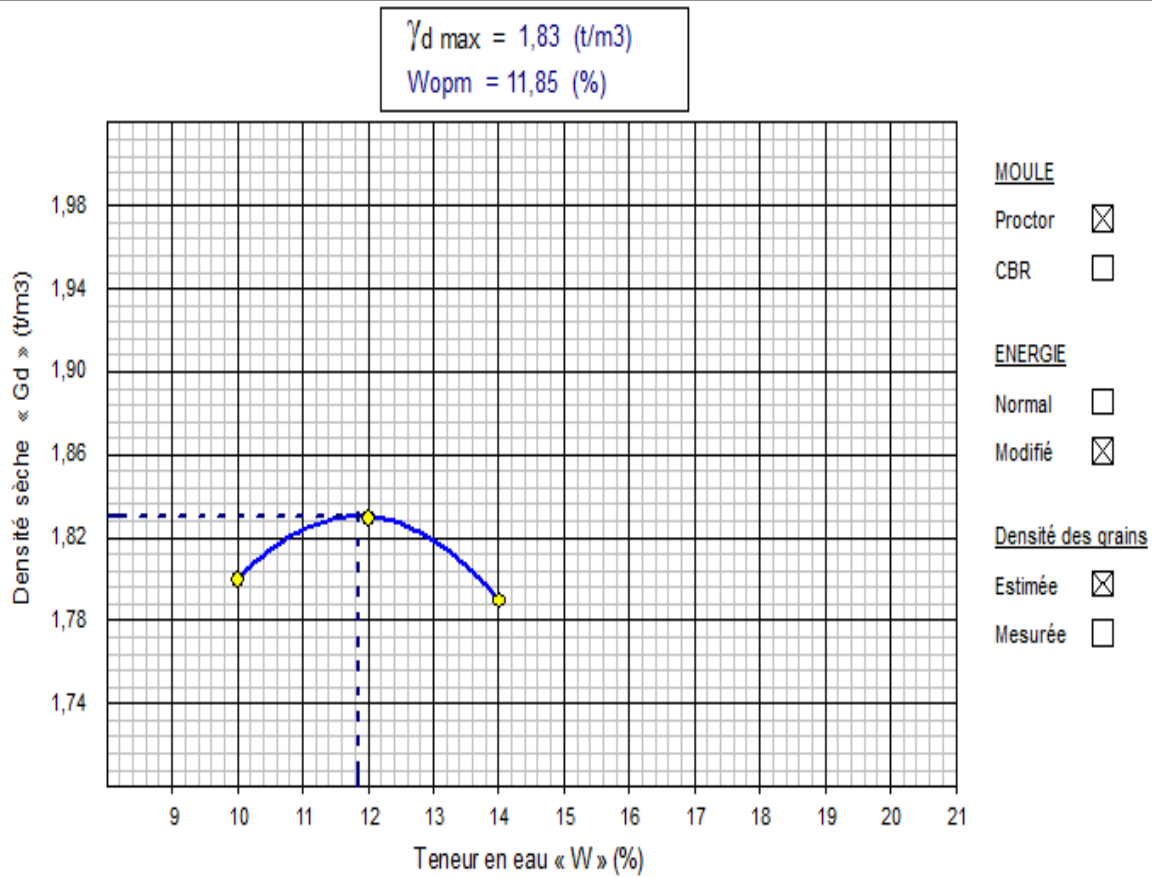


Figure II.25 : résultat de CBR au niveau de laboratoire LG3-Mostaganem

Partie II : Etude géotechnique

commentaire :

D'après le tableau des classes de sol s_i

Classe de sol (s_i)	Indice de sol (s_i)
s_0	>40
s_1	25-40
s_2	10-25
s_3	05-10
s_4	<05

Alors : CBR=4.49% alors la classe de l'échantillon est

s_4

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a été une opportunité, pour mettre en pratique nos connaissances théoriques et techniques acquises pendant notre cycle de formation l'Université.

Le projet nous a permis aussi d'être en face des problèmes techniques et administratifs qui peuvent se présenter dans un projet routier. Il était aussi une grande occasion pour savoir le déroulement d'un projet des travaux publics en général et un projet routier en particulier et par conséquent l'utilisation des logiciels de calcul et de dessin notamment le COVADIS et l'AUTOCAD ainsi que la maîtrise des nouvelles technologies dans le domaine des travaux publics.

Pour notre étude nous avons appliqué rigoureusement toutes les normes, les directives et les recommandations liés au domaine routier pour contrecarrer les contraintes rencontrées sur le terrain. Par ailleurs, le souci primordial ayant guidé notre modeste travail a été dans un premier temps la prise en considération du confort et de la sécurité des usagers de la route et dans un second temps l'économie et l'aspect environnemental lié à l'impact de la réalisation de cette route.

Ce projet nous a permis de franchir un grand pas vers la vie professionnelle.

Référence bibliographique

Partie I : étude bibliographique

[1] : WWW.parisrivegauche.com

[2] : WWW.quentesis.com 2016

[3] : [WWW.a la une .com](http://WWW.a-la-une.com)

[4] : [EMAIL.khalili3g@hotmail.fr](mailto:khalili3g@hotmail.fr)

Partie II : étude géométrique

[5] : Etude d'aménagement de la rocade côtière relié honaine ouardania sur 10 km dans la wilaya de Tlemcen.

[6] : Rocade extérieure du Grand-Tunis : Libération de l'emprise foncière à partir de 2014.

[7] : mémoire d'étudiant concernant les route de notre université de Mostaganem.

[8] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Rocade_nord_d%27Alger.

[9] : <https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1773828>.

[10] : http://dz.geoview.info/4e_rocade_doran,51065485w.

[11] : Les PFE de l'université de Mostaganem 2008-2009.

[12] : cours de route de 4ème et 5ème années.

[13] : Document de la DTP description de la wilaya de Mostaganem.

Partie II : étude géotechnique

[6] : [WWW.université science technologique.com](http://WWW.universite-science-technologie.com)

[7] : WWW.almohandiss.com

[8] : WWW.wikitp.com