

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

جامعة -البليدة-1
Université De Blida1



كلية التكنولوجيا
Faculté De Technologie

قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil

مذكرة نهاية التخرج

MEMOIRE DE MASTER EN GENIE CIVIL

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER 2 EN GENIE CIVIL

Option : GÉOTECHNIQUE

Thème :

CONCEPTION DE CHAUSSEE ET ETUDE DE GLISSEMENT LE
LONG D'UN TRONÇON DE 2500M "PK (1+400) AU PK (1+585)" DE
PROJET RELIANT LE POLE URBAIN DE SAF-SAF ET LA RN29.

- Soutenu par :

- MASSOUN Yasmine.
- FODIL Amel.

Promoteur :

Dr. GRINE Khaled.

Blida, Décembre 2021

Remerciement:

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné le courage et la patience de faire ce travail.

*En particulier, nous exprimons nos remerciements, notre appréciation et notre gratitude à nos pères, pour leurs sacrifices et leur aide, ainsi qu'à notre promoteur, le **Dr Green Khaled**, pour ses conseils et sa patience. Sans oublier, merci au jury qui a évalué notre travail*

*Nous ne voulons surtout pas oublier de remercier aussi l'ingénieur **MESBAH Ali** de la DTP "Blida" ainsi que l'ingénieur **MOKADDEM Redhouane** du CTTP "KOUBA", et les ingénieurs de cosider engineering et **LCTP "BLIDA"**, pour leurs informations et orientation ainsi qu'à leur aide morale.*

Dédicace

*En premier lieu, je remercie Allah de m'avoir permis d'acquérir une infime
partie de sa science sans limite.*

*Je dédie ce modeste travail, tout d'abord à mes chers parents pour
Leurs sacrifices et leur encouragement, qui m'ont suivi pendant toute ma
carrière d'étudiant.*

À mes frères Oussama et Mohamed Amine , ma sœur Abir.

*À mon binôme Amel, ma meilleure amie que je la prends non seulement pour
amie mais pour la sœur d'âme, avec laquelle j'ai vécu les meilleurs souvenirs.*

*À Mes chers amis et collègues : Nacera, Amel, Tinhinane, Radhia,
Roufaida.*

Yasmine

Dédicace

JE dédie ce précieux travail

À mes chers PARENTS qui m'ont donné le courage, et m'ont guidé durant

Toute ma vie pour que

Je réussisse

Que Dieu les protège

À mes frères : Mohamed et Abed el Karim

À ma sœur : Marwa

À ma Binôme : Yasmine

À mes très chers amis : Fairouz, Asmaa, Roufaïda, Tinhinane et Radhia.

AMEL

ملخص

في هذا العمل، قمنا بدراسة وتصميم جسم طريق لقسم طريق بطول 185 مترًا، على خطي إجمالي 2.5 كيلومتر، يربط بين القطب الحضري الآمن والطريق الوطني رقم 29 (ولاية البلدية)، عن طريق الطريقتان (CTTP - CBR) وأيضًا دراسة ثبات المنحدر الذي يعتمد على طريقة (Bishop)، واختيار التعزيز المناسب لاستقرارها. **الكلمات المفتاحية:** الأرصفة، الأبعاد، ثبات المنحدرات، التعزيز.

Résumé

On a réalisé dans ce travail une étude et conception d'un corps de chaussée d'un tronçon routier de 185 m, sur une linéarité totale de 2,5 Km, qui relie le pole urbaine Saf-Saf et la RN29 (Wilaya de BLIDA), par les deux méthodes (CTTP et CBR). Et aussi étude d'une stabilité de talus qui est basée sur la méthode D'équilibre limite (bishop), et le choisissez le bon confortement pour leur stabilité.

Mots clés : chaussées, dimensionnement, stabilité des talus, confortement.

Abstract

In this work, we study and design a road pavement for a road section of 185 meters, on two lines 2.5 km in total, connecting the Pôle Urbain Saf-Saf and the RN29 (Wilaya de Blida), using both methods (CTTP and CBR). And also the study of the stability of the slope which using a computing package 'Talrent.

Key words: sidewalks, dimensions, slope stability, reinforcement.

Liste des symboles

symbols	significations	Unités
IP	indice de plasticité	(%)
LA	Los angles.	(%)
MDE	Micro Deval en présence d'eau.	(%)
Ic	indice de consistance	-
IPI	indice de portance immédiat	-
W _n	teneur en eau naturelle	(%)
W _{opn}	Teneur en eau optimum proctor normal.	(%)
W _l	limite de liquidité	(%)
ρ _d	masse volumique (densité).	Kg/m ³
T _{éq}	trafic équivalent	
e	épaisseur équivalente	Cm
ICBR	indice CBR	-
P	Charge par roue égale à 6.5t (essieu 13t)	t
Log	logarithme décimal	-
N	Nombre journalier de poids lourd à vide à l'année horizon	PL/jr/sens
TJMA	Trafics prévus pour une durée de vie de 20 ans	V/jr/sens
n	année de prévision	Ans
PL	pourcentage des poids lourds	(%)
TPL _i	classe du trafic	PL/j/sens
i	Taux d'accroissement géométrique égal à 0.04	(%)
a ₁ , a ₂ , a ₃ , a ₄	Coefficients d'équivalence des matériaux des couches de la chaussée	-
e ₁ , e ₂ , e ₃ , e ₄	Les épaisseurs réelles des couches de la chaussée	Cm

A	Coefficient d'agressivité des PL par rapport à l'essieu de référence de 13t	-
T_{eq}	température équivalente.	°c
r(%)	pourcentage de risque.	(%)
$\epsilon_6 (10^\circ\text{c}, 25\text{HZ})$	Déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).	-
K_θ	Facteur lie à la température	-
K_{ne}	Facteur lie au nombre cumule d'essieux équivalents supporte par la chaussée	-
K_r	Facteur lié au risque et aux dispersions	-
K_c	Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement absorbé sur la chaussée	-
(ϵ_t, adm)	déformation admissible de traction	-
$E (10^\circ\text{c})$	Module complexe du matériau bitumineux à 10°C	MPa
$E (\theta_{eq})$	Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée	MPa
t	Fractile de la loi normale qui est en fonction du risque adopté (r %).	-
C	coefficient égal à 0.02	-
DG	dégradabilité	-
σ_6	Contrainte de flexion limite à cycles donné par l'essai de fatigue	KPa
K_d	Facteur lié aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique	-
E	module de Young	MPa
$\sigma(t,adm)$	contrainte admissible de traction	KPa

σ	contrainte de traction	KPa
ϵ	déformation horizontale (traction)	-
ϵ_z	déformation verticale (compression)	-
FR	Coefficient de fragmentation	-
C	la cohésion	KPa
φ	angle de frottement	°
U	pression interstielle d'eau	KPa
TCi	Trafic cumulé	PL/j/sens
TCEi	Trafic cumulé équivalent	essieu 13t/ durée vie
T	trafic poids lourds	PL/j/sens
Ah	accélération horizontale	
Av	l'accélération verticale	
Fs	Facture de securite	

Liste des abréviations

- BB** : Béton bitumineux. **GB** : Grave bitumineux.
- SB** : Sable bitumineux.
- BBUM** : Béton bitumineux ultra mince.
- BBTM** : Béton bitumineux très mince.
- BBM** : Béton bitumineux mince.
- BBSG** : Béton bitumineux semi-grenu.
- GC** : Grave ciment.
- GL** : Grave laitier.
- CBR** : California Bearing Ratio.
- CTTP** : Contrôle technique des travaux publics.
- GNT** : Granulats non-traités.
- GTR** : Guide de terrassement routier.
- LCPC** : Laboratoire central des ponts et des chaussées.
- SETRA** : Service d'étude technique des routes et autoroutes.
- AASHO**: American Association of state highway officials.
- T.V.O** : Tous venant de l'oued.
- RPi** : Niveau de réseau principal.
- .RP1** : Réseau principal niveau 1.
- .RP2** : Réseau principal niveau 2.
- TPLi** : Classe du trafic.
- TCEi** : Trafic cumulé équivalent.
- SPT** : Standard Pénétration Test.
- RPA** : règlement parasismique Algérien.
- SC** : sondage carotté.
- PK** : point kilométrique.
- CU** : consolidé non drainé.
- AG** : arène granitique
- MNT** : Matériaux notraités.
- MTB** : matériaux traités au bitume.
- MTLH** : matériaux traités au liant hydraulique.
- OPN** : essai de Proctor Normal.

OPM : essais de Proctor Modifié.

AG : arène granitique.

BCg : Béton de ciment.

SG : sable gypseux.

TUF : tuf calcaire.

FS : Facteur de fragilité

CW : Chemin de wilaya.

RN : Route nationale.

LNHC : Unité Oued Samar.

PDL : Pénétration dynamique lourd.

ES : Équivalent de sable.

Liste des figures

Figure 1-1: Le schéma montre les composants de la route.....	19
Figure 1- 2: Structure du corps de chaussée. [1]	20
Figure 1- 3: Chaussées souples.[2]	21
Figure 1- 4: Chaussées bitumineux. [3]	22
Figure 1- 5: Chaussées mixtes.[4]	22
Figure 1- 6: Chaussée semi-rigide. [5].....	23
Figure 1- 7: Chaussées à structure inverse. [6].....	23
Figure 1- 8: Chaussées rigides. [7]	24
Figure 1- 9: organigramme de la démarche de catalogue. [13].....	30
Figure 1- 10: Une photo d'un glissement de terrain du site du projet.	34
Figure 1- 11: Glissement plan.	35
Figure 1- 12: Glissement circulaire ou rotationnel simple.	35
Figure 1- 13: Glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.....	36
Figure 1- 14: Drainage de talus par barbacanes.	38
Figure 1- 15: Principe du clouage.....	39
Figure 1- 16: Mur de soutènement.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 2- 1: zone d'étude (Google Earth). [20].....	42
Figure 2- 2: Carte Géologique de la Région de Meftah (E = 1 / 50.000). [21]	44
Figure 2- 3: Diagramme climatique.[23]	46
Figure 2- 4: Les zones de sismicité algérienne (situation sismique de Mefah).....	46
Figure 4- 1: Carte climatique de l'Algérie.	61
Figure 4- 2: Classe TPLi pour RP1.....	62
Figure 4- 3: Les épaisseurs de chaque couche.....	71
Figure 4- 4: Saisie les données de structure.	72
Figure 4- 5: Le résultat final.	72
Figure 4- 6: Les épaisseurs de chaque couche.....	73
Figure 4- 7: Saisie les données de structure.	74
Figure 4- 8: Le résultat final.	75
Figure 5- 1: Vue général de la zone de glissement (côté aval).....	78
Figure 5- 2: Facture de sécurité à l'état statique.....	80
Figure 5- 3: L'effet de séisme sur la facture de sécurité.....	80
Figure 5- 4: Modélisation de talus avec le système de confortement "cas statique".	822
Figure 5- 5: Modélisation de talus avec le système de confortement "cas d'un séisme".	822

Liste des tableaux

Tableau 1- 1: Valeur des coefficients d'équivalences a. [11]	28
Tableau 1- 2: Les types de réseau. [14]	31
Tableau 1- 3: Structures disponibles dans le catalogue.[15].....	31
Tableau 1- 4: Classes de portance de sol.[17].....	32
Tableau 1- 5: Classes de portance de sol. [18].....	33
Tableau 1- 6: Classes de portance de sol-support. [19]	33
Tableau 2- 1: Données climatiques de Meftah.[22]	45
Tableau 3- 1: nature géologique du sol pour chaque sondage carotté.....	50
Tableau 3- 2: Résultats de l'essai de pénétromètre dynamique en fonction de profondeur. ...	51
Tableau 3- 3: Résultats de l'essai piézométrique.	52
Tableau 3- 4: Résultats de l'essai Standard Pénétration Test.	52
Tableau 3- 5: Les résultats obtenus à partir de l'analyse granulométrique.....	53
Tableau 3- 6: Résultats de l'essai Limites d'Atterberg.....	53
Tableau 3- 7: Résultats des sondages carottes.	54
Tableau 3- 8: Résultats de l'essai de cisaillement a la boîte de Casa grande.	54
Tableau 3- 9: Résultats de l'essai de compression à l'odomètre.....	55
Tableau 3- 10: Résultat de résistance à la compression.....	55
Tableau 3- 11: classification des sols des SCD06 et SCR02 selon le GTR.....	56
Tableau 3- 12: Les résultats des analyses des carrières.	57
Tableau 4- 1: Structure disponible dans le catalogue.	60
Tableau 4- 2: Durée de vie fonction du type de matériau, niveau du réseau et structure adoptée.	60
Tableau 4- 3: pluviométrie de la zone.	61
Tableau 4- 4: Sélection de la température équivalente.	61
Tableau 4- 5: Coefficient d'agressivité A fonction du type de matériau, niveau du réseau et structure.	63
Tableau 4- 6: La valeur de risque pour réseau RP1.....	63
Tableau 4- 7: Classes de portance des sols fonction de l'indice CBR.	64
Tableau 4- 8: Classes de sols supports fonction des valeurs de E.....	64
Tableau 4- 9: Épaisseur la couche de base fonction de la classe de portance pour là les matériaux non traités.	64
Tableau 4- 10: Représente la construction de la chaussée.	67
Tableau 4- 11: Tableau représente les épaisseurs calculées	67
Tableau 4- 12: Performances mécaniques des matériaux bitumineux "Catalogue Algérien des chaussées neuves".	68
Tableau 4- 13: Valeur de T en fonction de r.	69
Tableau 4- 14: Données de calcul pour la méthode CTTTP.	70
Tableau 4- 15: Représentations des résultats.	73

Tableau 4- 16: Données de calcul la méthode CBR.....	73
Tableau 4- 17: Représentations des résultats.	75
Tableau 5- 1: Les couches et sont propriétés géotechniques.	79
Tableau 5- 2: Récapitulation les résultats de facture de sécurité par TALREN v4.....	81
Tableau 5- 3: Les résultats de facture de sécurité après le renforcement.	833

Sommaire

<i>Remerciement:</i>	I
<i>Dédicace</i>	II
<i>Dédicace</i>	III
ملخص.....	IV
Résumé.....	IV
Abstract	IV
Liste des symboles	V
Liste des abréviations.....	VIII
Liste des figures	X
Liste des tableaux	XI
Sommaire	XIII
Introduction Générale :	16

Chapitre 1 : Généralités sur les routes

1-1- INTRODUCTION:.....	18
1-2- LA ROUTE :.....	18
1-3- COMPOSITIONS DES ROUTES:	18
1-3-1-Les accotements:.....	18
1-3-2-La plate-forme:	18
1-3-3-L'assiette:	18
1-3-4-L'emprise:.....	18
1-3-5-La chaussée:.....	19
1-4- CHAUSSEE :.....	19
1-4-1- Structure de la chaussée :	19
1-4-2- TYPES DE CHAUSSEE:.....	21
1-5- MATERIAUX CONSTITUANT LA CHAUSSEE :	24
1-6- DIMENSIONNEMENT DE CORPS DE CHAUSSEE :	26
1-7- LES PRINCIPALES METHODES DE DIMENSIONNEMENT :.....	27
1-8- TERRASSEMENT:.....	33
1-9- GLISSEMENT DE TERRAIN:	34
1-10- LES CAUSES DE GLISSEMENT:.....	34
1-11- DIFFERENTS TYPES DE GLISSEMENT:	35
1-13- LES TYPES DE METHODES DE CALCUL DE STABILITE DES TALUS :	36
1-14- LES METHODES DE CONFORTEMENT DES MOUVEMENTS DE TERRAINS :	38
1-15- CONCLUSION :	40

CHAPITRE 2 :PRESENTATION DU SITE

2-1- INTRODUCTION:.....	42
2-2- SITUATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET:	42
2-3- GEOMORPHOLOGIE DE LA ZONE DE PROJET :	42
2-4- GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE:.....	43
2-4-1- Géologie régionale :	43
2-4-2- Hydrogéologie :.....	44
2-5- CLIMAT :.....	45
2-6- SISMICITE:.....	46
2-7- CONCLUSION:.....	47

Chapitre 3: Etude Géotechnique

3-1- INTRODUCTION:.....	49
3-2- CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE IN-SITU :	49
3-3- ESSAIS EN LABORATOIRE:.....	52
3-3-1-Essais Physiques:	53
3-3-2-Essais mécaniques:.....	54
3-4- CLASSIFICATIONS DES SOLS DES SONDRAGES CAROTTES SELON LE GTR:	56
3-4-1- Sondage SCD-06 :	56
3-5- CARRIERES:.....	57
3-6- CONCLUSION:.....	57

Chapitre 4 : Dimensionnement de corps de chaussé

4-1- INTRODUCTION:.....	59
4-2- METHODE DE DIMENSIONNEMENT DE CORPS DE CHAUSSEE :.....	59
4-3- LA MODELISATION DES STRUCTURES TYPE PAR ALIZE -LCPC :.....	68
4-3-1-Calcul de la déformation admissible ϵ_{adm} pour les matériaux traités au bitume :	68
4-3-2-Calcul de la déformation admissible sur le sol support (ξ_z , adm) :.....	69
4-4- VERIFICATION DES VALEURS PAR LE LOGICIEL ALIZE-LCPC :.....	69
4-4-1- Defenition de logiciel Alize-LCPC :	69
4-5- CONCLUSION:.....	75

Chapitre 5: Etude de glissement

5-1- INTRODUCTION:.....	78
5-2- PRESENTATION DE LOGICIEL :.....	78
5-3- LES PARAMETRES DE CALCUL :	78
5-4- PROPRIETES GEOTECHNIQUES DE SOL:.....	78
5-5- MODILISATION DE TALUS:	79
5-6- ETUDE DE CONFORTEMENT:.....	81
5-7- CONCLUSION:.....	83
Conclusion Générale :.....	844
Reference	
<i>Annexes</i>	

Introduction Générale :

Le développement des compétences en communication est un outil essentiel pour la politique d'aménagement et de développement de tout pays. L'Algérie a connu une forte croissance démographique depuis son indépendance, ce qui a nécessité la poursuite du développement d'infrastructures de base essentielles, notamment de transport. Pour répondre aux besoins exprimés par la population. Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire vise à une étude géotechnique de la partie de la route qui relie le Pôle urbain et la route RN29 au niveau de "Pk 0+000 à PK 2+500".

Ainsi, notre travail se divise en deux parties : la première partie c'est une étude de corps de chaussée et détermination de leurs dimensions par les deux méthodes (CBR et CTTP) principalement avec contrôle des déformations à l'aide de logiciel alize-LCPC.

Dans la deuxième partie, On a étudié la stabilité d'un talus en déblai

Notre mémoire se compose de 5 chapitres et ils sont les suivants :

- Le premier chapitre est un aperçu général de la thèse qui comprend toutes les définitions et une étude bibliographique de la route (structure, type, matériaux de construction, méthode de détermination des dimensions),
- Le deuxième chapitre nous avons fait une présentation du site étudié les types de structures géologiques, hydrogéologiques ainsi que climatiques et la sismicité,
- Le troisième chapitre contient tous les essais "laboratoire et in-situ" qui ont fonctionné sur le site et leurs résultats en plus des différentes classifications de sols,
- Le quatrième chapitre présente l'étude de la chaussée et, ses dimensions et la vérification par le logiciel alize-LCPC.
- Le cinquième et dernier chapitre, nous avons présenté une étude de talus en calculant le coefficient de sécurité dans les états statique et sismique et en présentant le renforcement proposé pour la stabilité de la pente.

Chapitre 1 :
Généralités sur les routes

1-1- Introduction:

La route est un support de communication composé de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs différentes qui doivent supporter les charges des véhicules (principalement ceux des poids lourds) et résister aux facteurs d'agressivité externes qui sont en étroite relation avec l'environnement, renfermant la structure. Les travaux de réalisation de route ont souvent recours à des opérations de terrassement, pouvant entraîner la réalisation de talus instables, nécessitant des confortements afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage (la route).

Dans ce qui suit, nous présenterons la définition de la route, ses composantes, la structure et les différents matériaux constituant le corps de chaussée, types de chaussée, méthodes de son dimensionnement, ainsi que les différentes méthodes d'études de la stabilité des talus et les moyens de les renforcer.

1-2- La route :

Une route est une voie terrestre (au niveau du sol ou sur viaduc), aménagée pour permettre la circulation de véhicules. On peut aussi définir une route, comme une voie de communication qui permet de connecter deux agglomérations. Cette voie doit être aménagée pour assurer la circulation des véhicules.

1-3- Compositions des routes:

La route se compose des éléments suivants (**Figure 1-1**) :

1-3-1-Les accotements:

Il fait partie de la route et lui est adjacent des deux côtés. Il n'est pas destiné à la circulation piétonne et est utilisé pour les situations d'urgences telles que les ambulances et les véhicules de police.

1-3-2-La plate-forme:

La plate-forme, la surface de la route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et éventuellement les terre-pleins. Elle peut aussi désigner la structure qui supporte la chaussée.

1-3-3-L'assiette:

C'est la superficie occupée par le terrain routier avec l'ajout d'une tranchée en cas d'excavation.

1-3-4-L'emprise:

Il s'agit de la largeur totale désignée pour contenir la route et toutes ses dépendances (surface de la route, tranchée, talus de remblai).

1-3-5-La chaussée:

La chaussée c'est la partie principale de la route, où elle est préparée et pavée pour les voitures. Dans ce qui suit, cette partie sera développée et donnée avec plus de détails.

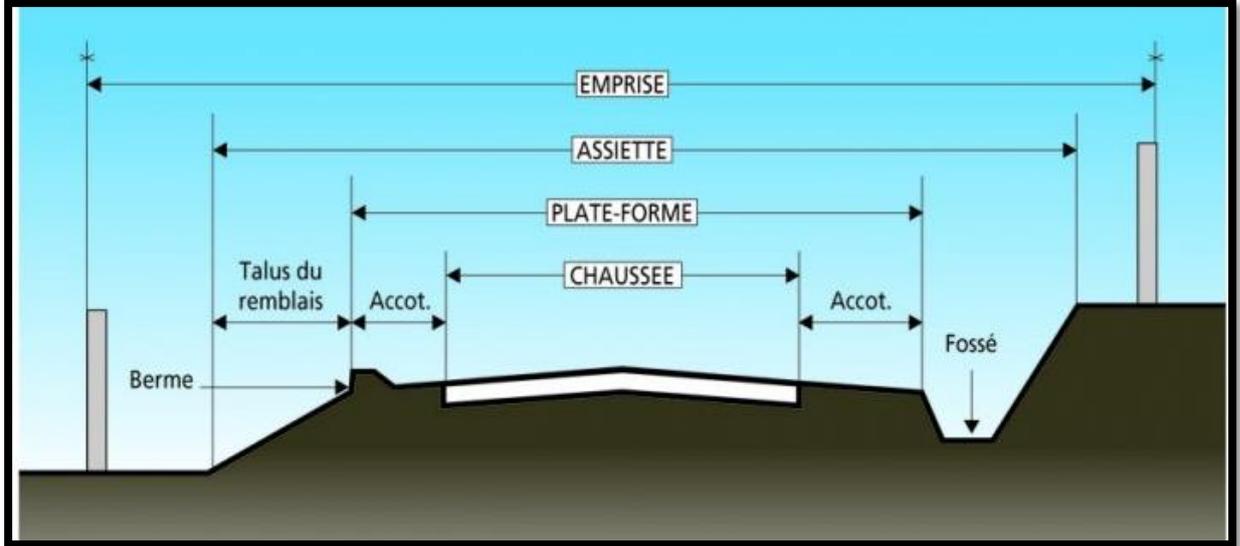


Figure 1-1 : Le schéma montre les composants de la route.

1-4- Chaussée :

La chaussée est la partie médiane d'une voie de communication affectée à la circulation des véhicules, son rôle est de répartir les charges mécaniques sur le sol support, quelles que soient les conditions ,et elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire.

1-4-1-Structure de la chaussée :

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en oeuvre sur un ensemble appelé plateforme support de chaussée constituée du sol terrassé (sol support) surmonté généralement d'une couche de forme. (**Figure 1-2**).

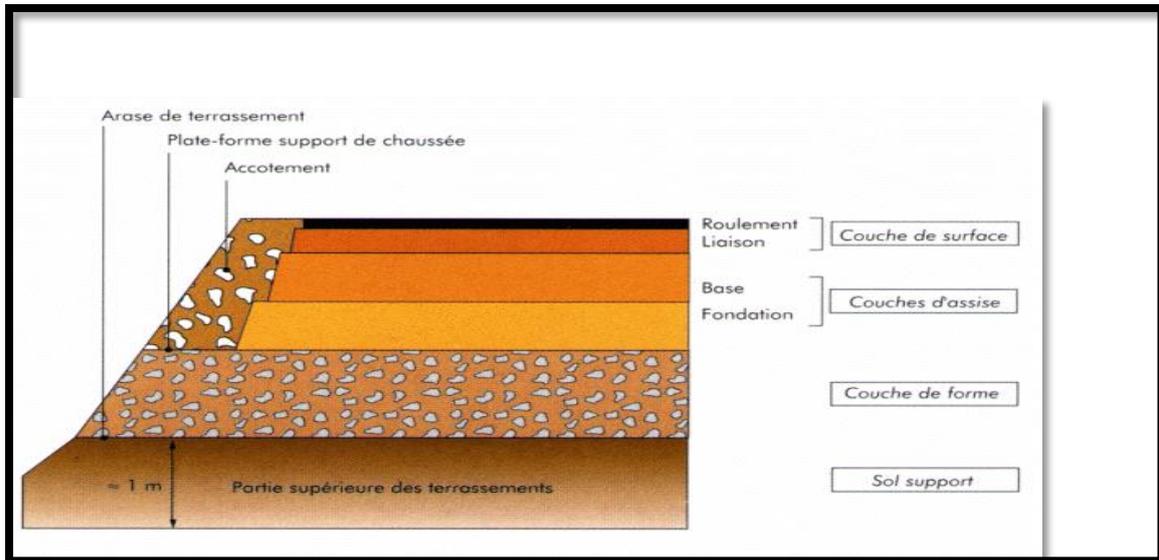


Figure 1- 2: Structure du corps de chaussée. [1]

Les différentes couches constituantes sont détaillées ci-dessous :

➤ **Sol support :**

Il est généralement surmonté d'une couche de forme pour former un ensemble appelé plateforme support de chaussée. Cette dernière sert, comme son nom l'indique, de support au corps de chaussée.

➤ **Couche de forme :**

La couche de forme est un élément de transition qu'on introduit entre le sol support et les couches de sol afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol. Cette couche, ne fait pas partie intégrante de la chaussée, elle est constituée soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités au liant hydrauliques. Elle a plusieurs fonctions, lors des travaux, elle protège le sol support, contribue au nivellement et permet la circulation des engins de chantier. Elle permet de rendre plus homogènes les caractéristiques du sol terrassé et de protéger ce dernier du gel.

➤ **Couche d'assise :**

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches : La couche de fondation, surmonté de la couche de base.

• **Couche de fondation :**

Elle est constituée de gravier concassé 0/40 d'une épaisseur de 20 cm. Elle répartit la pression sur le support, afin de maintenir les déformations.

• Couche de base :

Elle est constituée de gravier 0/25 et bitume elle est d'une épaisseur de 20 cm, cette couche supporte exactement l'action des véhicules à l'intérieur de laquelle la pression élevée s'atténue avant d'être transmise à la couche de fondation.

➤ Couche de surface :

À son tour la couche de surface a généralement une structure bicouche.

• La couche de roulement :

C'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.

• La couche de liaison :

L'apport structural de cette couche est secondaire sauf les chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée.

1-4-2- Types de chaussée:

Il existe 6 catégories de chaussées routières. Elles sont données dans ce qui suit :

1-4-2-1- Les chaussées souples :

Ce sont les structures dites traditionnelles composées d'une couche bitumineuse (BB) mince (< 15 cm) pour la couche de roulement, et d'un corps de chaussée, assise, constitué d'une ou plusieurs couches de grave non traité (GNT). L'épaisseur globale de la chaussée est comprise entre 30 et 60 cm. (Figure 1-3).

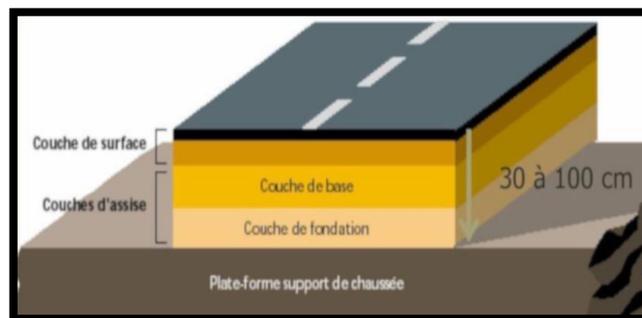


Figure 1- 3: Chaussées souples.[2]

1-4-2-2- Les chaussées bitumineuses épaisses :

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou plusieurs couches.

L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm. (Figure 1-4).



Figure 1- 4: Chaussées bitumineux. [3]

1-4-2-3- Les chaussées mixtes:

Elles sont composées d'une couche de roulement et d'une couche de base (10 à 20 cm) en matériaux bitumineux sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40cm). Le rapport K de l'épaisseur des matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée est de l'ordre de 0,5. Ces structures allient le comportement des deux types de matériaux et limite la vitesse de remontée des fissures. (Figure1-5).

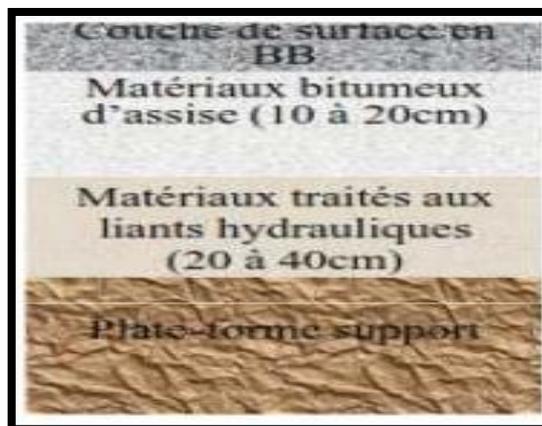


Figure 1- 5: Chaussées mixtes.[4]

1-4-2-4- Les chaussées semi-rigides :

Ce sont les chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques. Elles comportent une couche de surface bitumineuse et une ou deux couches d'assise en matériaux traités au liant hydraulique (MTLH) dont l'épaisseur est de 20 à 50 cm. (Figure 1-6).

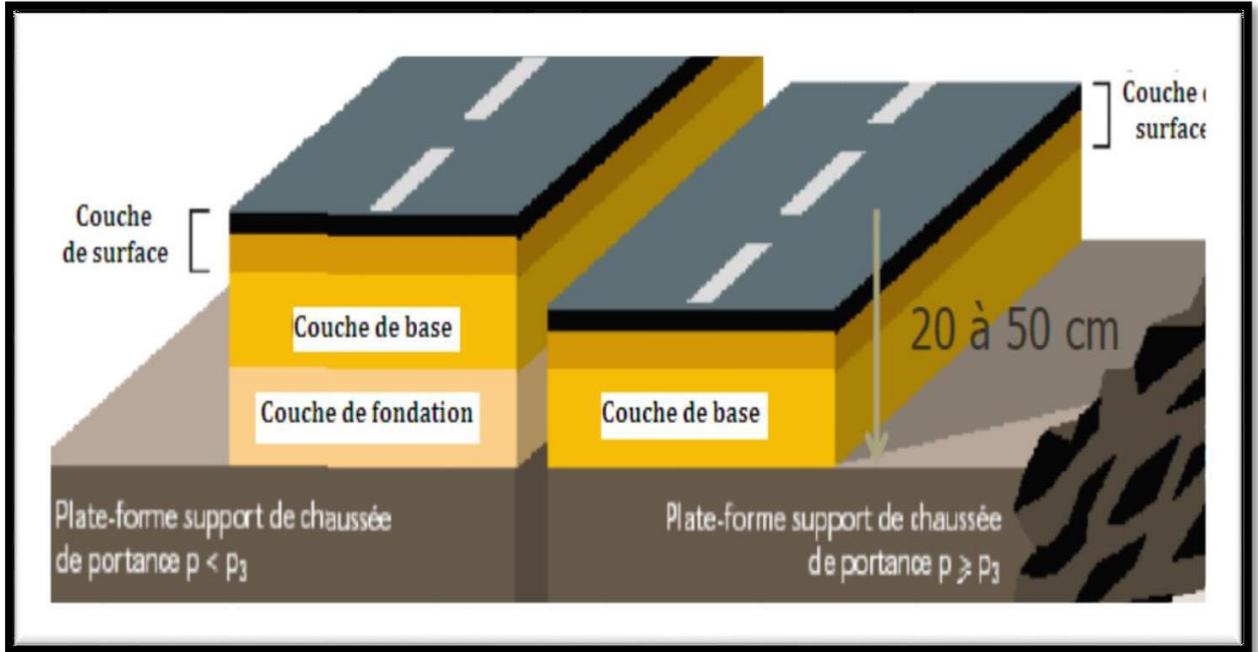


Figure 1- 6: Chaussée semi-rigide. [5]

1-4-2-5- Les chaussées à structure inverse :

Leur structure est composée de couches bitumineuses (surface et une couche d'assise) sur une couche de GNT (de 10 à 12 cm d'épaisseur) reposant sur une couche de fondation en MTLH. L'interposition d'une couche granulaire (absente de la structure mixte comportant également une couche de matériaux traités au liant hydrocarboné et une couche de MTLH) permet de réduire efficacement la vitesse de remontée des fissures. Cette structure est une configuration utilisée pour les chaussées autoroutières. (Figure 1-7).

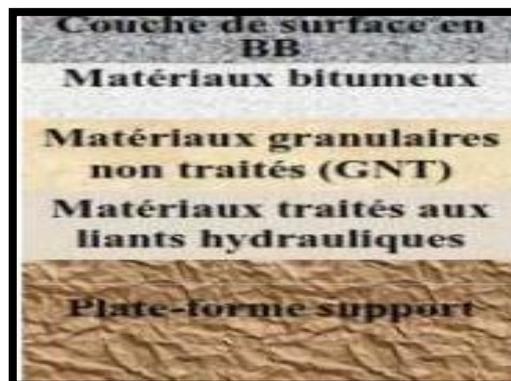


Figure 1- 7 : Chaussées à structure inverse. [6]

1-4-2-6- Les chaussées rigides (en béton de ciment) :

Ces chaussées comportent une couche de base de roulement en béton de ciment de plus de 12 cm. La couche de béton repose sur une couche de fondation qui est soit en MTLH, soit en béton maigre, soit une couche drainante (GNT ou autre) ; soit elle repose directement sur le support de chaussée avec interposition d'une couche bitumineuse d'assise (environ 5 cm). La structure est constituée de dalles goudonnées (prise en compte des joints et bords de dalles dans le dimensionnement), ou de béton armé continu. (Figure 1-8).



Figure 1- 8: Chaussées rigides. [7]

1-5- Matériaux constituant la chaussée :

Les matériaux de chaussée sont constitués d'un mélange de granulats et d'un liant, hydraulique ou hydrocarboné (à l'exception de la GNT). Ces produits de caractéristiques notablement différentes selon le liant utilisé rentrent dans la constitution des chaussées souples, rigides ou semi-rigides, mixtes ou inverses.

1-5-1- Les sols :

Les sols ayant des propriétés géologiques différentes, des matériaux meubles, des sédiments et des matériaux argileux, nous devons utiliser des classifications spécifiques en fonction de plusieurs paramètres qui sont les suivants :

Les paramètres de comportement mécanique et les paramètres d'état.

➤ La nature :

Les paramètres de condition dépendent de la nature hydrologique du site, puisque le sol est sensible à l'eau la solubilité dans l'eau est le seul paramètre de condition dans la classification.

➤ Paramètres de comportement mécaniques :

Les paramètres de comportement dans la classification sont :

- Los Angeles (LA).
- Micro Deval (MDE) en présence d'eau.

- Facteur de fragilité (FS).

➤ **Paramètres d'état :**

- La teneur en eau.
- $W = M_w/M_s$.
- La teneur en eau optimum Proctor.
- L'indice de consistance Cette valeur est calculée à partir des résultats des essais de limites d'Atteerberg.
- L'indice de plasticité Cette valeur est calculée à partir des résultats des essais de limites d'Atteerberg.
- L'indice IPI.

1-5-2-Les matériaux rocheux :

Ce sont des matériaux naturels issus de toutes les roches sédimentaires et métamorphiques. La nature rocheuse doit d'abord être déterminée pour déterminer les familles de roches avant de les utiliser comme remblai ou substrat. Ensuite, le comportement du matériau est déterminé. Cela peut être déterminé par détermination des propriétés mécaniques du matériau spécifiées par des coefficients suivants :

- Le coefficient de Los Angeles (LA).
- Le coefficient Micro-Deval (MDE).
- Densité ρ_d (densité).
- Facteur de fragmentation FR et dégradabilité DG.
- Teneur en élément soluble (phénomène de dissolution).

1-5-3-Les sols organiques et sous-produits industriels :

Le sol organique est un sol provenant l'accumulation et de la décomposition progressives de matériaux végétaux et animaux, au fil des années.

1-5-4-Les granulats:

Le granulats est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension de dimension comprise (entre 0 mm et 80 mm) : destiné la composition du corps de chaussée, peuvent être naturels ou artificiels. Leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

1-5-5-Les enrobés :

Le terme enrobé bitumineux est une appellation générique, comprend des graviers, du sable et du goudron ou du bitume, chaque type d'enrobé est défini par la nature et le dosage de ses composants par ses performances particulières et par la couche de la chaussée.

1-5-6-Matériaux à liant hydraulique:

Est un liant qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau. Il est utilisé dans l'industrie routière afin de répartir la pression uniformément sur toute la surface des particules. Il y a 2 types de liant hydraulique, traite (GL, Bcg, GC), et non traite (GNT, TUF, SG).

1-6- Dimensionnement de corps de chaussée :

Le corps de chaussée est dimensionné pour supporter la circulation du trafic pour une durée déterminée. Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude, ceci est lié au choix des matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et déterminer l'épaisseur de chaque couches. Tout cela en fonction de paramètres très fondamentaux suivants :

- Le trafic.
- L'environnement de la route.
- La durée de vie.
- Le sol support.
- Matériaux.
- Le risque de calcul considéré.

1-6-1-Le trafic:

Le trafic principalement le trafic poids lourds, est l'un des paramètres prépondérants dans la conception des structures. Il intervient dans le choix des matériaux, le trafic gouverne les choix suivants :

- De trafic poids lourds « T » à la mise en service, résultat d'une étude de trafic et de comptages sur les voies existantes.
- De trafic cumulé sur la période considérée (la durée de vie).

1-6-2-Environnement:

L'environnement extérieur de la chaussée est important pour déterminer les dimensions, telles que la teneur en eau, qui détermine les propriétés du sol, et la température, qui affecte de manière significative les propriétés des matériaux bitumineuse et la fissuration des matériaux traités avec des liants hydrauliques.

1-6-3-Le sol support:

La plate-forme d'appui de la chaussée forme un sol avec des terrasses naturelles dont dépendent les structures de pavage, surmontées d'un substrat si nécessaire pour absorber les charges. Les systèmes de base sont définis par :

- De la nature et de l'état du sol.
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

1-6-4-Durée de vie:

La durée de vie est en étroite relation avec la stratégie d'investissement retenue par le maître de l'ouvrage. Elle correspond à un investissement initial moyen à élever et des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction du niveau de réseau principal considéré.

1-6-5- Caractéristique des matériaux:

Les matériaux utilisés en corps de chaussées doivent résister à des sollicitations appliquées par les véhicules ou poids lord.

1-6-6-Le risque de calcul considéré :

La fiabilité correspond à la probabilité de rupture de la chaussée, à l'issue de la durée de vie de service. Cette probabilité est fonction du niveau de service visé. Cette probabilité est fonction du niveau de service visé par l'administration routière.

1-7- Les principales méthodes de dimensionnement :

Il faut suivre les méthodes suivantes pour dimensionner la chaussée et déterminer l'épaisseur des couches :

1-7-1 Méthode d'AASHO (American Association of State Highway and Transportation Officials):

La méthode de l'AASHTO c'est un essai important effectué les faits en matière de la route basée sur des observations du comportement. Son rôle est d'établir une relation entre les caractéristiques structurales de la chaussée et l'évolution dans le temps du niveau de qualité des chaussées. [8]

1-7-2-La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) :

Le guide technique LCPC c'est une méthode pour conception et de dimensionnement des chaussées, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent en fonction de la température, ses objectifs principaux sont : fixer une stratégie technico-économique valable pour l'ensemble du réseau des routes nationales, et d'éviter des calculs laborieux.[9]

1-7-3-Méthode de C.B.R : (Californie – Baring – Ratio) :

L'essai CBR, il est réalisé la caractéristique mécanique des sols naturels et de sols compactés dans des remblais et des couches de forme. Il mesure la résistance d'un sol et le gonflement du sol, après l'avoir submergé dans l'eau pendant 4 jours. Il nous permet de calculer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement. [10]

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

Avec :

- P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t).
- Log : logarithme décimale.
- N : Trafic poids lourds par jour par sens à année horizon.
- I : indice CBR du sol support.

L'épaisseur de chacune des couches est donnée par la relation suivante :

$$E_q = \sum e \text{ (réelle)} * a$$

Avec :

- a1 × e1 : couche de roulement.
- a2 × e2 : couche de base.
- a3 × e3 : couche de fondation.

Où :

- e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.
- a1, a2, a3 : coefficients d'équivalence.

Les valeurs usuelles du coefficient d'équivalence (a) suivant le matériau utilisé sont données dans le tableau suivant. (**Tableau 1-1**).

Tableau 1- 1: Valeur des coefficients d'équivalences a. [11]

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux	2
Grave ciment ou grave laitier	1.5

Grave bitume	1.2 à 1.7
Grave concassée ou gravier	1.0
Grave roulée – grave sableuse et T.V.O	0.75
Sable de ciment	1 à 1.2
Sable	0.5
Tuf	0.6

1-7-4-Méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves

(CTTP) :

La Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves combine les deux approches théorique et empirique. Le catalogue, utilise chacun des paramètres suivants, Trafic, matériaux, sol support et environnement. Ces paramètres constituent les données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction de cela nous permet choisir une structure de corps de chaussée.

(Figure 1-9).[12]

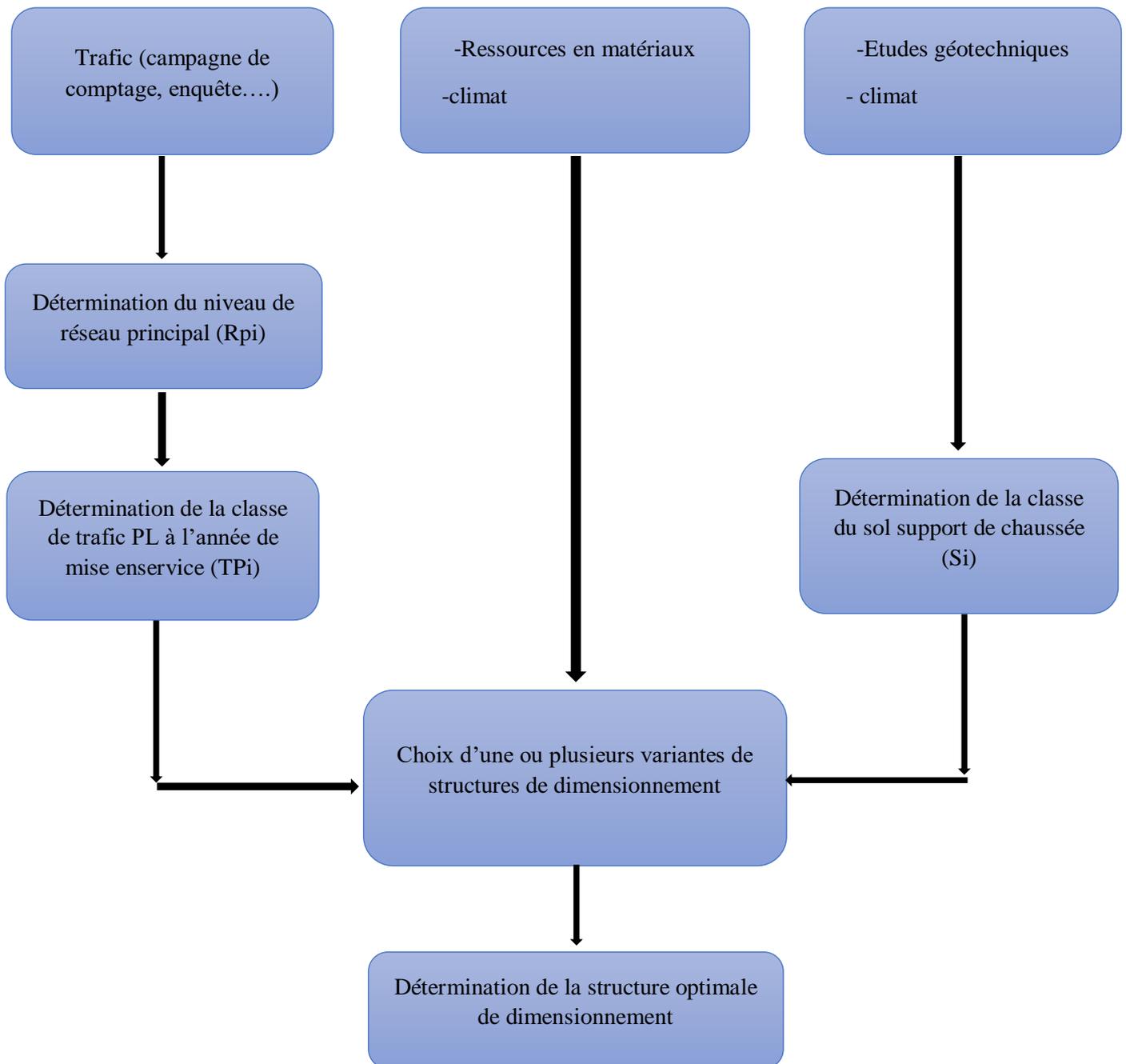


Figure 1- 9: organigramme de la démarche de catalogue. [13]

1-7-4-1- Détermination du type de réseau : (choix du type de réseau) :

Le catalogue définit deux catégories de réseau de chaussées : l'une relative au réseau principal de niveau 1 RP1 et l'autre relative au réseau principale de niveau 2 RP2. (Tableau 1-2), (Tableau 1-3).

Tableau 1- 2: Les types de réseau. [14]

Le réseau principal de niveau 1 (RP1) comporte	Le réseau principal de niveau 2 (RP2)
-Liaison comportant un trafic supérieur à 1500 véhicules/jour.	-Liaison comportant un trafic inférieur à 1500véhicules/jour.
-Liaison reliant deux chefs - lieu de wilaya.	-Ce réseau est composé de route nationale (RN) de chemin de wilaya (CW) et liaison reliant l’Algérie au pays riverains.
-Liaison présentant un intérêt économique /ou stratégique.	

Tableau 1- 3: Structures disponibles dans le catalogue.[15]

Niveau de réseau Principal (RPi)	Matériaux types	Structures
RP1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT GB/TUF, GB/SG, GB/AG
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL BCg/GC
RP2	MAT (matériaux non traités)	GNT/GNT ,TUF/TUF AG/AG,SG/SG
	MTB (matériaux traités aux bitumes)	SB/SG

GB : grave bitume, GC : grave ciment, GL : grave-laitier, GNT : grave non traitée, BCg : béton de ciment goujonné, AG : arène granitique, TUF : encrouement calcaire SB : sable bitume, SG : sable gypseux.

1-7-4-2-Détermination de la classe du trafic :

La classe de trafic (TPLi) est donnée en fonction du nombre de poids lourds par sens sur la voie la plus chargée à l’année de mise en service.

$$TPLi = \% PL \times TJMA/2 (PL/j/sens)$$

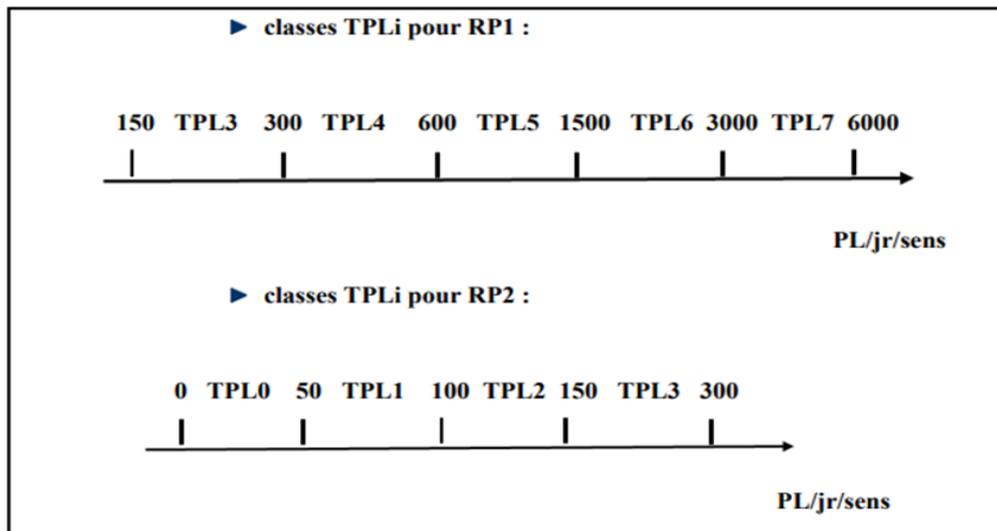


Figure 1-10 : Classes TPLi pour RP1 et RP2.[16]

1-7-4-3-Détermination de la portance de sol-support de chaussée :

Le tableau regroupe quatre (4) classes de portance des sols en fonction de leur indice CBR. (Tableau 1-4).

Tableau 1- 4: Classes de portance de sol.[17]

Classe du sol	Indice C.B. R
S0	>40
S1	25 – 40
S2	10 – 25
S3	5 – 10
S4	< 5

1-7-4-4-Les zones climatiques :

Les zones climatiques de l'Algérie sont mentionnées dans le tableau suivant : (Tableau 1-5).

Tableau 1- 5: Classes de portance de sol. [18]

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	Climat	Région
I	> 600	Très humide	20	Nord
II	350-600	Humide	20	Nord, hauts Plateaux
III	100 – 350	Semi-aride	25	Hauts Plateaux
IV	> 100	Aride	30	Sud

1-7-4-5- Détermination de la classe de portance de sol-support pour le dimensionnement de la chaussée :

Le classement établi par le CTTP sur 4 portances des sol support : S3, S2, S1, et S0 On été déduit à partir des classes de série d'essais en laboratoire sur une famille de sols prédominant en Algérie. A partir de l'indice ICBR on peut calculer le module de la portance (E) avec la relation empirique suivante : $E(\text{MPa})=5 \times I_{\text{CBR}}$. (**Tableau 1-6**).

Tableau 1- 6: Classes de portance de sol-support. [19]

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

1-8- Terrassement:

Le site du projet étant en zone montagneuse, des travaux de terrassement sont nécessaires pour paver la voie. Ces travaux entraînent l'extraction de matériaux (déblais) ou la sédimentation du terrain (remblais), ce qui conduit à la création des talus de pente variable, qui peuvent faire l'objet à l'instabilité naturellement ou par l'action humaine, c'est ce qu'on appelle un glissement de terrain qui sera l'étudier ci-dessous.

1-9- Glissement de terrain:

Il s'agit d'un déplacement relatif d'un volume du sol par rapport au reste du sol selon une surface de glissement quelconque. (**Figure 1-11**).



Figure 1- 11: Une photo d'un glissement de terrain du site du projet.

1-10- Les causes de glissement:

Les glissements de terrain se produisent lorsque la pente (ou une partie de celle-ci) subit des processus qui changent son état à instable. Ceci est dû à une diminution de la résistance au cisaillement du matériau de la pente, à une augmentation de la contrainte de cisaillement supportée par le matériau ou à une combinaison des deux. Un changement dans la stabilité d'une pente peut être causé par un certain nombre de facteurs, agissant ensemble ou seuls. Les causes naturelles des glissements de terrain comprennent :

- Montée des eaux souterraines ou augmentation de la pression interstitielle.
- Augmentation de la pression hydrostatique dans les fissures et les fractures.
- Perte ou absence de la structure végétative verticale, des éléments nutritifs du sol et de la structure du sol.
- Érosion du sommet d'une pente par les rivières ou les vagues de la mer.
- Le changement des caractéristiques physiques et mécanique.
- Tremblements de terre qui peuvent déstabiliser directement la pente ou affaiblir le matériau et provoquer des fissures qui finiront par produire un glissement de terrain.
- Les glissements de terrain sont aggravés par les activités humaines, telles que :
Déforestation, vibrations provenant par machines ou de la circulation, et les travaux de terrassement.

1-11- Différents types de glissement:

Les types de glissement sont distingués en fonction de la géométrie de la surface de rupture comme suivants :

- Glissement plan.
- Glissement rotationnel ou circulaire.
- Glissement rotationnel simple.
- Glissement rotationnel complexe.

1-11-1- Glissement plan:

Le mouvement se fait le long d'une surface plane, il se produit surtout en milieu rocheux. La ligne de rupture suit une couche mince ayant de mauvaises caractéristiques mécaniques, et sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. (Figure 1-12).

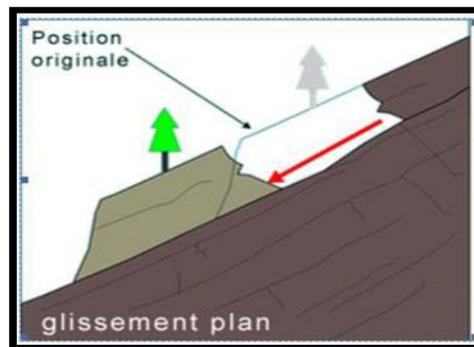


Figure 1- 12: Glissement plan.

1-11-2- Glissement rotationnel:

Il est divisé en deux parties, qui sont données dans ce qui suit :

1-11-2-1-Glissement rotationnel simple :

La surface de rupture à une forme simple et peut être assimilée à un cylindre dans la plupart des cas. (Figure 1-13).

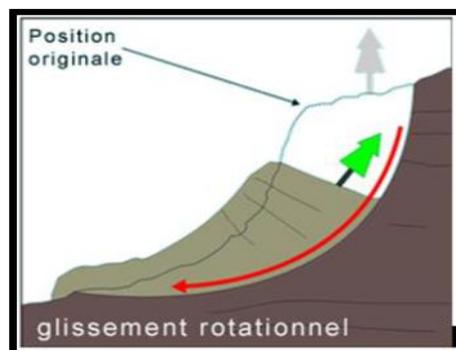


Figure 1- 13: Glissement circulaire ou rotationnel simple.

1-11-2-2- Glissement rotationnel complexe :

Ce glissement est provoqué par le glissement précédent il est emboîté les uns dans les autres, ce qui entraîne ainsi des glissements successifs. (Figure 1-14).

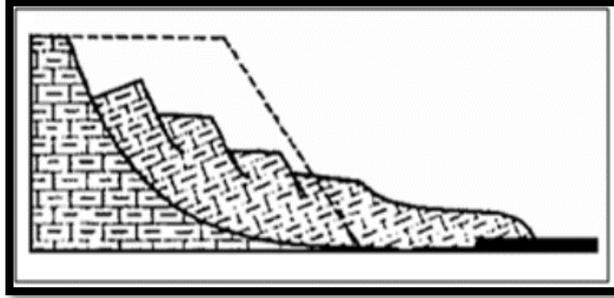


Figure 1- 24: Glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.

1-12- Notion de facteur de sécurité :

En un point de la surface de rupture potentielle, le facteur de sécurité (local) est défini comme le rapport de la résistance au cisaillement du sol τ_{\max} à la contrainte de cisaillement réelle τ agissant sur la surface : $F_{\text{local}} = \tau_{\max} / \tau$.

Ces rapports peuvent avoir l'une des valeurs suivantes :

- ❖ FS=1 : les terrains sont en équilibre critique.
- ❖ FS>1 : les terrains sont stables (il n'y a pas de glissement).
- ❖ FS<1 : les terrains sont instables (il y a un glissement).

1-13- Les types de méthodes de calcul de stabilité des talus :

L'analyse de la stabilité de la pente est un facteur très important, car l'instabilité de la pente peut entraîner des conséquences catastrophiques. Les méthodes de calcul de la stabilité du terrain par rapport au glissement peuvent être subdivisées en trois catégories : méthode de l'équilibre limite, méthode des caractéristiques des contraintes et méthode des éléments finis.

1-13-1-Méthode d'équilibre limite :

En pratique, la méthode de l'équilibre limite est utilisée, Le plan de glissement est divisé en plusieurs tranches verticales infiniment petites. Nous avons remarqué :

- Méthode simplifiée de JANBU (1965).
- Méthode de FELLENIUS [1927].
- Méthode simplifiée de BISHOP.

1-13-1-1-Méthode simplifiée de JANBU [1965] :

Les hypothèses sur lesquelles cette méthode est basé, sont données dans ce qui suit :

- La méthode suppose une surface de glissement quelconque (non circulaire).

- Elle suppose que les forces entre les tranches sont horizontales. (Masekanya, 2008)

Dans cette méthode les forces verticales inter-tranches sont supposées nulles. Le facteur de sécurité est calculé à partir d'équilibre des forces horizontales, puis un facteur de correction empirique est multiplié par ce coefficient de sécurité pour pallier au manque de l'effet des forces verticales inter-tranches. L'équilibre des moments n'est pas satisfait. (Mendjel, 2012)

Ce qui aboutit à l'équation suivante :

$$Fm = \Sigma [C' L + (N - UL) \tan \varphi'] / \cos \alpha \Sigma W \tan \alpha$$

Avec :

N : composantes normale et tangentielle de la force agissant à la base de la tranche

W : poids total de la tranche de largeur b et de hauteur h

α = angle que fait la base de la tranche avec l'horizontale

l = longueur du plan de glissement de la tranche

1-13-1-2-Méthode de FELLENIUS [1927] :

Cette méthode néglige les forces qui existent entre les tranches, elle consiste à admettre que, la résultante de E_i et X_i est égale à E_{i+1} et X_{i+1} avec une ligne d'action qui coïncide. Cette résultante parallèle à la base de la tranche. Quand les tranches adjacentes ont différentes inclinaisons de la base, cette hypothèse simplificatrice conduit à des erreurs. (Abramson et al., 2002). La méthode satisfait l'équilibre des moments, et le coefficient de sécurité a la forme linéaire suivante :

$$F = \Sigma C' L + [W \cos \alpha - UL] \tan \varphi' \Sigma W \sin \alpha$$

Avec :

W : poids total de la tranche de largeur b et de hauteur h

α = angle que fait la base de la tranche avec l'horizontale

L = longueur du plan de glissement de la tranche

1-13-1-3- Méthode simplifiée de BISHOP [1955] :

Les hypothèses sur lesquelles cette méthode est basé, sont données dans ce qui suit :

- La méthode suppose une surface de glissement circulaire.
- Elle néglige les forces verticales entre les tranches.

La méthode de Bishop vérifie l'équilibre des moments ainsi que l'équilibre vertical pour chaque tranche, mais elle néglige l'équilibre horizontal des forces. En se basant sur l'équation

d'équilibre vertical et d'après l'hypothèse faite sur les forces entre les tranches, et après simplification nous aurons l'équation suivante : (Masekanya, 2008).

$$Fm = \Sigma [C' L \cos \alpha (W - UL \cos \alpha) \tan \varphi'] / ma \Sigma W \sin \alpha$$

Avec : $ma = \cos \alpha (1 + \tan \alpha \tan \varphi' / Fm)$

Avec :

W : poids total de la tranche de largeur b et de hauteur h

α = angle que fait la base de la tranche avec l'horizontale

L = longueur du plan de glissement de la tranche

1-13-2- Méthodes des éléments finis :

La méthode des éléments finis permet de discrétiser le plan vertical du talus en des éléments caractérisés par un comportement élasto-plastique, et des propriétés physiques variables. Le calcul peut être mené avec tout programme général d'éléments finis, ou avec les logiciels spécialisés dans la modalisation géotechnique.

1-14- Les Méthodes de confortement des mouvements de terrains :

Dans ce qui suit, nous allons discuter de quelques méthodes de renforcements.

1-14-1- Dispositifs de drainage :

L'eau a fréquemment un rôle moteur dans les glissements de terrain, l'objectif du drainage est de contrôler la teneur en eau du sol et de réduire les pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture. Le drainage peut évacuer l'eau de la zone ou encore éviter l'alimentation en eau de la zone par collecte et canalisation des eaux de surface par les méthodes suivantes les fosses, drains verticaux, subhorizontaux. (Figure 1-15).



Figure 1- 35: Drainage de talus par barbacanes.

1-14-2- Construction de renforts :

Le rôle de ces systèmes est d'armer la terre et de limiter son mouvement, et leurs types sont les suivants :

1-14-2-1-Le clouage :

Ce dispositif transfère par un système d'accrochage (pieux, clous) les efforts du volume en mouvement vers le volume fixe. (Figure 1-16).

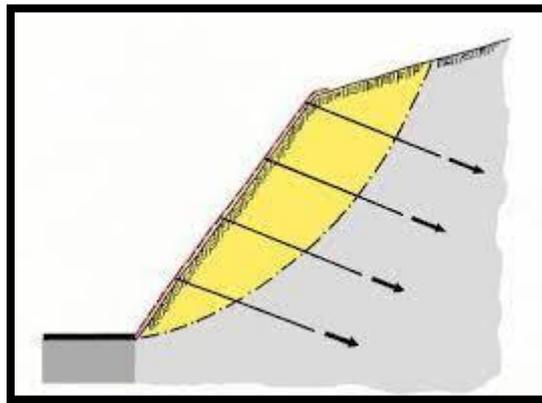


Figure 1- 46: renforcement par clouage.

1-14-2-2-Le soutènement :

C'est un écran rigide ou souple qui bloque le volume en mouvement. Rigide, les efforts mis en jeu sont importants et peuvent amener à la rupture. (Figure 1-17).

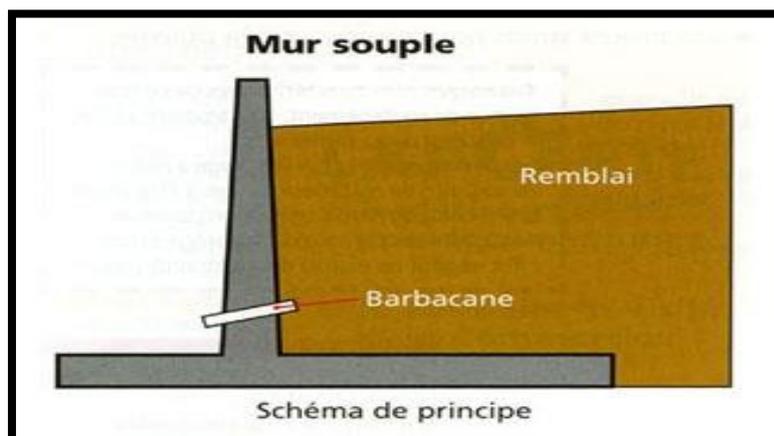


Figure 1- 17: Mur de soutènement.

1-14-3- Systèmes de terrassement :**1-14-3-1-Remblai de pied :**

Le chargement en pied du glissement contrebalance les forces motrices du volume en mouvement.

1-14-3-2-Allègement en tête :

Terrasser la tête du glissement allège la masse du volume en mouvement, et donc diminue les forces motrices. Parfois, il est possible de déclencher un glissement de façon précoce pour mieux le contrôler, ou de construire des infrastructures assurant que son déclenchement n'aura pas de conséquences catastrophiques. Le problème est que, le plus souvent, l'établissement d'une réponse face à un risque de mouvement prend des mois et demande les connaissances de dizaines d'ingénieurs le coût financier est donc très important. Il n'existe pas réellement à l'heure actuelle de solution générale au contrôle des glissements de terrain.

1-15- Conclusion :

D'après ce qui a été présenté dans ce chapitre, les résultats sont les suivants :

- La chaussée est une structure composite constituée de couches matériaux granulaires. Le bon choix des matériaux formant la couche est nécessaire pour la stabilité du corps de pavage et la résistance de la route.
- Il existe de nombreuses méthodes de dimensionnement des chaussées et leur application peut varier selon le type de chaussée et les principales méthodes sont : La méthode LCPC, la méthode CBR, la nouvelle méthode du catalogue de conception des chaussées et la méthode AASHO, et les principales méthodes de mesure utilisées en Algérie pour les dimensions des ouvrages sont la méthode CBR et la Méthode du Nouveau Catalogue des Dimensions des Chaussées (CTTP). Dans notre étude, nous avons travaillé avec les méthodes CTTP et CBR.

Chapitre 2 :
Présentation du site

2-1- Introduction:

Pour la réalisation d'un projet routier, les reconnaissances géomorphologiques, climatiques géologiques, hydrogéologiques et des informations sur la sismicité de la région renfermant le projet sont d'une grande importance. Dans ce chapitre, des informations détaillées sur la situation géographique du site, la géomorphologie, le climat, l'hydrogéologie, géologie hydrogéologie et la sismicité du site sont données dans ce qui suit.

2-2- Situation géographique du projet:

Le projet Saf-Saf est situé dans la municipalité de Meftah (W) de Blida. La zone traversée se situe entre :

- Latitude $36^{\circ} 37' 10''$ Nord.
- Longitude $3^{\circ} 13' 20''$ Est.

Le tronçon routier étudié [Pk 1+400 au Pk 1+585] se situe dans le tronçon global [PK 0+2500] (figure 2-1).



Figure 2- 1: zone d'étude (Google Earth). [20]

2-3- Géomorphologie de la zone de projet :

La zone étudiée se compose de deux parties :

- Plaine de la Mitidja : environ 3000 hectares.
- La partie montagneuse : Elle est située dans la partie sud de la ville de Meftah. Qui fait la partie de l'Atlas Tellien qui traverse tout le Maroc à ses côtés Nord, elle se caractérise par son l'altitude culmine à 509m.

2-4- Géologie et hydrogéologie:

2-4-1- Géologie régionale :

La région de Meftah appartient au domaine de l'Atlas tellien (Tell septentrional), elle comprend plusieurs zones stratigraphiques et tectoniques différenciées, d'après la carte géologique de l'ARBA à l'échelle de 1/ 50.000, notre zone d'étude correspond au flanc nord du grand anticlinal atlasique : elle est marquée par le ZEROULA culminant à 501m et par l'oued ARBATACH qui traverse cette partie du sud au nord. L'érosion a décapé profondément la surface structurale primitive en mettant à nu sous le Pliocène et le Miocène les terrains Eocène, Crétacé et Primaire.

La grande extension des terrains Tertiaires cache sur la plus grande partie le prolongement occidental de la chaîne du Djurdjura. Les terrains Primaires apparaissant, sous forme essentiellement de lambeau, au centre et à l'Est de la carte de l'ARBA, ils sont formés essentiellement de quartzites micacés et de phyllades riches en débris organiques. Au barrage de HAMIZ, les schistes et les poudingues à quartz du Permien forment une écaille pincée dans les schistes lustres qui traversent l'Oued ARBATACH pour disparaître au niveau de la rive gauche sous les terrains Éocènes (**Figure 2-2**).

Légende :

Quaternaire : correspond aux marnes et cailloutis de maison carrée (comblement de la Mitidja) d'âge Pliocène récent et Quaternaire ancienne alluvion récente et de terrasses de vallées Pléistocène. Eboulis, dépôts de pentes et enfin par les alluvions actuelles.

Paléocène : se compose des calcaires organogènes graveleux, outre des nummulites et orthographiques, de petits globorotalia, de petite alvéoline.

Eocène : les formations d'âge éocène sont très répandues, les terrains présentant deux faciès assez distincts à savoir :

- ❖ Alternance de marne et grés calcarifères, en contact avec les couches argilo gréseuses du crétacé supérieur.
- ❖ Au voisinage de calcaire jurassique se montrent surtout les marnes barréoles et les calcaires schistoïdes avec les poudingues.

L'assise inférieure est généralement constituée par des sédiments de mer tranquille, formée par des marnes et de lits de calcaires ou grés calcarifères.

L'assise supérieure présente fréquemment de grandes accumulations de conglomérats, poudingues ou brèches.

Miocène : cette formation appartient au Miocène post-organique, il est subdivisé en deux

parties principales :

A la base, le Cartennien rattaché au Burgalien ou à l'Aquitano Burdigalien.

Au-dessus, repose souvent le Vindobonien en discordance sur le niveau précédent, à l'intérieur duquel s'individualisent souvent l'Helvétien et le Tortonien.

Caratenien (m1a) : on distingue de bas en haut la succession suivante :

1-Grés et poudingues (Cartenien inférieur) : les poudingues à ciment de couleur rouge, ont empreinteleurélémentauxquartzitesducrétacéetdel'Éocènesupérieur.

2 - Grés (Cartenien moyen) : c'est des grés littoraux roses ou verdâtres, associés à quelques petits bancs de cailloutis et des lentilles de marne à cristaux de gypse.

3 - Marnes et argiles (m1c) (Cartenien supérieur) : sont dures d'une couleur gris bleuté en profondeur et gris à rarement jaunâtre en surface.

Helvetien : représenté par des marnes et calcaires à Mélobesies, elles sont de couleur jaunâtre en surface, grise en profondeur avec huîtres.

Pliocene (P2q) : est formé par des poudingues représentant la phase marine progressive de la fin de Pliocène inférieur, sont surmontés en concordance par des dépôts continentaux d'âge villafranchien.

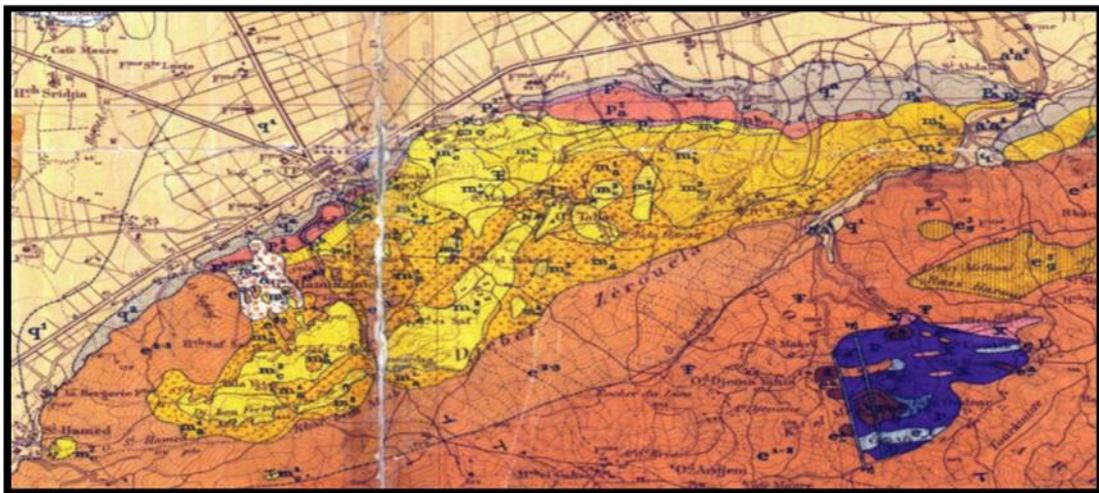


Figure 2- 2: Carte Géologique de la Région de Meftah (E = 1 / 50.000). [21]

2-4-2- Hydrogéologie :

2-4-2-1-Hydrogéologie régionale :

La compréhension des connaissances hydrogéologiques de la zone concernée par ce projet permettra de mieux comprendre le problème des inondations dans les vallées fluviales pendant la saison des pluies, ce qui nécessite un drainage horizontal et vertical. Le niveau de la nappe phréatique doit être déterminé pour éviter les remontées d'eau lors des travaux de terrassement et de mise en service des infrastructures routières. Il y a deux eaux différentes :

- Eaux superficielles : habituellement les eaux de ruissellements (eaux de pluie) peuvent être collecter au niveau des talwegs.
- Eaux souterraines : les eaux souterraines sont soit de résurgence (sources), soit des eaux profonds dans le niveau de 10,4 m par rapport le terrain naturel.

2-4-2-2-Hydrogéologie local :

Sur la division d'étude les levés piézométriques effectués pour édicté la profondeur de la nappe phréatique et les source d'eaux.

L'étude hydrogéologique montre que la profondeur de la nappe phréatique est 9.03m par rapport au terrain naturel et quelques oueds à débit intermittent, sillonnent la commune de MEFTAH, nous citons :

- L'oued Boutrig et l'oued Mokhfi qui limite la commune à l'Ouest.
- L'oued Barik à l'Est.

2-5- Climat :

Meftah possède un climat méditerranéen caractérisé par un été très sec et doux, et un hiver pluvieux et frais. Les précipitations se caractérisent souvent en averses accompagnées parfois de grêle (Surtout en hiver), et parfois il y a des chutes de neige bien que rares en raison de la basse altitude caractérisant la commune (Moins de 500 mètres).Pendant l'été, le temps est beaucoup plus sec et chaud, avec de très rares orages, et caractérisé par de fortes chaleurs provoquées par des vents du sud-ouest appelés Scirocco. La température dépassant souvent les 40 degrés à l'ombre provoque des incendies sur les hauteurs. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 641 mm (**Tableau 2-1**) et (**Figure 2-3**).

Tableau 2- 1: Données climatiques de Meftah.[22]

Mois	Jan	Fèv	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	
Température minimale moyenne (°C)	3	3	6	8	11	15	17	19	14	11	9	7	9,1
Température moyenne (°C)	8	9	11	18	20	28	32	32	27	21	18	12	
Température maximale moyenne (°C)	13	15	18	22	24	31	35	38	30	23	23	16	23,4
Record de froid (°C)	-11	-8	-5	3,8	3,8	9,4	13,4	13,8	11,6	7,2	-4	-10	-10
Record de chaleur (°C)	24,4	30	28,8	37,2	41,2	44,6	41,1	47,2	44,4	37,7	32,4	29,1	48
Précipitation (mm)	130	105	84	51	46	15	1	3	31	79	108	121	764
Nombre de jours avec précipitation	18	12	9	8	5	2	2	2	3,2	6	10	16	100

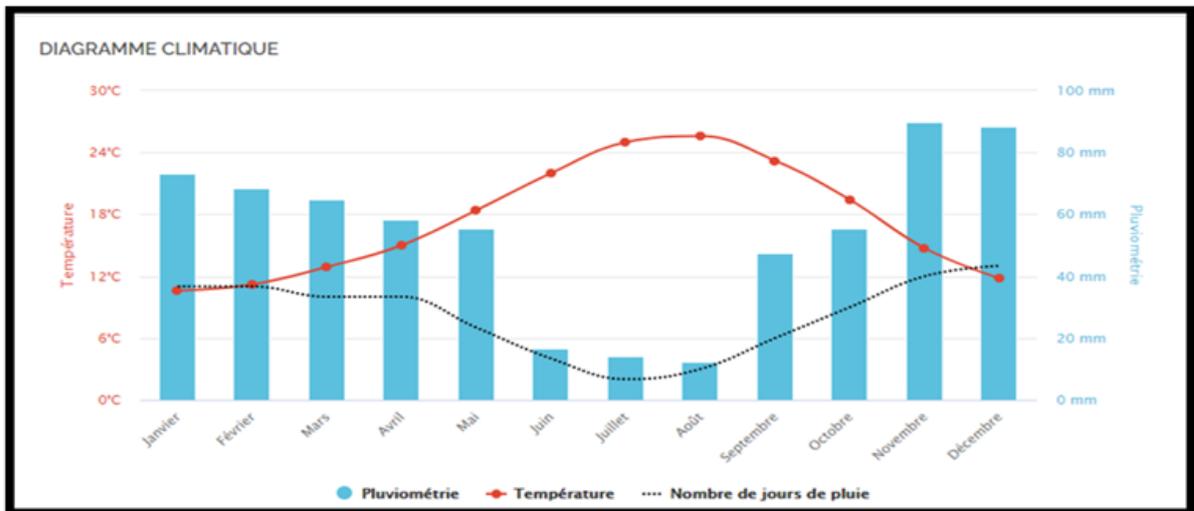


Figure 2- 3: Diagramme climatique.[23]

2-6- Sismicité:

Le règlement parasismique algérien (RPA 99 / version 2003), divise le territoire algérien en cinq (05) zones de sismicité croissante, soit :

- ✚ Zone 0 : Sismicité négligeable
- ✚ Zone I : Sismicité faible
- ✚ Zone II a et II b : Sismicité moyenne
- ✚ Zone III : Sismicité élevée

D’après le document technique réglementaire, la commune de Meftah (W. Blida) est classée zone « II b », c’est-à-dire zone à sismicité moyenne (**Figure 2-4**).

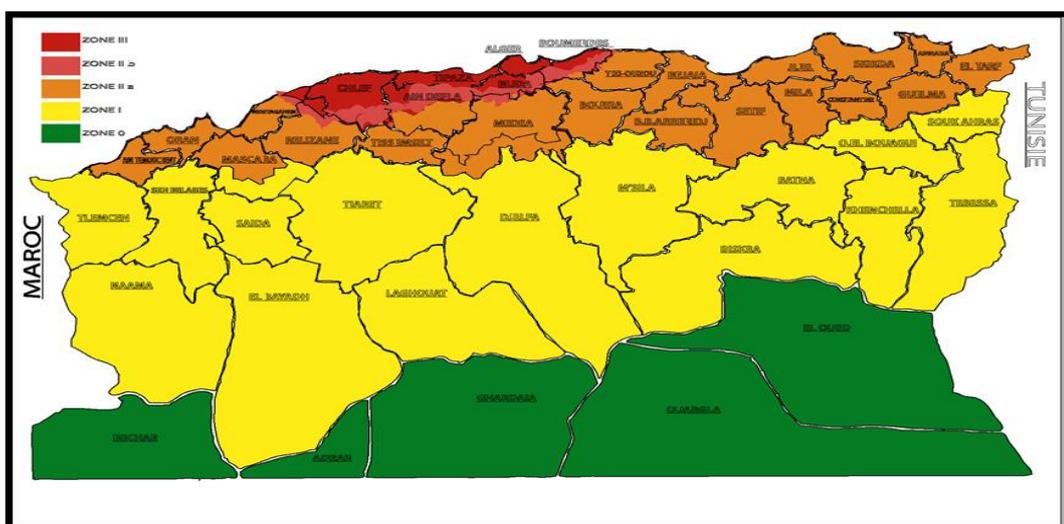


Figure 2- 4: Les zones de sismicité algérienne (situation sismique de Meftah).

2-7- Conclusion:

Les conclusions qui peuvent être tirées suite aux différents résultats des études présentées ci-dessus, sont comme suit :

- La zone d'étude est une zone montagneuse, elle présente une morphologie assez irrégulière.
- Le climat de la région de Meftah est méditerranéen caractérisé par un été très sec et doux, et un hiver pluvieux et frais, la pluviométrie annuelle est comprise 641 mm.
- La zone d'étude est classée zone II b, zone à sismicité élevée selon le règlement parasismique Algérien.
- L'étude géologique de la zone d'étude a montré que les terrains sur place présentent des faciès très variés allant de formation rocheuse tel que :
 - Quaternaire : marnes et cailloutis de maison carrée.
 - Paléocène : des calcaires organogènes graveleux.
 - Eocène : Alternance de marne et grés calcarifères et au voisinage de calcaire jurassique.
 - Miocène : le Cartennien rattaché au Burgalien ou à l'Aquitano Burdigalien et le Vindobonien en discordance sur le niveau précédent, à l'intérieur duquel s'individualisent souvent l'Helvétien et le Tortonien.
 - Caratenien (m1a) : Il est composé des Grés et poudingues (Cartenien inférieur), Grés (Carténien moyen) et Marnes et argiles (m1c) (Cartenien supérieur).
 - Helvetien : des marnes et calcaires à Mélobesies.
 - Pliocène (P2q) : représentant la phase marine progressive de la fin de Pliocène inférieur.
- L'étude hydrogéologique montre que la profondeur de la nappe phréatique est 9.03 m par rapport au terrain naturel.

Chapitre 3:
Etude Géotechnique

3-1- Introduction:

La reconnaissance des sols doit d'abord permettre de localiser les différentes couches de terrain et de préciser la configuration générale de la zone à étudier.

Elle doit ensuite donner des informations sur les caractéristiques mécaniques de chaque couche, pour cela deux techniques ont été utilisées.

- Le prélèvement d'échantillons en vue de leurs analyses au laboratoire.
- Les essais In Situ proprement dits.

La première technique se base sur les sondages ou forages et permet d'aboutir après une analyse au laboratoire à la détermination des propriétés physiques et mécaniques du sol.

La seconde technique permet d'aller solliciter la matière dans son milieu naturel et s'affranchir en grande partie du remaniement inévitable avec les échantillons.

Au cours de ce chapitre, une caractérisation des sols et des matériaux rencontrés au niveau du site d'étude après analyse des résultats obtenus à partir de la campagne de reconnaissance géotechniques in situ et au laboratoire, sera donnée dans ce qui suit.

3-2- Campagne de reconnaissance in-situ :

Afin de caractériser le sol au niveau du site d'étude, une campagne de reconnaissance géotechnique a été réalisée par le laboratoire de l'habitat et de la construction (LNHC) unité Oued Smar, comportant :

- 02 sondages, carottés notés, respectivement, entre 10 et 40 m de profondeur avec prélèvements d'échantillons intacts et remaniés pour des essais au laboratoire.

Les sondages ont été équipés par un piézomètre pour suivre et contrôler une éventuelle présence d'eau dans le sol.

- Quatre (04) essais de pénétration dynamique notés (PDL-1 et PDL-2, PDL-3, PDL-4).
(Poussés jusqu'aux refus à l'aide du pénétromètre automatique lourd).
- 01 puits de reconnaissance.

- **Principe des sondages carottés :**

Le principe du carottage est d'excaver un cylindre de terrain le plus intact possible afin de réaliser des observations et des essais représentatifs de la formation locale. La coupe du terrain peut se faire par enfoncement ou battage (carotteuse) ou par rotation (carotteuse rotative).

- **Principe de l'essai pénétration dynamique :**

Un essai de pénétration dynamique peut simuler l'enfoncement d'un pieu et déterminer la résistance dynamique du sol à l'affaissement du pieu. Elle consiste à planter un chapelet de tiges lisses dans le sol, en montant à son extrémité une pointe de section connue

3-2-1-Sondages carottés :

La nature et les l'épaisseur des terrains rencontrés, obtenus à partir des sondages carottés (SCD 6 et SCR 2) sont données dans le (**Tableau 3-1**).

Tableau 3- 1: nature géologique du sol pour chaque sondage carotté.

N° sondages	Profondeurs (m)	Nature géologique
SCD-06 PK (1+300)	0-2,25	Sable argileux peu graveleux beige.
	2,25-10,0	Sable beige avec des passages de grès calcaire.
	10,0-11,8	Argile marneuse bariolés.
	11,8-25,0	Intercalation de sable beige et de grès calcaire.
SCR-02 Pk (1+760)	0-1,5	Limon argileux.
	1,5-6,1	Calcaire friable fragmenté.
	6,1-10	Marne d'aspects schisteux verdâtre.

D'après la lithologie donnée par (SCD-6 et SCR-02) dans le tableau ci-dessus, les terrains le long du tracé routier sont généralement des argiles et des sables. (Voir Annexe A).

3-2-2-Essai de résistance à la pénétration dynamique :

Les résultats de l'essai pénétration dynamique sont affichés dans le (Tableau 3-2) ci-dessous, pour profondeur de 1m.

Tableau 3- 2: Résultats de l'essai de pénétromètre dynamique en fonction de profondeur de [1,00 à 10] m.

Profondeurs (m)	Rd ₁ (bar)	Rd ₂ (bar)	Rd ₃ (bar)	Rd ₄ (bar)
1	90	62	80	100
2	40	60	340	85
3	40	55	-	445
4	50	412	-	-
5	55	-	-	-
6	70	-	-	-
7	75	-	-	-
8	50	-	-	-
9	320	-	-	-
10	-	-	-	-
Refus (m)	9,2	4,2	2,4	3,2

- Pour le 1^{er} sondage, on a une résistance moyenne pour les huit mètres premiers, et après il y a un substratum.
- Pour le 2^{ème} sondage, à partir de 0 mètre jusqu'à 3,6 mètres il y a une résistance moyenne, et après 3,6 mètres plus bas il y a des roches.
- Pour le 3^{ème} sondage, la résistance de sol est moyenne jusqu'à 1,5 mètres, à partir de 1,5 mètres on a un sol d'une forte résistance "substratum".
- Pour le 4^{ème} sondage, le sol a une résistance moyenne dans les premiers mètres (0-2.5m) Après on rencontre un sol à résistance forte probablement des roches. (Voir Annexe B)

3-2-3-Puits de reconnaissances :

À l'aide d'une pelle mécanique, un trou ouvert a été réalisé à une profondeur de 4 mètres pour soumettre les échantillons prélevés à des tests de laboratoire pour identification, ainsi que le test de Proctor et CBR.

- SR-03(1+760) : 0-4m : Argile carbonaté jaunâtre.

3-2-4-Essai piézométrique :

Les mesures du niveau d'eau est effectuée l'aide de l'essai piézométrique, les résultats des mesures sont donnés dans le (Tableau 3-3).

Tableau 3- 3: Résultats de l'essai piézométrique.

Sondage	09 / 10 /19	10 / 10 /19	25 / 11 /19
SCD-06	-	-	Sec
SCR-02	9,03	9,03	Sec

3-2-5-Essais SPT (Standard Pénétration Test) :

Les résultats des mesures sont donnés dans le (Tableau 3-4).

Tableau 3- 4: Résultats de l'essai Standard Pénétration Test.

Sondages Carotte	Profondeur de sondage(m)	Profondeur d'essai (m)	Nombre de coups N1+N2	Compacité selon XP P 94-011
SCD-06 PK (1+300)	40	1,5 à 37,5	Refus	Sol très dense
SCR-02 PK (1+760)	10	1,5 à 10	>50	Dense à très dense

Pour le sondage SCD-06 on a un sol très dense, par contre le sondage SCR-02 nous donne un sol dense à très dense selon la norme XP P 94-011.

3-3- Essais en laboratoire:

Afin de déterminer les paramètres physiques et mécaniques des terrains rencontrés le long du tracé routier des essais physiques, mécaniques, ont été effectués sur les échantillons prélevés des sondages carottés mentionnés précédemment.

3-3-1-Essais Physiques:

Les essais physiques effectués sur les échantillons prélevés des sondages carottés SCD-06 et SCR-02 sont comme suits :

3-3-1-1- Analyses granulométriques- sédimentométriques :

Les résultats de l'analyse granulométrique effectués sur les sondages carottés SCD-06 et SCR-02, sont donnés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 3-5**) :

Tableau 3- 5: Les résultats obtenus à partir de l'analyse granulométrique

N°Sondages	SCD-06 PK (1+300)				SCR-02 PK (1+760)			
	0,5/2,50	2,5/10	10/12	12/15	1,5/1,9	2,5/2,9	3,4/5,0	6,45/6,85
Profondeurs (m)	0,5/2,50	2,5/10	10/12	12/15	1,5/1,9	2,5/2,9	3,4/5,0	6,45/6,85
% des passants<80µm	29,68	28,77	66,45	36,36	30,8	-	63,95	-
% des passants>80µm	70,32	71,23	33,55	63,64	69,19	-	36,05	-

À partir des résultats de l'analyse granulométrique des sondages SCD-06 et SCR-02, il en ressort que les valeurs des passants à 80µm varient entre (28,77-66,45) %, ces valeurs dépassant la valeur de 50% ce qui signifie que le sol classé comme sol fin. (**Voir annexe C**).

3-3-1-2-Limites d'Atterberg :

Les résultats prélevés des sondages carottés SCD-06 et SCR-02 sont représentés dans le tableau suivant (**Tableau 3-6**).

Tableau 3- 6: Résultats de l'essai Limites d'Atterberg.

Sondage	SCD-06				SCR-02			
	0,5/2,5	2,5/10	10,0/12	12/15	1,5/1,9	2,5/2,9	3,4/5	6,45/6,85
Profondeurs (m)	0,5/2,5	2,5/10	10,0/12	12/15	1,5/1,9	2,5/2,9	3,4/5	6,45/6,85
WL [%]	32,8	27,50	38,00	-	30,2	-	27,5	-
WP [%]	18,88	14,99	19,25	-	17,22	-	17,22	-
IP [%]	13,92	12,51	18,75	-	13,09	-	10,28	-
IC [%]	-	-	-	-	0,98	-	1,10	-

D'après les résultats des sondages carottés SCD-06 et SCR-02 au niveau de tous profondeurs des sondages, les valeurs de IP sont supérieurs à 25%, classant donc les sols dans l'état plastiques (selon l'abaque de casa grande).

Et pour l'indice de consistance I_c les résultats donnés par le tableau ci-dessus pour la profondeur (3,4/5) m est supérieur à 1, classant les sols en état dur, selon la norme NFP94-011 (Voir annexe D).

3-3-1-3-Masse volumique et teneur en eau :

Résultats des essais effectués sur les échantillons des sondages carottés SCD-06 et SCR-02 sont représentés dans le tableau suivant (Tableau 3-7) :

Tableau 3- 7: Résultats des sondages carottées.

Sondages	SCD-06				SCR-02			
Profondeurs	0,5/2,5	2,5/10	10/12	12/15	1,5/1,9	2,5/2,9	3 ,4/5	6,45/6,85
w [%]	-	-	-	-	-	17.26	-	16.18
γ_h [t/m ³]	-	-	-	-	-	2.3	-	2.17
γ_d [t/m ³]	-	-	-	-	-	1.96	-	1.87
γ_s [t/m ³]	2,62	2,65	2,64	2,61	2.61	-	2.71	-

D'après les résultats obtenus des essais précédent, il en ressort que les valeurs de la masse volumique sèche varient entre (18,7-19,6) KN/m³, à des profondeurs allant de (2,5 à 6,85) m. classant le sol dans un état dense, selon la norme (NF P 94-054). (Voir annexe E)

3-3-2-Essais mécaniques:

Pour la détermination les caractéristiques mécaniques des échantillons prélevés des sondages carottés, des essais mécaniques, ont été réalisés sur des échantillons de terrains meubles ainsi que ceux des terrains rocheux. Les résultats de ces essais sont donnés dans ce qui suit :

3-3-2-1- Essai de cisaillement à la boîte de Casa grande :

L'essai de cisaillement à la boîte permet de déterminer la cohésion et l'angle de frottement des échantillons prélevés des sondages carottés SCD-06 et SCR-02. Les résultats obtenus sont donnés par le tableau suivant (Tableau 3-8) :

Tableau 3- 8: Résultats de l'essai de cisaillement a la boîte de Casa grande.

Sondages	SCD-06	SCR-02
----------	--------	--------

Profondeurs		0,5/2,5	2.5/10	10/12	12/15	1.5/1,9	2,5/2,9	3,4/5	6,45/6,85
(UU)	c[kpa]	-	-	-	-	-	120	-	120
	Φ [°]	-	-	-	-	-	6,8	-	12,53
(CU)	c' [kpa]	-	-	-	-	-	-	-	-
	Φ' [°]	-	-	-	-	-	-	-	-

Les résultats obtenus à partir de l'essai de cisaillement à la boîte de Casa grande (essai de cisaillement type non consolidé non drainé), montrent que la cohésion dans le SCR-02 égale à 12 KPa (<20) ce qui implique que le sol est liquide a très mou selon la norme XP P94-011. (Voir annexe F).

3-3-2-2- Essai de compressibilité à l'œdomètre :

Les résultats obtenus de l'essai de compressibilité à l'œdomètre effectué sur les échantillons prélevés dans les sondages SCD-06 et SCR-02 sont regroupés dans le tableau suivant

(Tableau 3-9) :

Tableau 3- 9: Résultats de l'essai de compression à l'odomètre.

Sondages	SCD-06				SCR-02			
	0,5/2,5	2.5/10	10/12	12/15	1.5/1,9	2,5/2,9	3,4/5	6,45/6,85
Cc	-	-	-	-	-	0.11	-	0.11
Cs	-	-	-	-	-	0.038	-	0.038
Pc (kpa)	-	-	-	-	-	500	-	500

D'après les résultats obtenus à partir de cet essai, les valeurs de coefficient de compressibilité Cc est égale à 0,11, classant le sol comme moyennement compressible selon Terzagui. (Voir annexe F).

3-3-2-3- Résistance à la compression simple :

Cet essai peut mesurer la résistance à la compression simple Rc par l'application d'une pression uni axiale sur un matériau rocheux. Les résultats de l'essai effectué sur l'échantillon étudié de compression simple sont regroupés dans le tableau suivant (Tableau 3-10) :

Tableau 3- 10: Résultat de résistance à la compression.

Sondages	SCD-06				SCR-02			
	0,5/2,5	2.5/10	10/12	12/15	1.5/1,9	2,5/2,9	3,4/5	6,45/6,85

Compression simple	RC Mpa		-	-	-	-	-	-	272
--------------------	--------	--	---	---	---	---	---	---	-----

La valeur de Rc qui est égale à 272 bars donc la roche à une résistance faible "Marne d'aspects schisteux verdâtre", selon la norme NFP94-420.

3-4- Classifications des sols des sondages carottés selon le GTR:

Nous avons utilisé le GTR (guide de terrassement routier), pour la classification des terrains meubles, selon la nature et l'état hydrique du sol, des échantillons prélevés des sondages carottés SCD-06 et SCR-02. (Voir annexe G).

3-4-1-Sondage SCD-06 :

Pour le sondage SCD-06 au niveau des profondeurs [0,5-2,5] m, le classement est le suivant :

➤ **Classement selon la nature :**

• **Premier niveau de classification :**

Tamisat a 80 µm = 29,68% < 35% c'est-à-dire classe B donc le sol est sableux et graveleux avec fines.

• **Deuxième niveau de classification :**

12 < IP=13,92% < 30, La sous classe fonction de l'état c'est B_{5m}.

Le classement selon le GTR Pour les échantillons pris des sondages carottés SCD-06 et SCR-02 à des profondeurs allant de (2.3-6.6) m, est donné par le tableau ci-dessous (**Tableau 3-11**):

Tableau 3- 11: classification des sols des SCD06 et SCR02 selon le GTR.

N° sondage	Profondeurs (m)	Classement selon la nature	
		Classe	Sous classe
SCD-06 PK (1+300)	0,5/2,5	B	B _{5m}
	2,5/10	B	-
	10/12	B	-
	12/15	B	-

3-5- Carrières:

Les essais et les résultats des carrières sont regroupés dans le tableau ci-dessous. (**Tableau 3-12**).

Tableau 3- 12: Les résultats des analyses des carrières.

Nature et provenance du matériau	Essai réalisées				
	Équivalent de sable	Analyse granulométrique par tamisage	VBS	MDE	LA
T.V.O	ES=33%	Granulométrie : <50 mm (%) =76,83. <2 mm (%) =28,94. <0,08 mm (%) =9,73.	0,20	44,60%	36%

La classification selon GTR matériaux pour couche de forme, l'échantillon présente les caractéristiques des sols graveleux et sableux avec fines classe B, et La sous-classe est B 31.

3-6- Conclusion:

D'après les résultats, et interprétation des différents essais des sondages carottés et les puits de reconnaissances, il en ressort que les sols rencontrés tombent dans la classe B (sol sableux et graveleux avec fines) et sous classe B5m, selon la classification GTR.

D'après les résultats des essais et analyses effectués sur l'échantillon prélevé sur l'Oued MEZEGHANA TABLAT et selon le guide de terrassement routier, le sol tombe dans la classe B (sol sableux et graveleux) sous classe B31.

Chapitre 4 :
Dimensionnement de corps de
chaussée

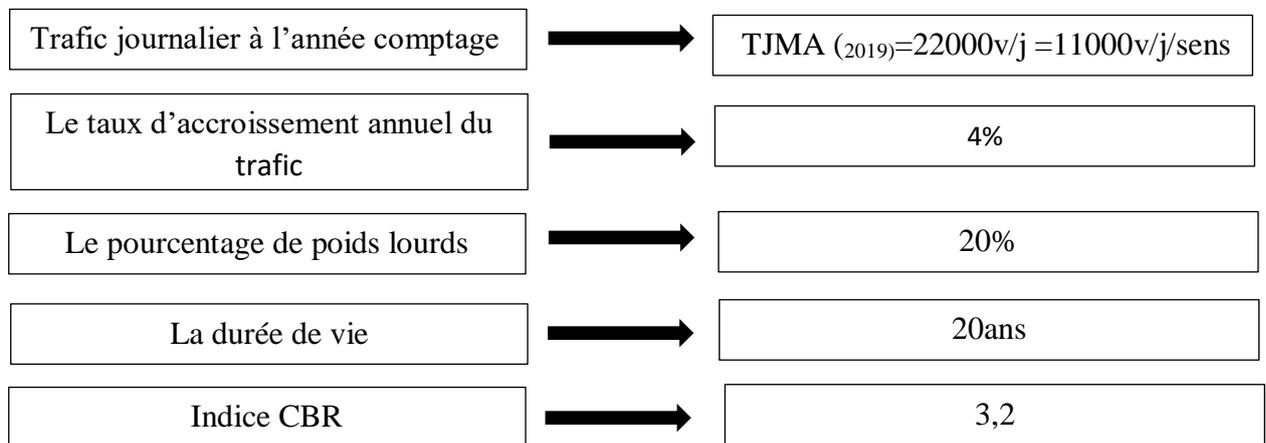
4-1- Introduction:

La bonne structure de la construction des chaussées joue un rôle primordial. Passe d’abord par une bonne connaissance du sol support et un choix des matériaux. Le dimensionnement des structures de chaussée une importante étape de l’étude. En même temps le choisir des matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée.

Dans ce chapitre, par les deux méthodes CTTP et CBR, nous avons étudié les dimensions du corps de chaussée du tronçon routier étudié.

4-2- Méthode de dimensionnement de corps de chaussée :

Pour déterminer les dimensions de corps de chaussée en applique les méthodes CBR et CTTP. Dans le schéma suivant, nous présenterons les données du projet :



4-2-1-Méthode de catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) :

Pour déterminer le corps de chaussée il faut suivre les étapes suivantes :

4-2-1-1- Choix de niveau du réseau principal (RP) :

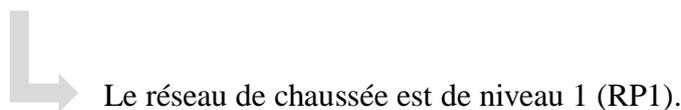
➤ **Le calcul :**

-Le trafic journalier trouvé sur la RN29 à l’année 2019 est :

$$TJMA_{2019}=22000V/J/2sens \quad \text{Donc} \quad TJMA_{2019}=11000v/j/sens$$

- Le TJMA₂₀₁₉ est égale à 11000v/j/sens >1500 v/j/sens

Donc



4-2-1-2- Choix de la structure type du corps de chaussée par niveau de réseau principal :

Selon le niveau du réseau principal, la structure type est choisie. Dans le tableau suivant, les structures type sont mentionnées. (**Tableau 4-1**) :

Tableau 4- 1: Structure disponible dans le catalogue.

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures
RP1	MTB (matériaux traités aubitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF,GB/SG, GB/AG
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL, Bcg/GC
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, AG/AG SG/SG
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG

Les résultats de notre tableau montrent que les matériaux choisis dans notre cas sont de type GB/GNT.

4-2-1-3- La durée de vie :

La durée de vie d'une chaussée est déterminée en fonction du réseau principal et le type de matériaux constituant pour maintenir une durabilité de 15 à 20 ans. Le tableau ci-après représente les durées de vie des différentes structures de chaussées (**Tableau 4-2**) :

Tableau 4- 2: Durée de vie en fonction du type de matériau, niveau du réseau et structure adoptée.

Niveau de réseau principal (RP)	Matériaux types	Structures	Durée de vie (Années)
RP1	MTB (matériaux traités aubitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF, GB/SG,GB/AB	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL, Bcg/GC	20

D'après le tableau ci-dessus la durée de vie est 20 ans.

4-2-1-4- Clima de la zone :

D’après la carte climatique de l’Algérie (**Figure 4-1**) et le (**Tableau 4-3**). On a classe la région de Meftah dans la " zone I" avec une pluviométrie = 641 mm/an.

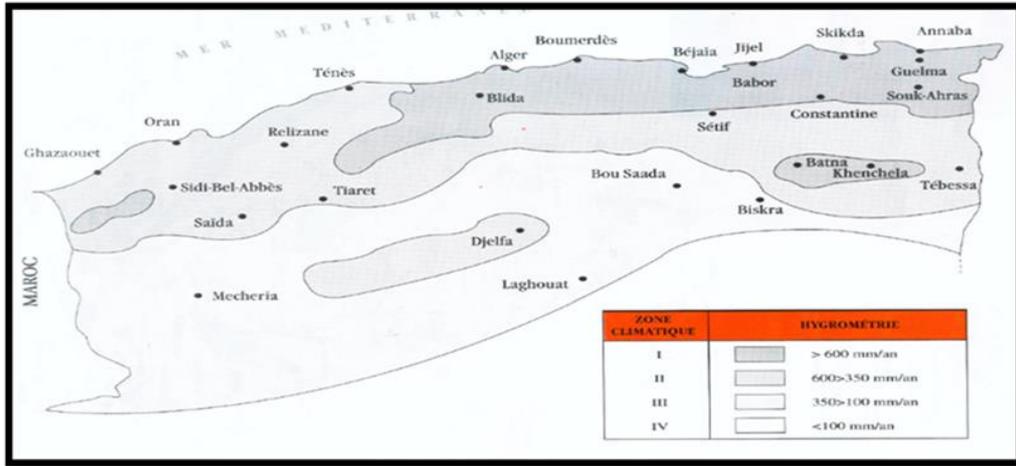


Figure 4- 1: Carte climatique de l’Algérie.

Tableau 4- 3: pluviométrie de la zone.

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	Région
I	>600	Très humide	Nord
II	350-600	Humide	Nord, hautes plateaux
III	100-350	Semi-aride	Hautes plateaux
IV	<100	Aride	Sud

4-2-1-5- Température équivalente :

Le tableau suivant, représente le choix des températures équivalentes données par le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves reportées dans (**Tableau 4-4**).

Tableau 4- 4: Sélection de la température équivalente.

	Zones climatiques		
Températures équivalentes (Θéd) en (C °)	I/II	III	IV
	20	25	30

D’après la zone d’étude qui appartient à la zone climatique I et le catalogue dimensionnement des chaussées neuves, la température équivalente de l’ordre de $T_{eq} = 20^{\circ}c$.

4-2-1-6- La classe du trafic TPLi :

$$TPLi(2041) = TJMA (2021) * 0,9 * PL (1+i)^n$$

Avec :

i : taux d'accroissement géométrique égal à 0.04 dans le calcul de dimensionnement.

PL (%) : Le pourcentage des poids lourds.

TJMA (2021) : trafic journalier de l'année de la mise en service.

0.9 : Répartition transversale du trafic (90% du Pl sur la voie lente de droite).

➤ **Le calcul :**

$$TPLi(2041) = 11000 * 0,9 * 0,2 * (1+0,04)^2$$

$$TPLi (2041) = 2142 \text{ PL/j/sens}$$

$$1500 < 2142 < 3000$$

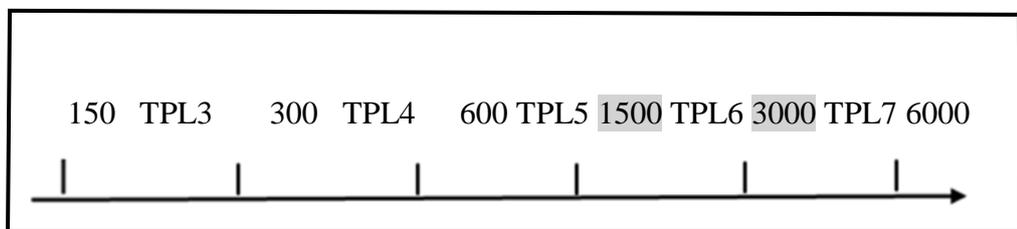


Figure 4- 2: Classe TPLi pour RP1.

- Classe de trafic c'est TPL6.

• **Le trafic cumulé de PL (TCi) :**

$$TCi = TPLi * 365 * [(1+i)^n - 1] / i$$

Avec:

i : taux d'accroissement géométrique égal à 0.04 dans le calcul de dimensionnement.

n : durée de vie considéré.

➤ **Le calcul :**

$$TCi = 23,28 * 10^6 \text{ PL/J/sens}$$

• **Le trafic cumulé équivalent TCEi :**

Le trafic cumulé équivalent est donnée par la formule suivante : (**Tableau 4-5**) et (**Tableau 4-6**).

$$TCEi = TCi \times A$$

Tableau 4- 5: Coefficient d’agressivité A fonction du type de matériau, niveau du réseau et structure.

Niveau de réseau principal	Type des matériaux et structure	Valeur de A
RP1	Chaussée a matériaux traité au bitume BB/BB ; BB/TUF	0.6
	Chaussée à matériaux traité au liant hydraulique GL/GL	1

- Le réseau principal (RP1).
- Un type de matériau choisi pour la réalisation de la chaussé comme étant un matériau traité au bitume.
- Un coefficient d’agressivité A=0.6.
- Le trafic cumulé équivalente est calculé comme suit :

$$TCEi = TCi(2041) * A = 23,28 * 10^6 * 0.6$$

• **Le calcul :**

$$TCEi = 13,97 * 10^6 \text{ essieu } 13t / \text{ durée vie.}$$

4-2-1-7- Risque de calcul :

Le risque de calcul est représenté d’après des classes de trafic et le type de structures, il est représenté dans Le tableau ci-dessous (**Tableau 4-6**).

Tableau 4- 6: La valeur de risque pour réseau RP1.

	Classe de Trafic (TPLi)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Risque	GB/GB, GB/GNT	20	15	10	5	2
	GL/GL	15	10	5	2	2
	BCg/GC	12	10	5	2	2

D’après les résultats suivants : (classe de trafic c’est TPL6, le réseau principal est RP1 et la structure de type (GB/GNT), le risque de calcul R est égal à 5%.

4-2-1-8- Classe de la portance du sol support de chaussée :

Il est nécessaire de déterminer la capacité portante du sol pour la construction de la structure de chaussée, sur base de l'indice de CBR (**Tableau 4-7**) :

Tableau 4- 7: Classes de portance des sols fonction de l'indice CBR.

Portance (Si)	CBR	Interprétation
S4	<5	Très mauvaise portance
S3	5-10	Mauvaise portance
S2	10-25	Portance moyenne
S1	25-40	Bonne portance
S0	>40	Très bonne portance

La valeur obtenue de l'indice CBR est égale à 3,2. Cette valeur est inférieure à 5 donc le sol dans la classe 4 " très mauvaise portance " .

La valeur de E est donnée par la formule suivante :

$$E(\text{MPa}) = 5 * \text{ICBR}$$

$$E(\text{MPa}) = 16.$$

D'après la valeur de CBR nous avons trouvé la valeur de E entre (15 et 25) MPa, (**Tableau 4-8**) :

Tableau 4- 8: Classes de sols supports fonction des valeurs de E.

Classe de sols-supports	S4	S3	S2	S1	S0
Module (MPa)	15-25	25-50	50-125	125-200	> 200

4-2-1-9- Utilisation la couche de base pour la classification dans les matériaux non traités :

La portance du sol est très mauvaise, donc il doit être renforcé par une ou plusieurs couches de forme. Le tableau ci-dessous donne la nature et l'épaisseur de la couche de forme sélectionnée, en fonction de la classe de portance du sol tassé (**Tableau 4-9**).

Tableau 4- 9: Épaisseur la couche de base fonction de la classe de portance pour les matériaux non traités.

Classe portance du sol terrassé (Si)	Matériaux de couche de forme (C.F)	Épaisseur de couche de forme (C.F)	Classe portance du sol support visée (Sj)
<S4	Matériaux non traités	50cm (en 2couches)	S3
S4	Matériaux non traités	35cm	S3
S4	Matériaux non traités	60cm (en 2couches)	S2
S3	Matériaux non traités	40cm (en 2couches)	S2
S3	Matériaux non traités	70cm (en 2couches)	S1

D'après le tableau ci-dessus, on a choisi une couche de forme de 60cm disposée en 2 couches, pour améliorer la capacité portance de la plateforme support.

• **Le choix de corps de chaussée :**

D'après le catalogue Algérien de dimensionnement des chaussées neuves, la structure de chaussée est comme suit :

BB: (6cm a 8cm), GB: (10cm a 15cm), GNT (15cm a 25cm).

• **La structure finale proposée est la suivante :**

8 cm BB
12 cm GB
20 cm GNT
35 cm T.V.O

• **Donc la structure proposée est composée de :**

- Couche de roulement en BB de 8 cm.
- Couche de base en GB de 12 cm.
- Couche de fondation en GNT de 20 cm.
- Couche de forme en T.V.O de 35 cm.

4-2-2-La méthode de (Californie – Baring – Ratio) :

La formule suivante donne l'épaisseur équivalente du corps de chaussée :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log(\frac{N}{10}))\sqrt{P}}{\text{ICBR} + 5}$$

Avec :

e : épaisseur équivalente.

ICBR : indice CBR (sol support).

P : charge par roue égale à 6.5t (essieu 13t).

Log : logarithme décimale.

N : désigne le nombre journalier de poids lourd à vide à l'année horizon.

Pour déterminer l'épaisseur équivalente on va suivre les étapes suivantes :

On va suivre les étapes suivantes pour

déterminer l'épaisseur équivalente :

$$\text{TJMA}_{(2021)} = \text{TJMA}_{(2019)} * (1 + i)^n$$

Avec :

TJMA₍₂₀₂₀₎ : trafic journalier de l'année de mise en service.

i : taux d'accroissement géométrique égal à 0.04 dans le calcul de dimensionnement.

n : la différence entre l'année de mise en service 2021 et l'année 2019.

➤ **Le calcul :**

$$\text{TJMA}_{(2021)} = 11000 \times (1 + 0.04)^2$$

Donc :

$$\text{TJMA}_{(2021)} = 11897,6 \text{ v/j/sens.}$$

$$\text{TJMA}_{(2041)} = \text{TJMA}_{(2021)} * (1 + i)^n$$

Et "n" c'est la durée de vie =20 ans.

➤ **Le calcul :**

$$\text{TJMA}_{(2041)} = 11897,6 * (1 + 0.04)^{20}$$

Donc :

$$\text{TJMA}_{(2041)} = 26069,1 \text{ v/j/sens}$$

• Le trafic du poids lourds est calculé par la formule suivante :

$$N = \text{TJMA}_{2041} \times \text{PL}\%$$

Avec :

TJMA c'est les trafics prévus pour une durée de vie de 20ans.

N c'est l'année de prévision.

PL % c'est le Pourcentage des poids lourd.

➤ **Le calcul :**

$$N=26069,1 * 0.2$$

Donc :

$$N= 5213 \text{ PL/j/sens}$$

Donc Eeq est égale à :

$$Eeq = \frac{100 + \sqrt{6,5(75 + 50 * \log(\frac{5213}{10}))}}{3,2 + 5}, Eeq = 78 \text{ cm}$$

Généralement les épaisseurs adoptées sont :

BB = (6 à 8) cm.

GB= (10 à 20) cm.

GNT = (15 à 25) cm.

T.V.O = 35 cm.

La structure de chaussée est composée de plusieurs couches différentes donc nous calculons l'épaisseur de chaque couche par la formule suivante (**Tableau 4-10**) :

$$E \text{ totale} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 + a_4 \times e_4$$

Tableau 4- 10: Représente la construction de la chaussée.

Nom de la couche	Épaisseur de la couche	Coefficients d'équivalences des matériaux
Roulement BB	6	2
Base GB	10	1.5
Fondation GNT	e ₃	1
Couche de forme T.V.O	35	0,75

$$e_3 = E_{eq} - (e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2 + a_4 \times e_4) / a_3$$

$$e_3 = 78 - (2 \times 8 + 10 \times 1,5 + 35 \times 0,75) / 1$$

$$e_3 = 15 \text{ cm.}$$

Les résultats des épaisseurs équivalentes et les épaisseurs réelles dans le tableau suivant (**Tableau 4-11**) :

Tableau 4- 11: Tableau représente les épaisseurs calculées

Couches	réelles (cm)	ai	Eéq (cm)
BB	6	2	8
GB	12	1.5	14
GNT	12	1	15
T.V.O	35	0,75	35
Total	65	-	72

• La structure choisie :

8cm BB
14 cm GB
15 cm GNT
35 cm T.V.O

• Donc la structure obtenue est composée de :

- Couche de roulement en BB de 8 cm.
- Couche de base en GB de 14 cm.
- Couche de fondation GNT de 15 cm.
- Couche forme en T.V.O de 35 cm.

4-3- La modélisation des structures type par Alize -LCPC :

On va modélise la structure de chaussée à l'aide de logiciel Alize-LCPC pour la vérification de (ϵz et ϵt) avec (ϵz adm et ϵt adm).

4-3-1- Calcul de la déformation admissible $\epsilon t, adm$ pour les matériaux traités au bitume :

Le calcul de déformation admissible est donné par la formule suivante, "selon le catalogue Algérien des chaussées neuves".

$$\epsilon t \text{ adm} = \epsilon 6 (10^\circ\text{C}, 25 \text{ HZ}) * K_{ne} * K_{\theta} * K_r * K_c.$$

Les performances du matériau bitumineux GB sont données dans le tableau suivant (**Tableau 4-12**) :

Tableau 4- 12: Performances mécaniques des matériaux bitumineux "Catalogue Algérien des chaussées neuves".

Matériau	E(20°,10Hz) (MPa)	E(10°,10Hz) (MPa)	E(10°,25Hz)	-1/b	SN	Sh(cm)	kc
Grave bitume(GB)	7000	12500	100	6.84	0.45	3	1,3

$$\varepsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) = 100 * 10^{-6}$$

$$k_c = 1.3$$

$$k_{ne} = (10^6 / TCE_i)^b = (10^6 / 13,97 * 10^6)^{-0,146}$$

$$k_{ne} = 1,469$$

$$k_\theta = \frac{\sqrt{E(10^\circ\text{C})}}{\sqrt{E(\theta_{eq})}} = \frac{\sqrt{12500}}{\sqrt{7000}}$$

$$k_\theta = 1,336$$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + (Sh(\frac{C}{b}))^2} = 0,609$$

$$k_r = 10^{-t\delta} = 10^{-(1.645 * 0.146 * 0.609)}$$

$$k_r = 0,714$$

$$\varepsilon_{t, adm} = 100 * 10^{-6} * 1,469 * 1,336 * 0,714 * 1.3$$

$$\varepsilon_{t, adm} = 147 * 10^{-6}$$

Les valeurs de t en fonction du risque r% sont représentées dans le tableau ci-contre (**Tableau 4-13**) :

Tableau 4- 13: Valeur de T en fonction de r.

r%	2	3	5	7	10	12	15
T	-2.054	-1.881	-1.645	-1.520	-1.282	-1.175	1.036

4-3-2- Calcul de la déformation admissible sur le sol support ($\xi_{z, adm}$) :

D'après le catalogue de dimensionnement, la formule de la déformation admissible est donnée par :

$$\xi_{z, adm} = 22 * 10^{-3} * (TCE_i)^{-0.235}$$

$$\xi_{z, adm} = 22 * 10^{-3} * (13,97 * 10^6)^{-0.235}$$

Donc :

$$\xi_{z, adm} = 460,5 * 10^{-6}$$

4-4- Vérification des valeurs par le logiciel Alize-LCPC :

Dans ce travail on a vérifié les valeurs par le logiciel Alize-LCPC

4-4-1- Définition de logiciel Alize-LCPC :

C'est un Logiciel qui permet de calcul des sollicitations créées par le trafic dans les structures de chaussées, et d'aide au dimensionnement des chaussées selon la méthode rationnelle LCPC-SETRA.

4-4-2-Méthode de catalogue de dimensionnement des chaussées neuves CTTP :

Premièrement on insère les données de la structure de chaussée qui sont : Trafic journalier à l'année comptage, le taux d'accroissement annuel du trafic, le pourcentage de poids lourds et la durée de vie.

Les données de notre projet sont regroupées dans le tableau ci-dessous (**Tableau 4-14**) :

Tableau 4- 14: Données de calcul pour la méthode CTTP.

MJA (Pl/j/sens)	Taux d'accroissement (%)	Durée de vie (années)
2142	4	20

Les étapes de calcul par Alize-LCPC pour les deux méthodes " CTTP et CBR" sont les suivantes :

- **Étape 1 :**

Tout d'abord, nous entrons les épaisseurs des couches de la structure ainsi que le type de chaque couches (**Figure 4-3**).

The screenshot shows a software interface for defining a pavement structure. On the left, a table lists five layers with their respective properties. On the right, there are several control panels for modifying the structure, calculation series, and calculation levels, along with an 'Aide' (Help) section.

	épais. (m)	module (MPa)	Nu	matériau type
collé	0,08	3600	0,350	bb
collé	0,12	5000	0,350	gb1
collé	0,20	600	0,350	gnt1
collé	0,35	20	0,350	pf1
	infini	25	0,35	autre

Structure de base

Modifier la structure
nb de couches : 5
Ajouter 1 couche
Supprimer 1 couche

Série de calculs
nb de calculs : 1
Voir/gérer les variantes
Supprimer les variantes

Niveaux de calcul
Modifier les niveaux

Aide
Nature des interfaces
Epaisseurs mini-maxi
Calcul direct (charge réf.)
Quitter Alizé

Figure 4- 3: Les épaisseurs de chaque couche.

- **Étape 2 :**

Deuxièmement, nous entrons les données de la structure (MJA, taux d'accroissement et la durée de vie) afin de déterminer les déformations à la base de la couche de base (GB), ainsi qu'au niveau du sol support (**Figures 4-4**)

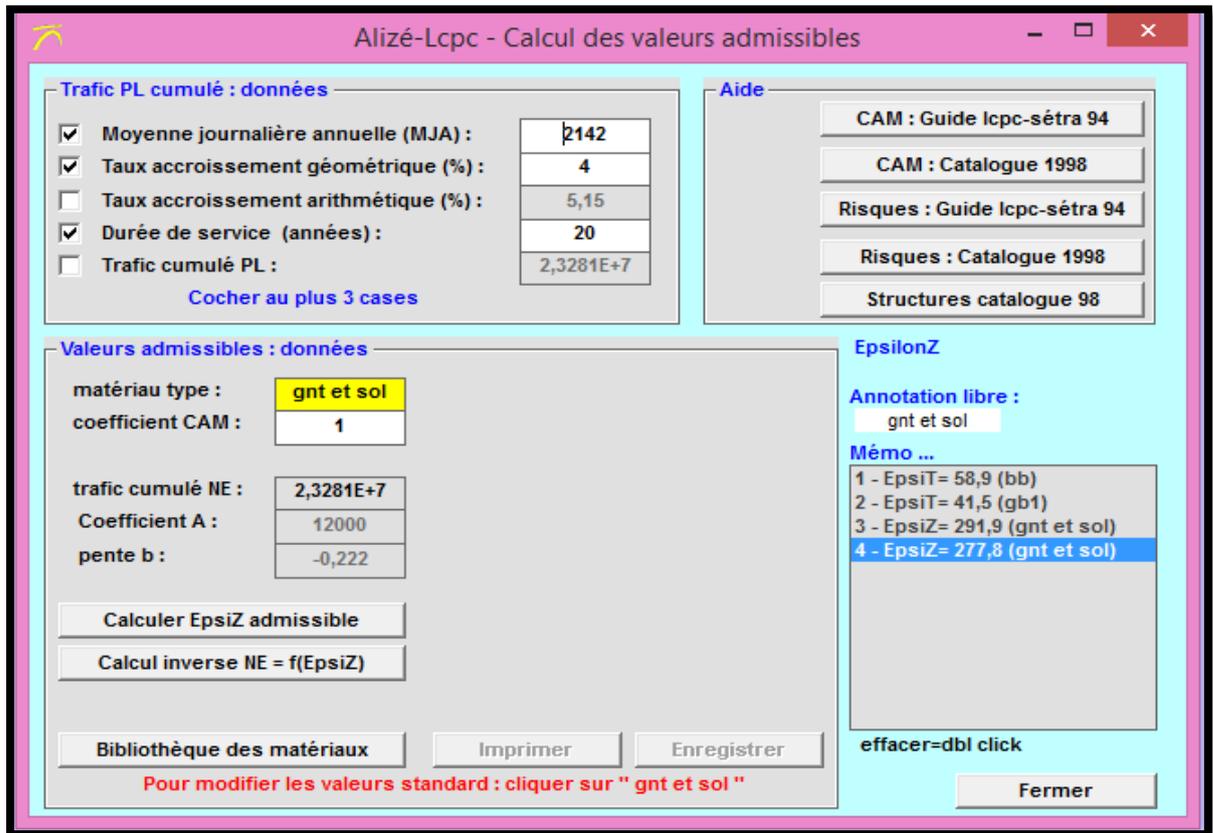


Figure 4- 4: Saisie les données de structure.

• **Étape 3 :**

En fin, après avoir cliqué sur le bouton calculer, le résultat final est affiché (Figures 4-5).

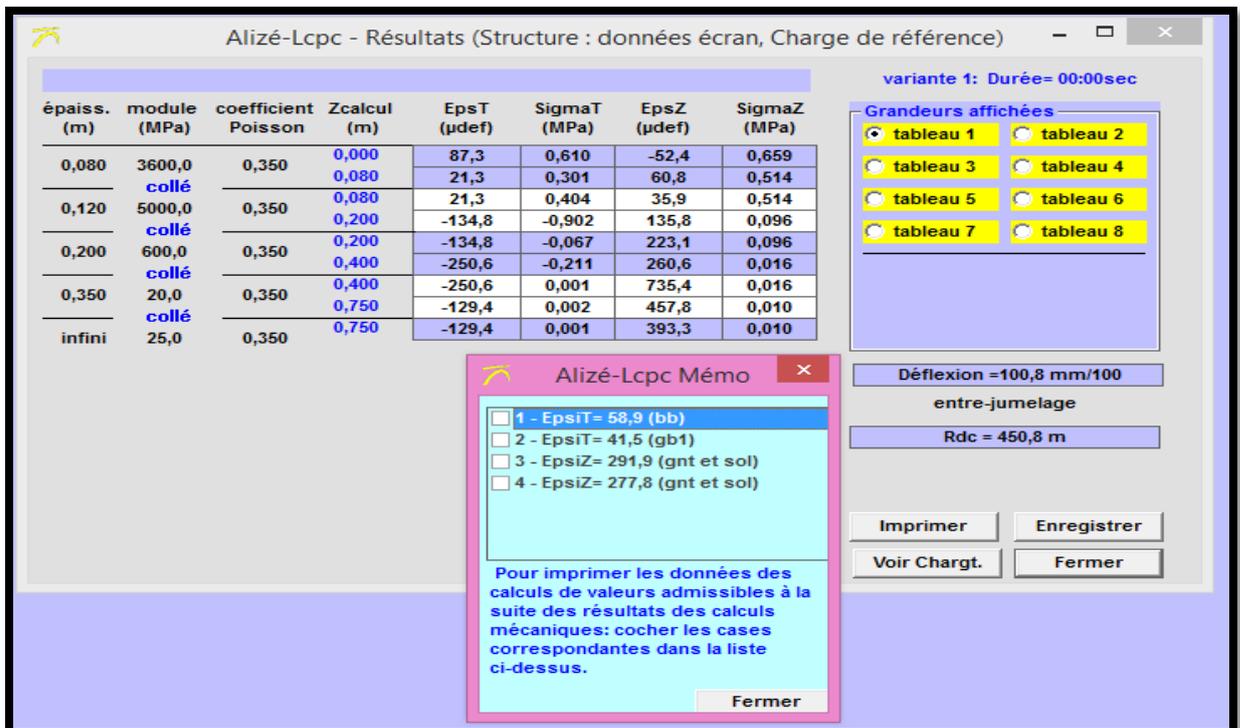


Figure 4- 5: Le résultat final.

- Les résultats des déformations admissibles et calculés par la méthode CTTP sont représentés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 4-15**) :

Tableau 4- 15: Représentations des résultats.

	Valeurs calculés	Valeurs admissibles
ϵ_t	$75,7 \cdot 10^{-6}$	$147 \cdot 10^{-6}$
ϵ_z	$174,8 \cdot 10^{-6}$	$460,5 \cdot 10^{-6}$

Donc :

$\epsilon_t, adm = 147 \cdot 10^{-6} > \epsilon_t = 75,7 \cdot 10^{-6}$ condition vérifiée.

$\epsilon_z, adm = 460,5 \cdot 10^{-6} > \epsilon_z = 174,8 \cdot 10^{-6}$ condition vérifiée.

4-4-3- La méthode de (Californie – Baring – Ratio) :

On va suivre les mêmes étapes de calcul que la méthode CTTP.

Les données à insérer dans le logiciel sont mentionnées le tableau suivant (**Tableau 4-16**) :

Tableau 4- 16: Données de calcul la méthode CBR.

MJA(Pl/j/sens)	Taux d'accroissement (%)	Durée devie (années)
5213	4	20

• **Étape 1 :**

Tout d’abord, nous entrons les épaisseurs des couches de la structure ainsi que le type de chaque couche. (**Figure 4-6**).



Figure 4- 6: Les épaisseurs de chaque couche.

• **Étape 2 :**

Deuxièmement, nous entrons les données de la structure (MJA, taux d'accroissement et la durée de vie) afin de déterminer les déformations à la base de la couche de base (GB), ainsi qu'au niveau du sol support (Figures 4-7).

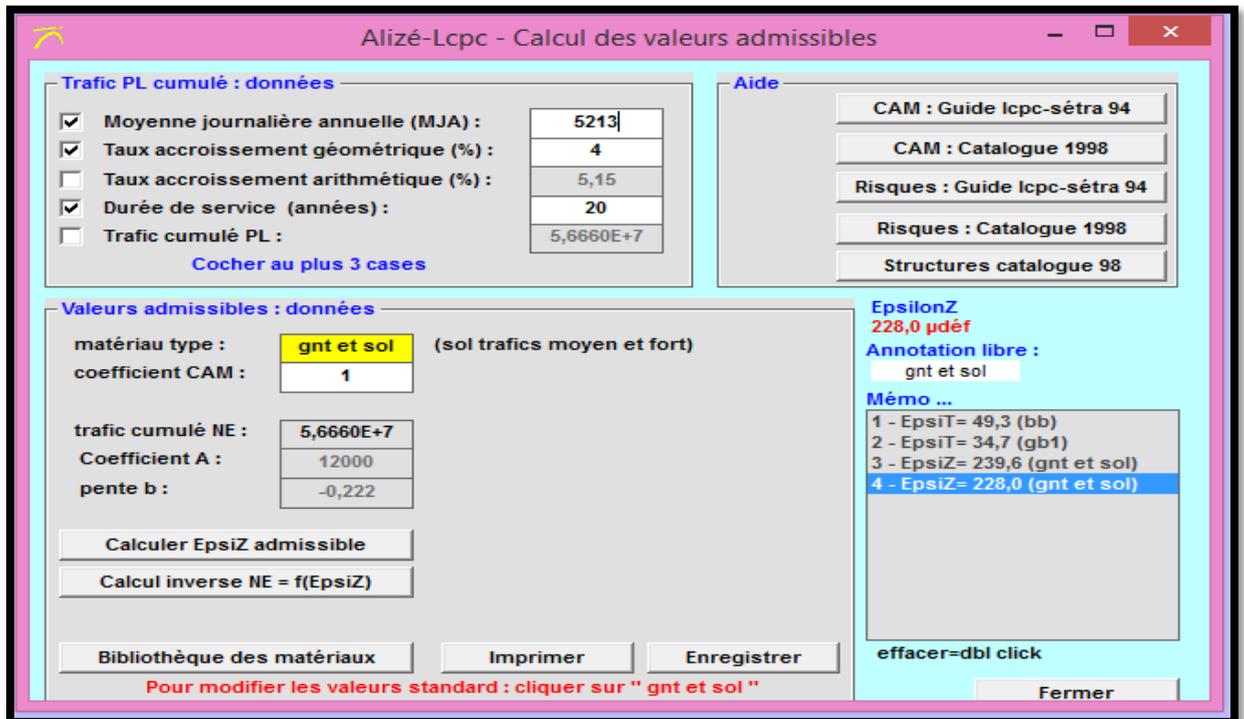


Figure 4- 7: Saisie les données de structure.

- **Étape 3 :**

En fin, après avoir cliqué sur le bouton calculer, la résultat final est affiché (Figure 4-8).

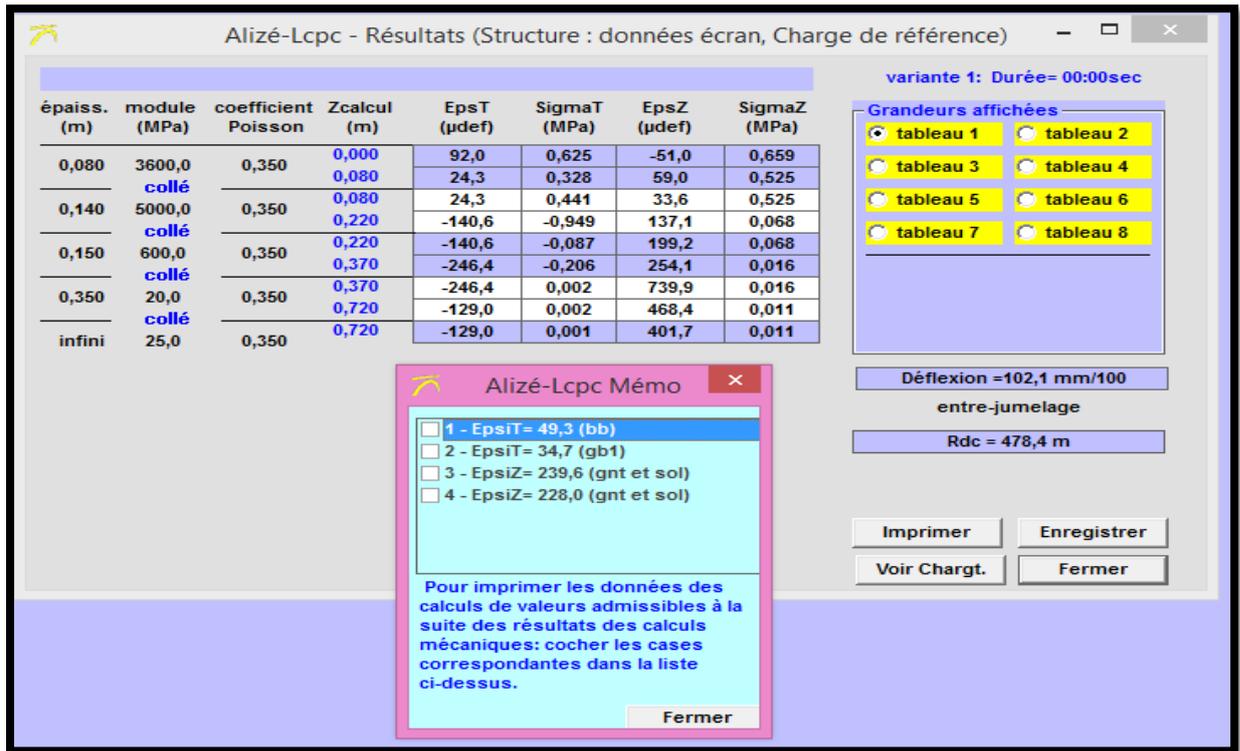


Figure 4- 8: Le résultat final.

- Les résultats des déformations admissibles et calculés par la méthode CBR sont représentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 4-17) :

Tableau 4- 17: Représentations des résultats.

	Valeurs calcule	Valeur admissible
ϵ_t	$140,6 * 10^{-6}$	$147 * 10^{-6}$
ϵ_Z	$401,7 * 10^{-6}$	$460,5 * 10^{-6}$

Donc :

$$\epsilon_t, adm = 147 * 10^{-6} > \epsilon_t = 140,6 * 10^{-6} \text{ condition vérifiée.}$$

$$\epsilon_Z, adm = 460,5 * 10^{-6} > \epsilon_Z = 401,7 * 10^{-6} \text{ condition vérifiée.}$$

4-5- Conclusion:

À travers les résultats de logiciel ALIZE-LCPC, nous avons choisi la structure obtenue à partir de la méthode CBR, car elle donne une couche de chaussée plus économique.

- La structure finale de la chaussée est :

8 cm BB
14 cm GB
15 cm GNT
35 cm T.V.O

- Couche de roulement en BB de 8 cm.
- Couche de base en GB de 14 cm.
- Couche de fondation en GNT de 15cm.
- Couche de forme en T.V.O de 35 cm.

Chapitre 5:
Etude de glissement

5-1- Introduction:

Ce chapitre concerne l'étude de la stabilité du talus situé entre "PK 1+400 au PK 1+585", (Figure 5-1) et la proposition d'un système de renforcement, utilisant le Logiciel TALREN version 4.



Figure 5- 1: Vue général de la zone de glissement (côté aval).

5-2- Présentation de logiciel :

Talren est un logiciel qui calcule le coefficient de sécurité et aussi qui permet la vérification de la stabilité des talus, avec ou sans renforcements, par les méthodes d'équilibre limite selon les méthodes de Fellenius ou Bishop.

5-3- Les paramètres de calcul :

La stabilité a été analysée sous conditions statiques et sismiques. Selon les « Règles Parasismiques Algériennes, RPA 99 », la valeur de l'accélération horizontale d'après la carte de zonage sismique du territoire national est de $A_n=0.25$, et $A_v=0,125$.

$$K_h = 0,5 A_n \longrightarrow 0,5 * 0,25 = 0,125.$$

$$K_v = 0,3 A_v \longrightarrow 0,3 * 0,125 = 0,0375.$$

5-4- Propriétés géotechniques de sol:

La structure géologique du talus présente principalement 3 couches, de haut en bas, on rencontre, une couche d'argile marno-limoneuse graveleuse à la surface. Ensuite, une couche d'argile limoneuse légèrement marneuse jaunâtre bariolée grise finement sableuse graveleuse avec concrétion calcaire. Enfin, le substratum constitué un banc de grès calcaire fragmenté de couleur jaunâtre.

Les propriétés géotechniques des trois couches sont affichées dans le Tableau ci-dessous (**Tableau 5-1**) :

Tableau 5- 1: Les couches et sont propriétés géotechniques.

Type du sol	γ (KN/m ³)	C(kPa)	φ (°)
Argile marno-limoneuse	20	7,4	18
Argile limoneuse légèrement marneuse	20	9,3	14,3
Banc de Grés calcaire	22	150	35

5-5- Modilisation de talus:

Le terrain est composé de trois couches :

- Couche 1 : Argile marno-limoneuse.
- Couche 2 : Argile limoneuse légèrement marneuse.
- Couche 3 : Banc de grés calcaire.

5-5-1- Calcul du facteur de sécurité :

Dans la suite, nous allons calculer la facteure de sécurité pour voir si le talus est stable ou non.

5-5-1-1- Exécution de calcul :

Après la modélisation, on obtient les résultats suivants : (**Figure 5-30**) et (**Figure5-2**) et (**Tableau 5-2**).

- **À l'état statique :**

Système de Pondération : norme Méthode traditionnelle/permanent ($F_s > 1,5$).

Nous résumons les résultats des factures de sécurité obtenus à partir du logiciel avant le confortement dans le (**tableau 5-2**) suivant :

Tableau 5- 2: Récapitulation les résultats de facture de sécurité par TALREN v4.

	Les valeurs de facture de sécurité
À l'état statique	1,10
À l'état dynamique	0,79

À travers l'étude qui a été réalisée sur la pente, il a été constaté que les coefficients de sécurité pour les deux cas "statique "Fs=1,10", et dynamique "Fs=0,79" sont respectivement inférieur à 1.5 et à 1 impliquant un état instable du talus.

5-6- Etude de confortement:

Les résultats obtenus dans la partie précédente révèlent que le talus est instable, donc il faut faire un renforcement pour la stabilisation.

Les renforcements des talus au glissement sont des solutions qui servent à stabiliser pour la partie instable.

Le type de renfort est choisi en fonction des caractéristiques, l'état de chaque site et selon le coût économique s'il y a plusieurs possibilités.

5-6-1-Type de confortement:

On a trouvé les clous comme un type de renforcement.

5-6-2-La technique de clouage :

Le clouage est une méthode de renforcement de la stabilité d'un talus, qui s'effectue dans le terrassement de ce talus. Ceci est nécessaire lorsque vous souhaitez donner à une pente supérieure à la pente naturelle.

5-6-3-Vérification de la stabilité de talus après le confortement :

On vérifie ci-dessous si les clous sont suffisants pour stabiliser la pente.

À l'état statique :

"Fs = 1,5".

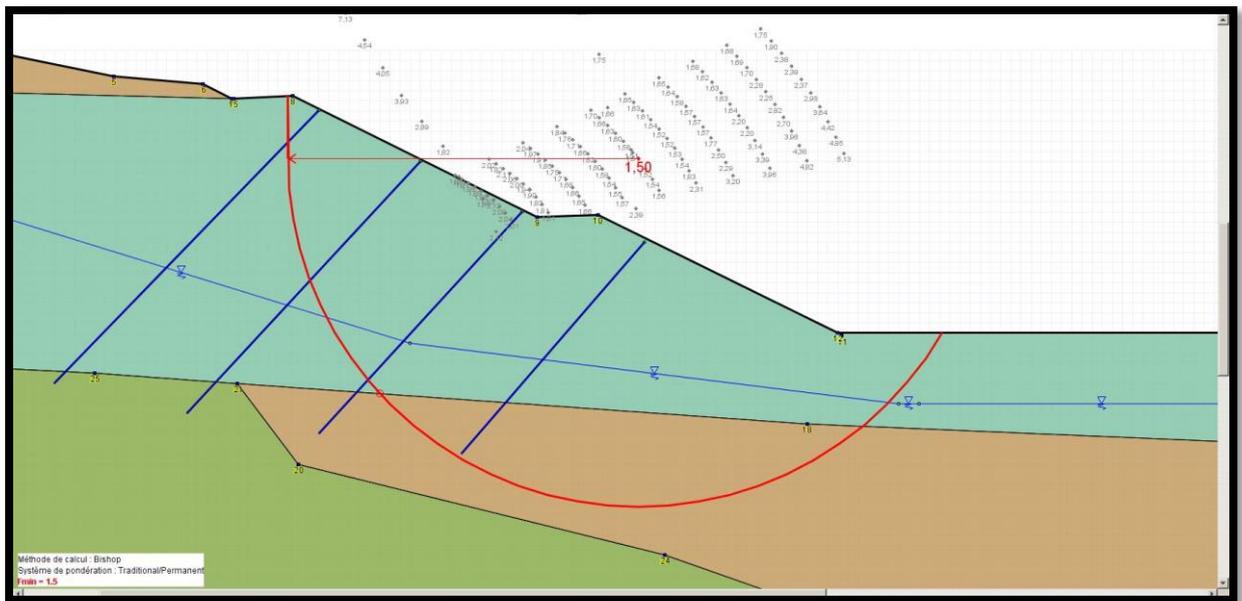


Figure 5- 4: Modélisation de talus avec le système de confortement "cas statique".

À l'état dynamique :

"Fs= 1,18>1".

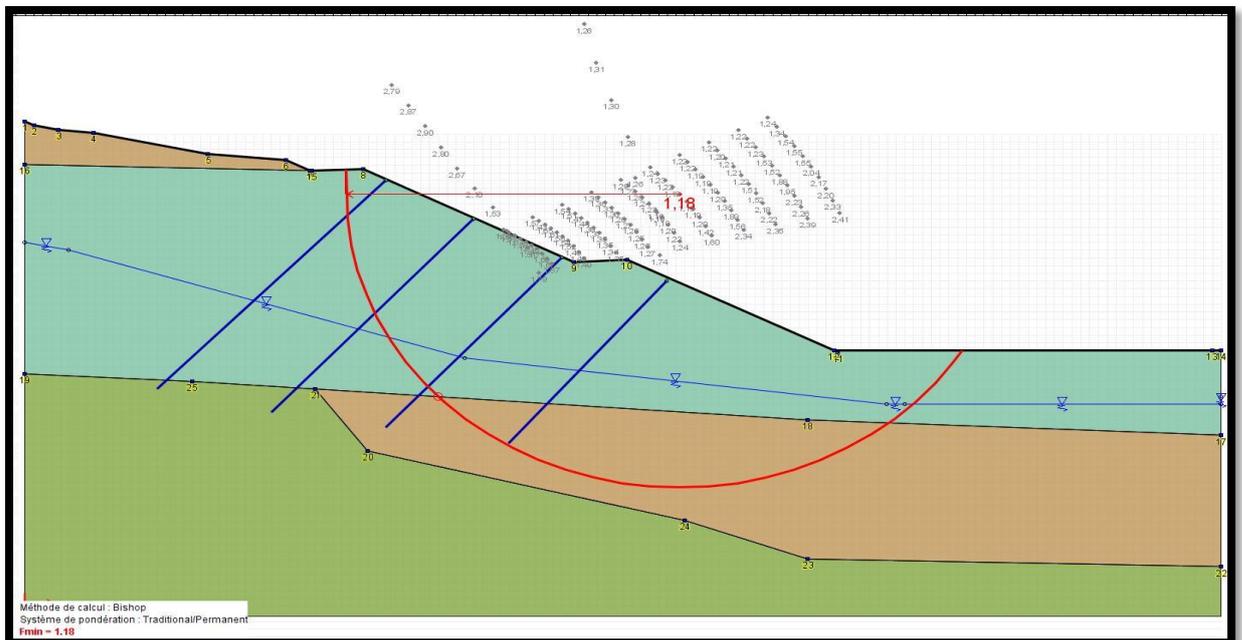


Figure 5- 5: Modélisation de talus avec le système de confortement "cas d'un séisme".

Nous résumons les résultats des factures de sécurité obtenus à partir du logiciel après le confortement dans le (**tableau 5-3**) suivant :

Tableau 5- 3: Les résultats de facture de sécurité après le renforcement.

	Les valeurs de facture de sécurité
À l'état statique	1,50
À l'état dynamique	1,18

Dans les deux cas Le F_s est vérifié, donc le talus est stable avec le clouage.

D'après le résultat de logiciel, le coefficient de sécurité " $F_s=1.18$ " (à l'état dynamique) est supérieur à 1, donc le talus est stable.

5-7- Conclusion:

Après que les résultats du logiciel aient montré que la pente était instable, nous avons dû recourir à des méthodes de renforcement, qui étaient des clous. Les résultats obtenus montrent que le facteur de sécurité de l'état sismique (l'état le plus défavorable) est supérieur à 1 et est de l'ordre de grandeur ($F_s=1,18$), rendant le remblai dans un état stable.

Conclusion Générale :

Le but des travaux menés dans ce mémoire est de déterminer la structure de corps de chaussée de la route reliant le pôle urbain Saf-Saf Meftah et la RN29 (Wilaya de BLIDA), d'une longueur totale de 2,5 kilomètres, et aussi une étude de stabilité de talus en déblai. Après une étude totale de site, nous avons obtenu ce qui suit :

D'après l'étude géomorphologique, nous avons trouvé que la zone d'étude comprend deux parties, la plaine de Mitidja : environ 3000 ha et la deuxième partie c'est des zones montagneuses.

Le terrain le long de la route est généralement argileux et sablonneux.

- La région de Meftah a un climat méditerranéen, avec des étés très secs et doux, des hivers pluvieux et frais, et une pluviométrie annuelle de 641 mm
- La zone d'étude est classée en Zone II b, qui est hautement active sur le plan sismique selon les lois et règlements sismiques de l'Algérie
- Le niveau de la nappe phréatique fluctue en hiver, ce qui nécessite une mesure de pression de l'eau.
- Sur la base des résultats et de l'interprétation des sondages carottages et les puits de reconnaissances, nous avons constaté que selon la classification GTR, les sols rencontrés appartiennent à la classe B (contenant des sols sableux et graveleux à grains fins) et à la sous-classe B5m.
- à partir de les méthodes (CTTP et CBR) on a choisi deux structures de chaussée sont les suivantes :
 - La structure choisie dans la méthode CBR c'est : Couche de roulement en BB de 8 cm, couche de base en GB de 14 cm, couche de fondation en GNT de 15cm, couche de forme en T.V.O de 35 cm.
 - Pour la méthode CTTP, Couche de roulement en BB de 8 cm, couche de base en GB de 12 cm couche de fondation en GNT de 20 cm et couche de forme en T.V.O de 35cm.
- La structure choisie est de la méthode CBR, car elle nous donne des épaisseurs moins importantes, contrairement à la méthode CTTP, donc c'est une méthode économique et aussi conservatrice.
- Le talus en déblai est instable, donc on a renforcé par les clous.

Après le renforcement, la pente s'est stabilisée avec un coefficient de sécurité $F_s = 1,18 > 1$, en état dynamique.

Reference :

- [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] Site web.
- [8] MEBARKI.G (Avril, 2016) cours du module mécanique des milieux granulaires (méthode CBR), l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [9] Peyronne (octobre, 1991), cours de routes dimensionnement des chaussées, 2^{ème} édition presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [10] Peyronne (octobre, 1991), cours de routes dimensionnement des chaussées, 2^{ème} édition presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [11] MEBARKI.G (Avril, 2016) cours du module mécanique des milieux granulaires (méthode CBR), l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [12] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [13] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [14] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [15] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [16] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [17] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [18] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [19] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation.
- [20] Google Earth.
- [21] Rapport technique (Cosider).
- [22] Google (site Web).

Annexes

Annexes A :

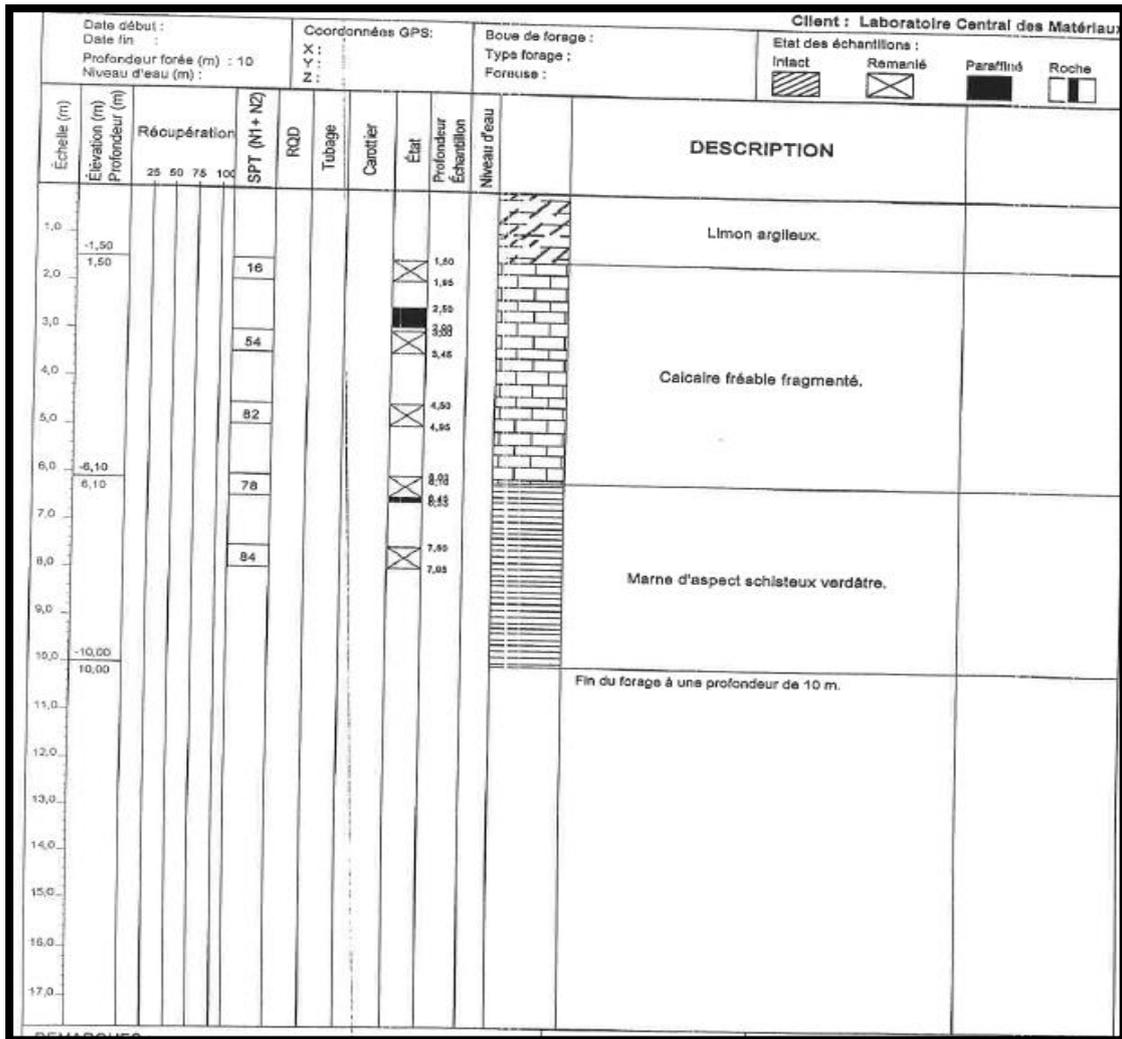


Figure A-1 : Sondages carottés pour SCD-06.

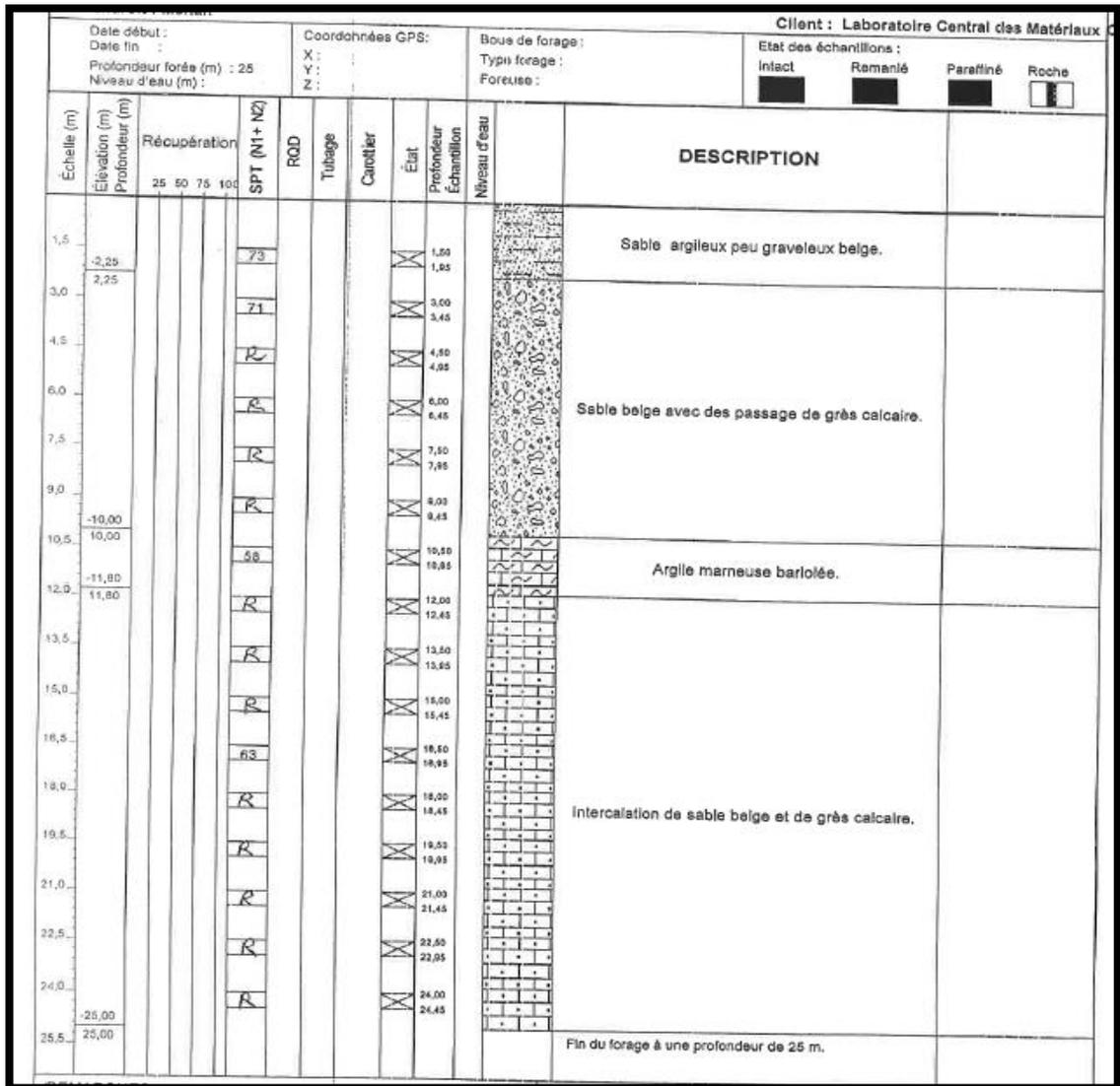


Figure A-2 : Sondage carottée pour SCR-02.

Annexe B :

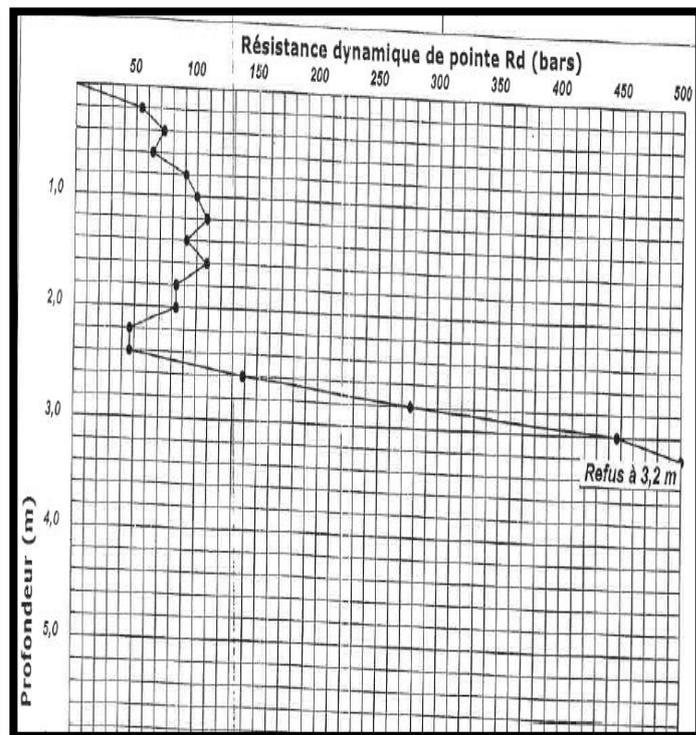
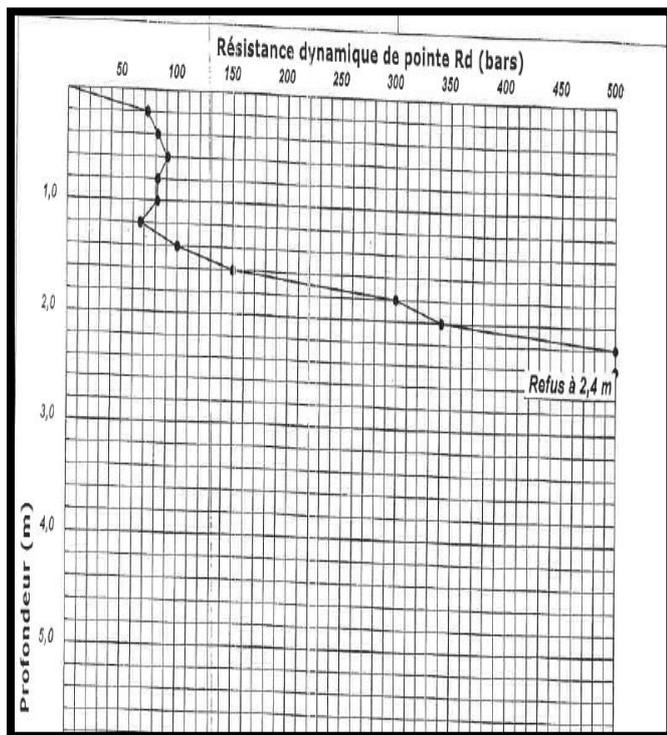
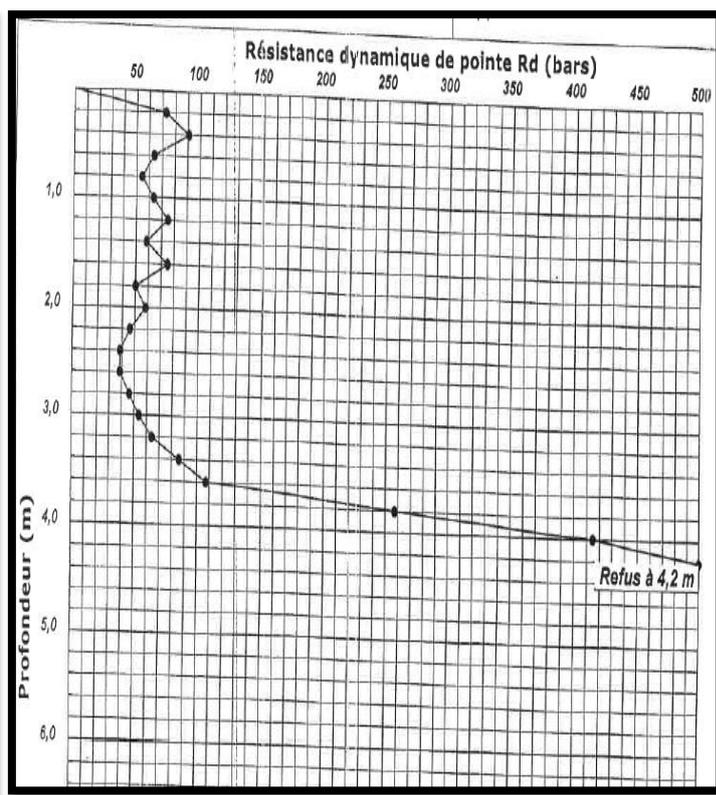
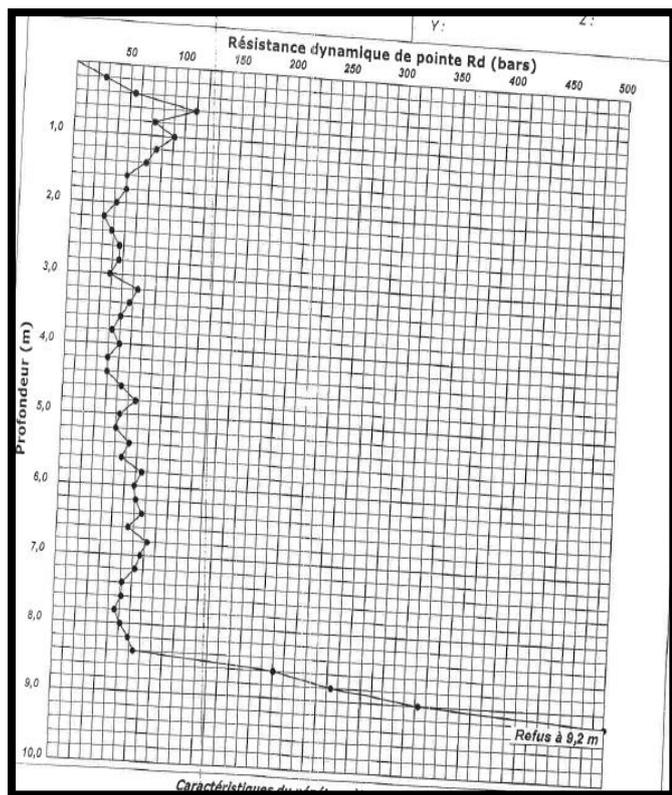


Figure B-3 : Courbes de les Pénétration dynamique lords.

Annexe C :

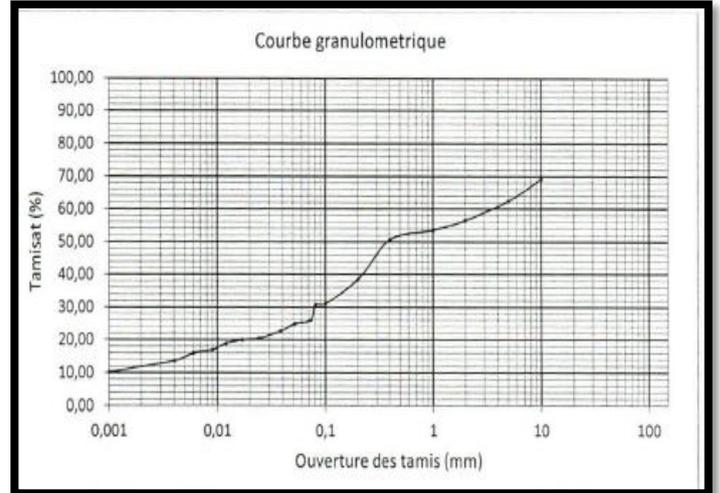
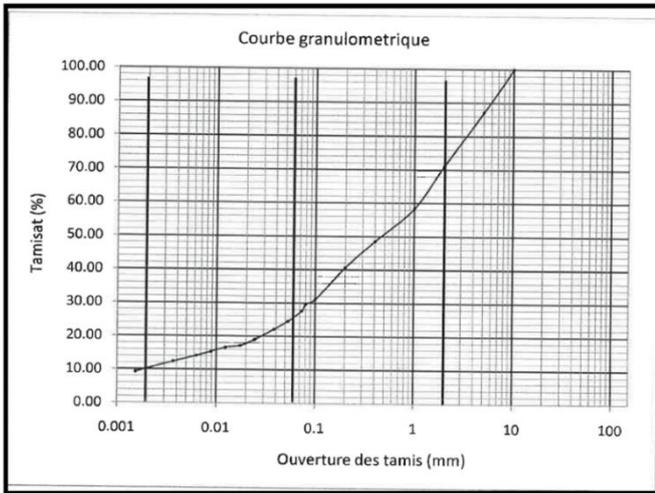


Figure C-7 : Courbe granulométrique pour SC D-06 et SC R-02.

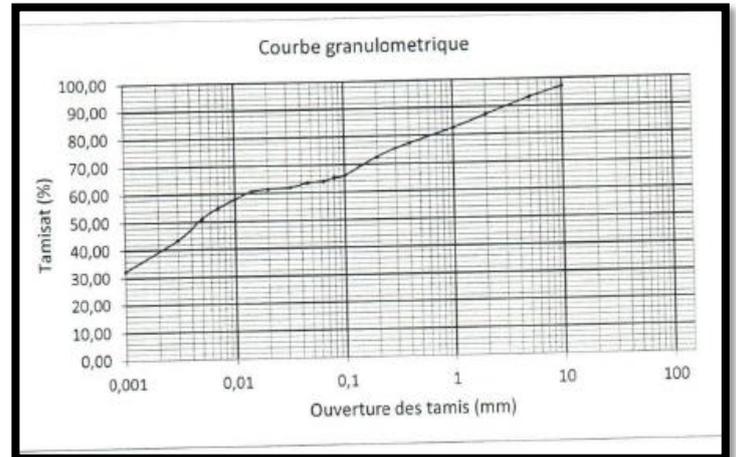
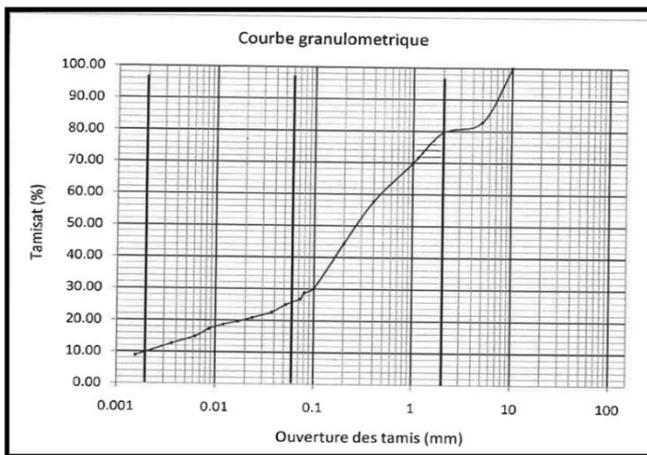


Figure C-8 : Courbe granulométrique pour SC D-06 et SC R-02.

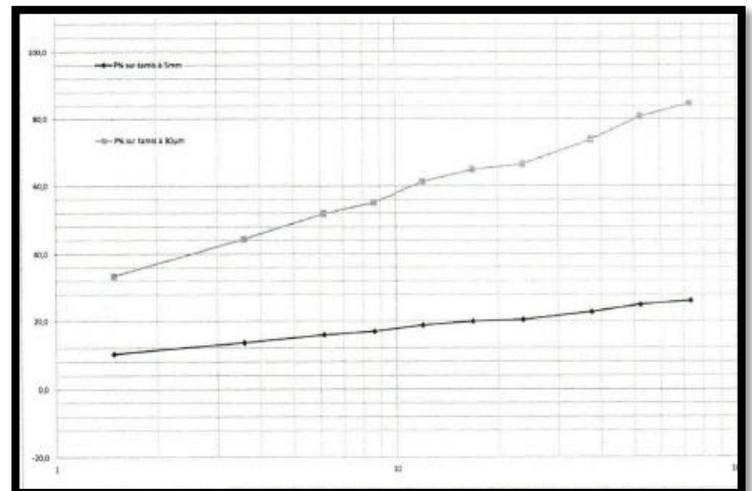
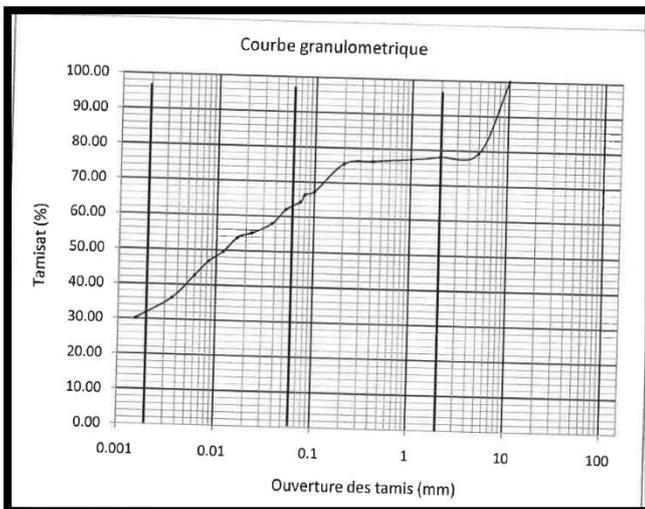


Figure C-9 : Courbe granulométrique pour SC D-06 et SC R-02.

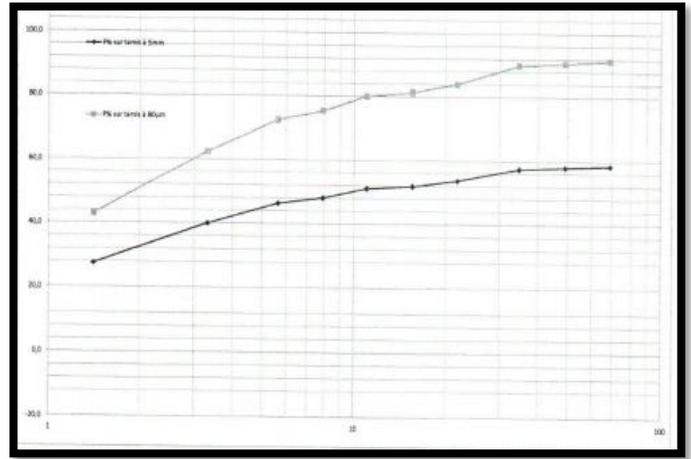
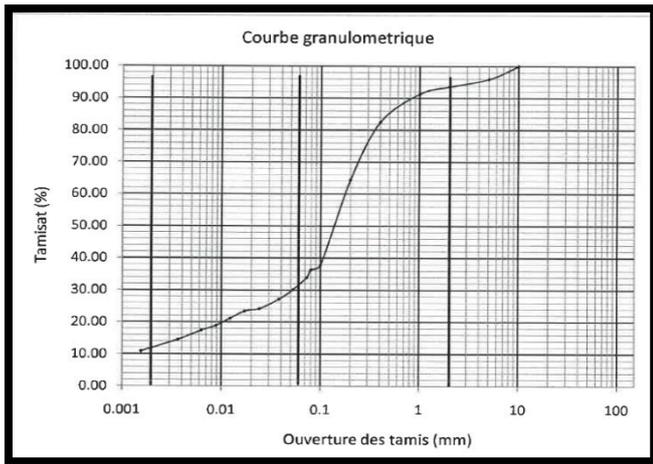


Figure C-10 : Courbe granulométrique pour SC D-06 et SC R-02.

Annexe D :

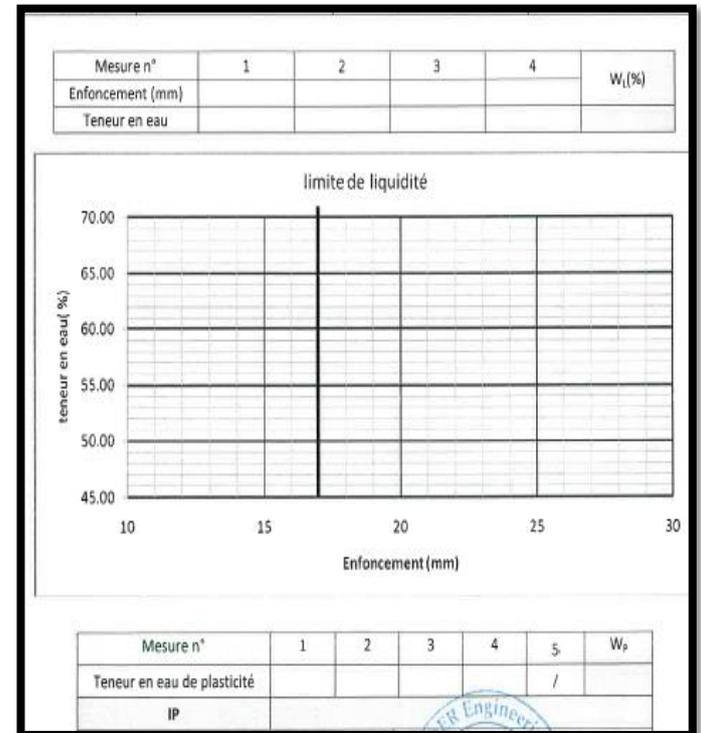
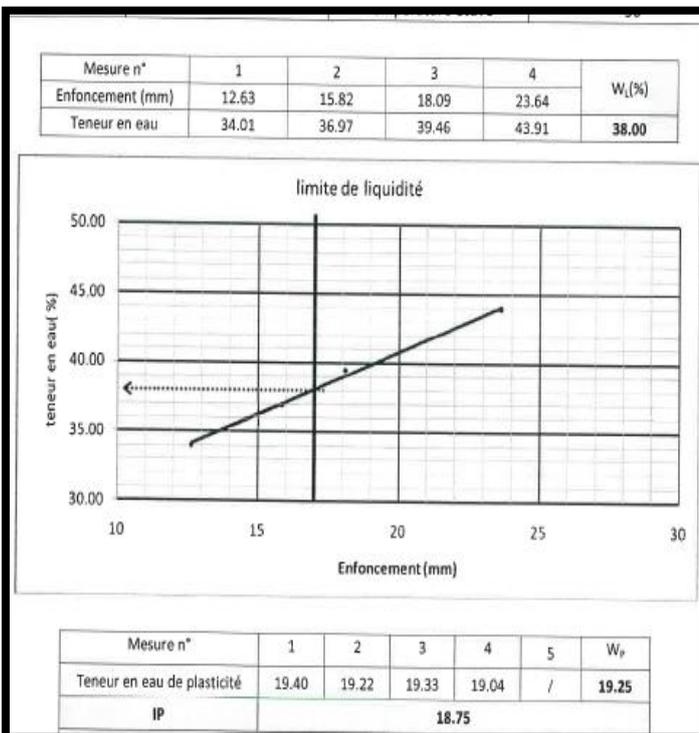
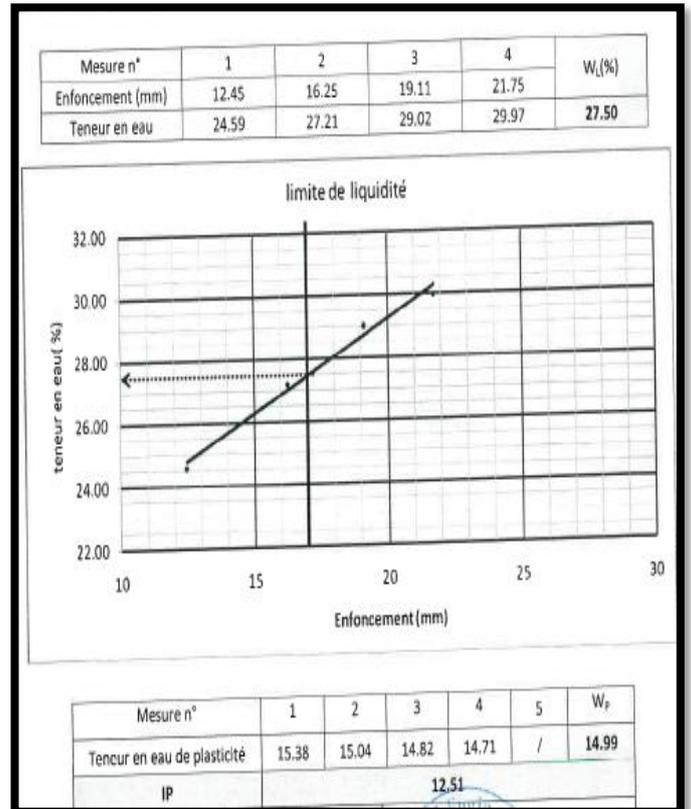
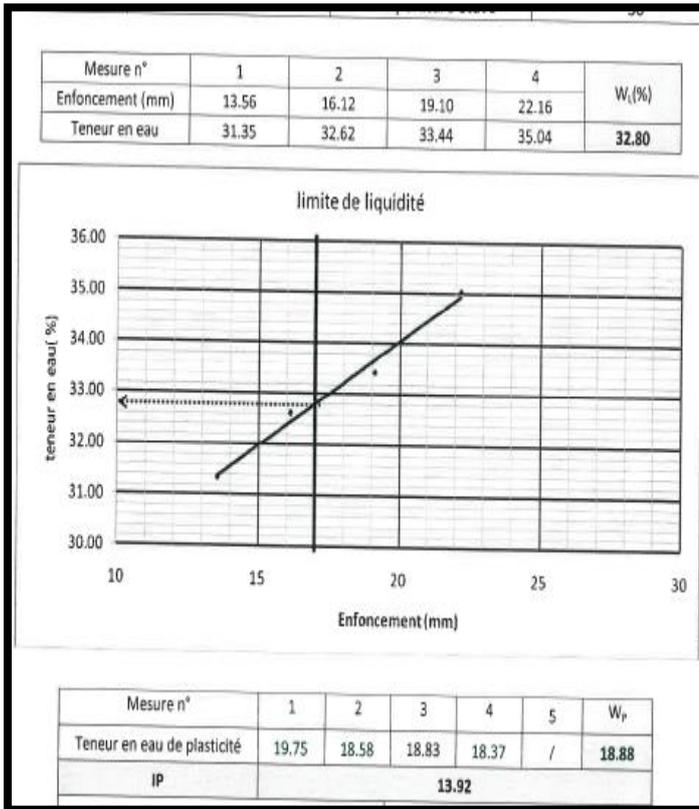


Figure D-11 : Résultats de l'essai de limite d'atterberg (Pk 1+300).

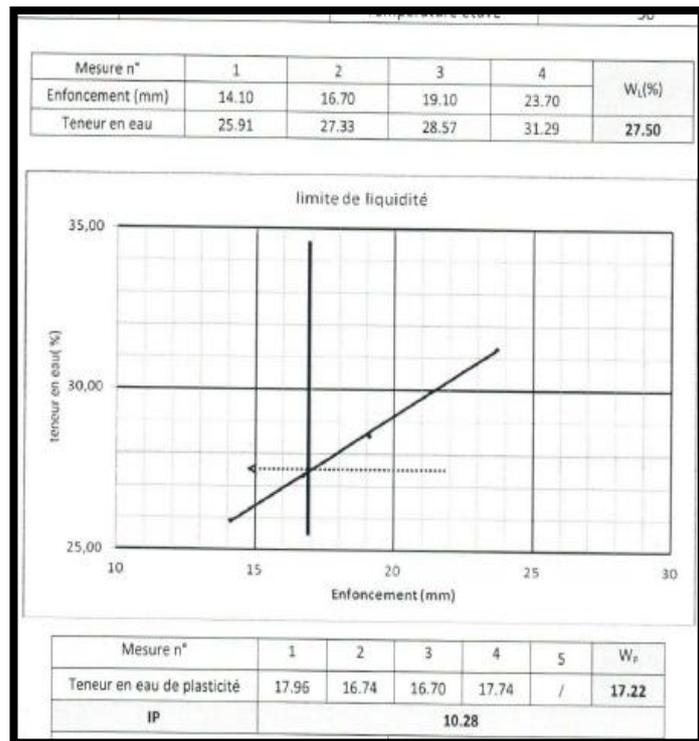
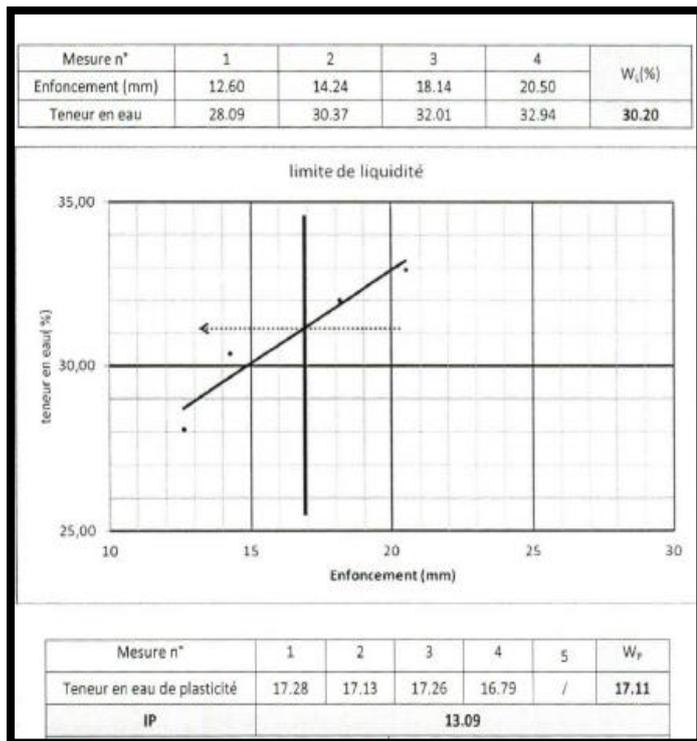


Figure D-12 : Résultats de l'essai de limite d'atterberg (Pk 1+760).

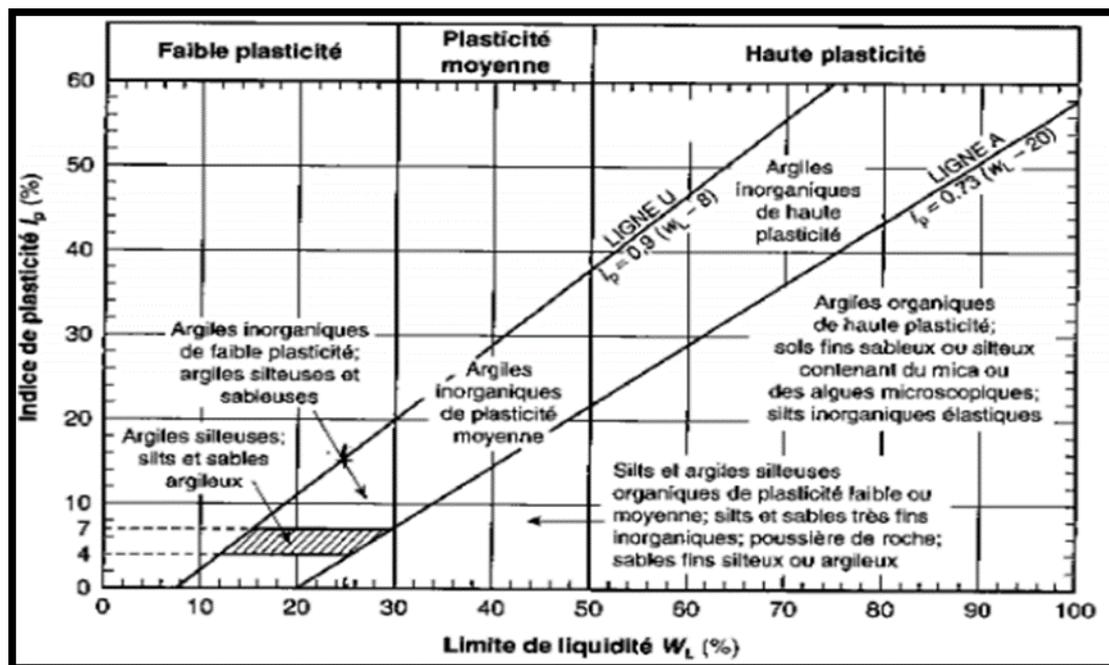


Figure D-13 : Diagramme de plasticité.

Annexe E :

Tableau E-1 : Classification du sol en fonction de la masse volumique selon (XP P94-011).

État	Masse volumique (kg/m^3)
Peu dense	$\gamma_d < 1.6$
Dense	$1600 < \gamma_d < 1800$
Très dense	$\gamma_d > 1800$

Annexe F :

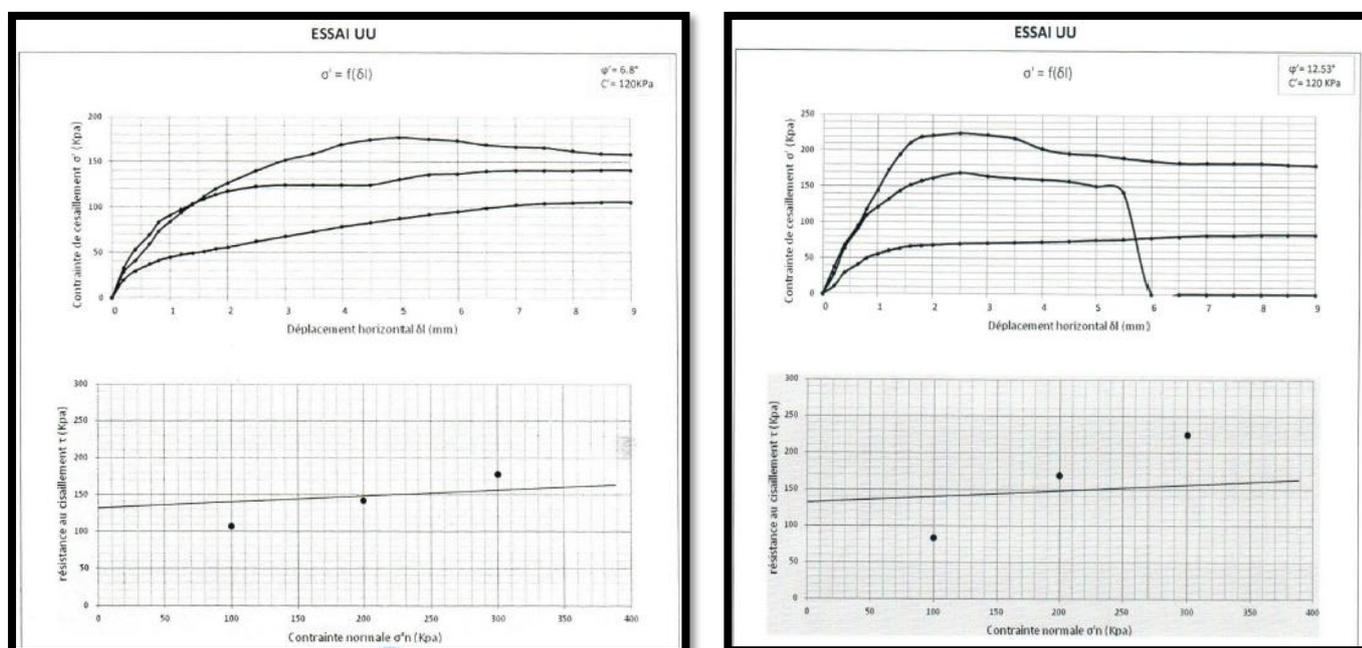


Figure F-14 : Résultats de l'essai de cisaillement à la boîte de Casa grande.

Tableau F-2 : Classification du sol en fonction de la cohésion non drainé C_u selon (XP P94-011).

Sol	cohésion non drainé
Liquide à très mou	<20
Mou	20 à 40
Plastique	40 à 75
Ferme	75 a150
Très ferme	150 à 300
Dur	> 300

Tableau F-3 : Classification du sol en fonction de coefficient de compressibilité selon (G.SANGLERAT)

Etat	Coefficient de compressibilité
Slo incompressible	$C_c < 0.02$
Sol très peu compressible	$0.02 < C_c < 0.05$
Sol peu compressible	$0.05 < C_c < 0.1$
Sol moyennement compressible	$0.1 < C_c < 0.2$
Sol assez compressible	$0.2 < C_c < 0.3$
Sol très compressible	$0.3 < C_c < 0.5$
Sol extrêmement compressible	$C_c > 0.5$

Annexe G :

Classe B (suite)		Tableau 2 - Classification des sols sableux ou graveleux, avec fines							
← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS →									
← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →									
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement		
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	B	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS > 0,2	B₄ Graves argileuses (peu argileuses)...	IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 7 ou W _n ≥ 1,25 W _{OPN}	B ₄ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ th		
				7 < IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 15 ou 1,10 W _{OPN} ≤ W _n < 1,25 W _{OPN}	B ₄ h	LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ th		
				0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,10 W _{OPN}	B ₄ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ h		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ h		
				0,6 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	B ₄ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ m		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ m		
				W _n < 0,6 W _{OPN}	B ₄ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ s		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ s		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₁ ts		
				LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ ts				
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS < 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p ≤ 12	B₅ Sables et graves très silteux...	tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS < 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p ≤ 12	B₅ Sables et graves très silteux...	IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 5 ou W _n ≥ 1,25 W _{OPN}	B ₅ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ th
						5 < IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 12 ou 1,1 W _{OPN} ≤ W _n < 1,25 W _{OPN}	B ₅ h	LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ th
						12 < IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 30 ou 0,9 W _{OPN} ≤ W _n < 1,10 W _{OPN}	B ₅ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ h
								LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ h
						0,6 W _{OPN} ≤ W _n < 0,9 W _{OPN}	B ₅ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ m
								LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ m
						W _n < 0,6 W _{OPN}	B ₅ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ s
								LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ s
						LA > 45 et MDE > 45	B ₅₁ ts		
		LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ ts						
tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p > 12	B₆ Sables et graves argileux à très argileux	tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p > 12	B₆ Sables et graves argileux à très argileux	IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 4 ou W _n ≥ 1,3 W _{OPN} ou I _p ≤ 0,8	B ₆ th				
				4 < IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 10 ou 0,8 < I _c ≤ 1 ou 1,1 W _{OPN} ≤ W _n < 1,3 W _{OPN}	B ₆ h				
				10 < IP ₁ ⁽¹⁾ ≤ 25 ou 1 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 W _{OPN} ≤ W _n ⁽¹⁾ < 1,1 W _{OPN}	B ₆ m				
				0,7 W _{OPN} ≤ W _n ⁽¹⁾ < 0,9 W _{OPN} ou 1,2 < I _p ≤ 1,3	B ₆ s				
				W _n ⁽¹⁾ < 0,7 W _{OPN} ou I _p > 1,3	B ₆ ts				

⁽¹⁾ Paramètres dont le choix est à privilégier

Figure G-15 : Le guide de terrassement routier.