

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE MASTER EN GÉNIE CIVIL

Spécialité : Géotechnique

ANALYSE ET CONCEPTION DU CORPS DE CHAUSSEE ET DE
L'INFRASTRUCTURE D'UN PONT, DU L'ECHANGEUR DE
DJEBAHIA, SE SITUE AU NIVEAU DU PK 529+306 DE
L'AUTOROUTE EST OUEST

Soutenu par :

HAMADACHE RAMDANE

&

BENARAFI IBRAHIM

Promoteur :

Dr. KERFOUF HAMID

Blida 2021

REMERCIEMENTS

Louange à ALLAH le saint tout puissant miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous adressons nos remerciements à notre encadreur monsieur KERFOUF HAMID, de nous avoir guidé pour la réalisation de ce travail, à la fois présent et disponible, il a encouragé nos initiatives à travers la grande liberté d'action qu'il nous a octroyée.

Nous voudrions remercier les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, et qu'ils nous feront l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants de Géotechnique qui ont contribué à notre formation.

Nos remercions aussi nos amis et nous collègues de la section de géotechniques promo 2020-2021, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui
m'ont soutenu
tout au long de mon cursus.

À mes frères Farouk, Mounir, Otman, et Riad.

À ma sœur Bouchra.

À mes très chers neveux Inas, Rokaya et Ihssan.

Je le dédie aussi à toute ma famille et mes amis.

À Toute la promotion de génie civil, particulièrement la
promotion
Géotechniques

Ramdane.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*Mes parents qui m'ont soutenu durant ces années
d'études.*

*Mes frères et sœurs et tous ceux qui ont partagé avec moi
les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.*

*A tous mes amis qui m'ont encouragé et à qui je leurs
souhaite plus de succès.*

A tous ceux que j'aime.

Ibrahim.

RESUME

Notre projet situe à Djebahia (wilaya de bouira), se situe au niveau du Pk 529+306 de l'Autoroute Est Ouest il s'agit d'un échangeur composé de deux giratoires, d'un centre d'entretien et d'une gare de péage, permettant le raccordement et l'échange avec la route nationale RN5 et le chemin wilaya N°125, le franchissement de l'autoroute s'effectuera en passage supérieur.

Après la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des sols grâce à des essais de laboratoire et des essais in situ, le dimensionnement de la chaussée sera calculé à l'aide des méthodes bien définies et il sera vérifié avec le logiciel ALIZE.

Pour les ouvrages d'arts, l'étude consiste à dimensionner les fondations.

ملخص

يقع مشروعنا في "الجباحية" (ولاية البويرة) على مستوى النقطة الكيلومترية 529+306 من طريق السيارة شرق الغرب، يتكون من محورين دوارين و مركز صيانة و محطة دفع الرسوم، مما يسمح بالاتصال وتبادل الطريق الولائي رقم 125 مع الطريق الوطني رقم 5، يتم عبور الطريق السيارة عبر جسر علوي بعد تحديد الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للتربة الواقعة عليها الطريق يتم حساب سمك قارة الطريق ثم يتم فحصها عن طريق برنامج « ALIZE »
من اجل المنشأة الفنية يجب دراسة قدرة التربة على الحمولة لتحديد نوعية الأساسات .

Abstract

After determining the physical and mechanical characteristics of the soils through the laboratory tests and field trials, the design of the pavement will be calculated using well defined methods and it will be verified with the ALIZE software, for the art works, the study is to design the foundation.

Our project located in Djebahia (wilaya of bouira), is located at Pk 529 + 306 of the East West Motorway, it is an interchange made up of two roundabouts, a maintenance center and a toll station, allowing the connection and interchange with the national road RN5 and the wilaya road N ° 125, the crossing of the motorway will be carried out in overpass.

Liste des symboles

Symboles	Significations	Unités
IP	indice de plasticité	(%)
VBS	valeur au bleu de méthylène	(%)
FS	friabilité des sables	(%)
Ic	indice de consistance	-
IPI	indice de portance immédiat	-
Wn	teneur en eau naturelle	(%)
Wopn	teneur en eau optimum proctor normal.	(%)
WI	limite de liquidité	(%)
Dmax	diamètre de plus gros granulat.	M
ρd	masse volumique (densité).	Kg/m ³
Téq	trafic équivalent	
e	épaisseur équivalente	Cm
ICBR	indice CBR	-
P	charge par roue égale à 6.5t (essieu 13t)	t
Log	logarithme décimale	-
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	(%)

Kd	facteur lié aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique	-
E	module de Young	MPa
$\sigma(t,ad)$	contrainte admissible de traction	KPa
σt	contrainte de traction	KPa
ϵt	déformation horizontale (traction)	-
ϵz	déformation verticale (compression)	-
FR	Coefficient de fragmentation	-
C	la cohésion	KPa
φ	angle de frottement	°
U	pression interstielle d'eau	KPa
Sr	degré de saturation	(%)
q0	contrainte verticale initiale à la base de la fondation après travaux de fondation	KPa
Kp	facteur de portance pressiométrique, fonction de la nature du sol juste sous la base de la fondation, et des dimensions de la fondation	-
V0	tassement en tête du pieu	Cm
Q	la charge de l'ouvrage appliquée sur le pieu	KN
Iv	facteur de tassement	-

TPLi	classe du trafic	PL/j/sens
i	taux d'accroissement géométrique égal à 0.04	(%)
a1, a2, a3	coefficients d'équivalence des matériaux des couches de la chaussée	-
e1, e2, e3	les épaisseurs réelles des couches de la chaussée	Cm
A	coefficient d'agressivité des PL par rapport à l'essieu de référence de 13t	-
Teq	température équivalente.	°C
r(%)	pourcentage de risque.	(%)
ϵ_6 (10°C, 25HZ)	déformation limite détenue au bout de 10 ⁶ cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).	-
Kθ	facteur lié à la température	-
Kne	facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supportés par la chaussée	-
Kr	facteur lié au risque et aux dispersions	-
Kc	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(D)	module de Young en tête du pieu	MPa
B	diamètre du pieu	m
W	Teneur en eau	(%)
wP	Limite de plasticité	-
γ_h	poids volumique humide du sol	KN/m ³
γ_d	poids volumique sec du sol	KN/m ³
CC	coefficient de compressibilité	-
Cg	coefficient de gonflement	-
PC	pression de compressibilité	bars
RC	resistance a la compression	bars
Pl	Pression limite	KPa
Pf	Pression de fluage	KPa
Em	Module pressiométrique	MPa
D	La fiche du pieu	m
γ	Poids volumique du sol	KN/m ³
Θ_{eq}	Température équivalente	°c
CaCo3	Carbonate	(%)
CO2	Anhydride Carbonique	(%)
NaCl	Chlorure	(%)
So42H2O	Sulfates	(%)
h	ancrage de la fondation dans la coucheporteuse	m
TCi	Trafic cumulé	PL/j/sens
TCEi	Trafic cumulé équivalent	essie u13t/ durée vie

γ_{sat}	Poids volumique saturé	KN/m ³
B	Largeur de la fondation superficielle	m
Pl*	Pression limite nette	KPa
Pl^{e*}	Pression limite équivalente nette	KPa
P0	pression horizontale des terres	KPa
K0	coefficient de pression des terres « au repos » égale=1 pour sol cohérent et 0.5 pour sol pulvérulents	-
Kp¹ et Kp⁰	correspondent respectivement à une semelle carrée et continue, sont donnés par des abaques.	-
ql	Capacité portante de la fondation	KPa
Fs	Coefficient de sécurité	-
QL	Charge limite	Kn
QP	pression vertical de pointe	Kn
QS	Terme de frottement latéral	Kn
qs	la contrainte de frottement latéral limite	KPa
De	fiche équivalente du pieu	m
v	Coefficient de Poisson d'un sol	-
Ep	module de Young du pieu en béton armé	MPa
E_{éq}	Module de Young équivalent d'un pieu	MPa

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.

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. des travaux publics

TVO : Tous venant de l'oued.

RPi : Niveau de réseau principal.

RP1 : Réseau principal niveau 1.

RP2 : Réseau principal niveau 2.

CW : Chemin de Wilaya.

TPLi : Classe du trafic.

TCEi : Trafic cumulé équivalent.

PMT : Essai pressiométrique de Ménard.

RPA: règlement parasismique Algérien.

SC: sondage carotté.

PS: sondage pressiométrique.

PK : point kilométrique.

CU : consolidé non drainé.

PU : puits de reconnaissance.

MNT : Matériaux non traités.

MTB : matériaux traités au bitume.

MTLH : matériaux traité 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.

Zu : zone utile.

Nfond : nombre de pieu fondamental.

Nacc : nombre de pieu accidentel.

Nrare : nombre de pieu rare.

NQp : nombre de pieu quasi-permanente.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Coupe transversale d'une chaussée. -----	3
Figure I.2 : Familles de structures de chaussée -----	5
Figure I.3: Principe d'un système multicouche. -----	9
Figure I.4: organigramme de démarche du catalogue CTTT. -----	12
Figure I.5: Classes TPLi pour RP1 et RP2-----	13
Figure I.6:les différentes types d'échangeur-----	19
Figure I.7: type de fondation en fonction de l'encrage D. -----	21
Figure I.8: Pieu sous charge axial-----	22
Figure I.9: Contrainte de frottement latéral limite q_s en fonction de PI^* . -----	26
Figure I.10: Dispositif général pour l'essai de chargement (Roger Frank). -----	31
Figure II.1:carte de la wilaya de Bouira-----	34
Figure II.2: Plan de situation-----	35
Figure II.3: Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500.000 (deuxième éditions).37	
Figure II.4: Précipitations annuelles moyennes de la zone d'étude-----	38
Figure II.5: Température moyenne mensuelles et annuelles à Bouira (1997-2007). ----	38
Figure II.6: carte de zonage sismique de l'Algérie. -----	40
Figure IV.1: détermination de la classe de portance de sol-support-----	67
Figure IV.2: Les épaisseurs des couches par la méthode du catalogue -----	71
Figure IV.3: Les épaisseurs des couches par la méthode du CBR -----	74
Figure IV.4: Mode de fonctionnement de la structure -----	75
Figure IV.5: épaisseurs des couches de la structure de chaussée (méthode CTTT). ----	79
Figure IV.6: les valeurs de déformations déterminées à partir de logiciel par la méthode CTTT. -----	80
Figure IV.7: épaisseurs des couches de la structure de chaussée (méthode CBR). ----	81
Figure IV.8 : les valeurs de déformations déterminées à partir de logiciel par la méthode CBR -----	82
Figure IV.9: coupe longitudinale de pont -----	84
Figure IV.10: Facteur de portance pressiométrique selon le DTU -----	88
Figure IV.11: Schéma de calcul de la pression limite nette équivalente.-----	91
Figure IV.12: Disposition possible des pieux. -----	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: coefficient d'équivalences et des épaisseurs des différents matériaux ----	11
Tableau II.1: zones sismiques en Algérie. -----	39
Tableau II.2: Les coefficients d'accélération-----	40
Tableau III.1: les résultats des essais laboratoire -----	45
Tableau III.2: classification des sols des 8 Puits selon le GTR -----	50
Tableau III.3: Classification des sols prélevés des puits du Gîte de KADIRIA -----	53
Tableau III.4: Classification des sols prélevés des puits du gîte BOUIRA -----	55
Tableau III.5: Le classement des roches en fonction de LA et MDE. -----	58
Tableau III.6: Carrières (Bouira). -----	58
Tableau III.7: Carrières (Aomar). -----	58
Tableau IV.1: Données du projet-----	62
Tableau IV.2: Valeur de coefficient d'agressivité A -----	64
Tableau IV.3: Structures disponibles dans le catalogue -----	65
Tableau IV.4: Présentation des classes de portance des sols (Si)-----	65
Tableau IV.5: Classes de portance de sol-support-----	66
Tableau IV.6: Sur classement avec couche de forme.-----	68
Tableau IV.7: Les Zones climatiques en Algérie -----	69
Tableau IV.8: Choix des températures équivalentes -----	69
Tableau IV.9: durée de vie adoptée. -----	69
Tableau IV.10: Risque adopté pour le réseau RP1.-----	70
Tableau IV.11: Représentation des résultats obtenus -----	73
Tableau IV.12: proposition des différentes couches-----	74
Tableau IV.13: performances mécaniques des matériaux bitumineux. -----	76
Tableau IV.14: Valeurs de $t = f(r\%)$ -----	77
Tableau IV.15: Les résultats des déformations admissibles (CCTP) et calculées. -----	80
Tableau IV.16: Les résultats des déformations admissibles(CBR) et calculées. -----	83
Tableau IV.17: Les résultats des deux méthodes -----	83
Tableau IV.18: valeurs des caractéristiques physiques des différentes couches.-----	84
Tableau IV.19: résultats des pressions limites, pressions des terres, et pressions limites nettes.-----	87
Tableau IV.20: résultats des pressions limites, pressions des terres, et pressions limites nettes.-----	92

Tableau IV.21: Catégories conventionnelles des sols. -----	93
Tableau IV.22: Valeurs du facteur de portance pressiométrique -----	94
Tableau IV.23: Courbes de frottement latéral limite. -----	96
Tableau IV.24: Résultats de calcul de q_s -----	97
Tableau IV.25: résultats de la corrélation des modules pressiométrique. -----	101

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
Resume	
ملخص	
Abstract	
Liste des symboles	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Chapitre I : Généralités sur les projets routiers -----	1
I.1 INTRODUCTION-----	1
I.2 LES CHAUSSEES :-----	1
I.2.1 Structure de la chaussée :-----	2
I.2.1.1 Sols supports -----	3
I.2.1.2 Couche de forme-----	4
I.2.1.3 Couches d'assise-----	4
I.2.1.4 Couche de roulement-----	5
I.3 DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEES :-----	6
I.3.1 Paramètres à considérer dans le dimensionnement -----	6
I.3.1.1 Le trafic :-----	6
I.3.1.2 Le sol support -----	6
I.3.1.3 Les matériaux -----	6
I.3.1.4 Environnement : -----	7
I.3.1.5 La durée de vie-----	7
I.3.2 Méthodes de dimensionnement des chaussées :-----	7
I.3.2.1 La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) :-----	7
I.3.2.2 Méthode américaine de l'AASHTO :-----	8

I.3.2.3	Méthode de CBR (California Bearing Ration) : -----	9
I.3.2.4	Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) : -----	11
I.3.3	Calcul des déformations admissibles sur le sol support : -----	15
I.3.3.1	Calcul des sollicitations admissibles : -----	15
I.3.3.2	vérification en fatigue des structures est de la déformation du solsupport : -----	16
I.4	L'ECHANGEUR -----	17
I.4.1	Les Ponts -----	17
I.4.2	Carrefour plan -----	18
I.4.3	Bretelles -----	18
I.4.4	Les différents types d'échangeurs : -----	18
I.4.5	Justification de l'échangeur : -----	19
I.5	LES OUVRAGES D'ART ROUTIERS -----	20
I.5.1	Fondations des ouvrages d'art (ponts) -----	20
I.5.2	Les méthodes de calcul de la capacité portante -----	22
I.5.2.1	Méthodes basées sur les essais à laboratoire -----	23
I.5.2.2	Méthodes basées sur les essais in-situ : -----	23
I.5.2.2.1	L'essai pressiométrique : -----	23
I.5.2.2.2	L'essai pénétromètre statique -----	26
I.5.2.2.3	l'essai de pénétromètre dynamique : -----	29
I.5.2.2.4	l'essai de pénétromètre standard : -----	29
I.5.2.3	l'essai de chargement statique : -----	30
I.5.3	Tassement des fondations : -----	31
I.5.3.1	Tassement des pieux : -----	32
I.6	CONCLUSION : -----	33
Chapitre II	: Présentation de projet et le site -----	34
II.1	INTRODUCTION : -----	34

II.2 INFORMATIONS RELATIVES A LA LOCALITE -----	34
II.3 DESCRIPTION DU PROJET :-----	35
II.4 CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE -----	35
II.4.1 Géologie Régionale -----	35
II.4.2 la géologie du site -----	36
II.5 LE CLIMAT-----	37
II.5.1 Les précipitations -----	37
II.5.2 La température -----	38
II.6 SISMICITE : -----	39
II.7 CONCLUSION : -----	41
Chapitre III : Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR -----	42
III.1 INTRODUCTION : -----	42
III.2 RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUES -----	42
III.2.1 Programme de reconnaissance-----	42
III.2.2 Description des sols rencontrés-----	42
III.3 ESSAIS EN LABORATOIRE-----	44
III.3.1 Programme des essais-----	44
III.4 CLASSIFICATIONS DES SOLS DES PUIITS SELON LE GTR :-----	45
III.5 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SOLS -----	50
III.6 CARACTERISTIQUES MECANQUES -----	51
III.7 GITE DE MATERIAUX MEUBLES ET CARRIERE :-----	52
III.7.1 Gites a matériaux -----	52
III.7.1.1 Gîtes de KADIRIA -----	52
III.7.1.2 Gîte de BOUIRA: -----	54
III.7.1.3 Condition d'utilisation des matériaux :-----	56
III.7.1.3.1 Gîtes pour remblais et couche de forme : -----	56

III.7.2 Les Carrières :	57
III.7.2.1 Les Carrières D'agrégat Pour La Construction De Chaussée :	58
III.7.2.2 Caractéristiques Des Granulats :	59
III.8 CONCLUSION	60
Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art	61
IV.1 INTRODUCTION	61
IV.2 DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	62
IV.2.1 Méthode Du Catalogue Algérien	62
IV.2.1.1 Les Calculs Du Trafic	62
IV.2.1.2 Détermination de la structure type du corps de chaussée	64
IV.2.1.3 Détermination de la portance du sol-support	65
IV.2.1.4 La zone climatique :	68
IV.2.1.5 La durée de vie :	69
IV.2.1.6 Risque de calcul :	70
IV.2.1.7 Structure finale :	71
IV.2.2 La Méthode de dimensionnement « CBR » :	71
IV.2.3 Modélisation des structures type et calcul des déformations	75
IV.2.3.1 Calcul de la déformation admissible de traction $\epsilon_{t,adm}$ pour les matériaux traités au bitume.	75
IV.2.3.2 calcul de la déformation admissible sur le sol support ($\epsilon_{z,adm}$) :	78
IV.2.3.3 Vérification des résultats de calcul par Alize III	78
IV.2.3.3.1 Présentation de logiciel ALIZE III :	78
IV.2.3.3.2 Vérification des résultats de Méthode catalogue CTPP	78
IV.2.3.3.3 Vérification des résultats de Méthode CBR	81
IV.2.4 Conclusion :	83
IV.3 CALCUL DES FONDATIONS DE L'OUVRAGE D'ART	84

IV.3.1 calcul de la capacité portante des fondations par la méthode pressiométrique	
:-----	85
IV.3.1.1 Etapes de calcul de la méthode PMT : -----	85
IV.3.1.2 Calcul de nombre des pieux :-----	99
IV.3.1.3 Tassement d'un pieu isolé :-----	99
IV.3.1.4 Conclusion-----	103

Conclusion générale

Annexe

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le réseau routier joue un rôle essentiel dans le développement d'un pays car il représente une base sur laquelle se fonde plusieurs secteurs tels que le transport des biens et des personnes. Donc il est le moyen vital de l'économie et du développement social d'un pays. Ainsi la croissance socio- économique impose au secteur des travaux publics l'extension de réseau routier.

L'Algérie compte en 2019, un réseau autoroutier d'environ 1 439 km en 2x3 voies. Il s'agit du troisième réseau autoroutier au niveau africain après celui du Maroc et d'Afrique du Sud.

Le réseau autoroutier algérien est exploité par l'Algérienne des autoroutes (ADA). Pour le moment, l'ensemble du réseau autoroutier algérien est sans péage. Maintenant, Les gares de péages sont en cours de réalisation

Parmi ces gares, on trouve la gare de DJABAHIA (W.BOUIRA), qui a besoin d'un échangeur avec pont, dont nous étudier de l'infrastructure

Le travail que nous allons présenter dans ce mémoire a pour objet après analyse des données obtenus de l'étude géotechnique sont :

➤ la conception de la chaussée d'un tronçon routier pour la gare de péage, au niveau du Pk 529+306 de l'Autoroute Est Ouest, Lot centre Section 5.3 (M2), dans la commune de Djebahia, de la wilaya de Bouira.

➤ Calcul le meilleure choix des fondations pour la réalisation de pont

Pour ce faire et afin d'atteindre le but visé, notre mémoire suivra le plan présenté ci-dessous :

Chapitre I : Généralités sur les projets routiers

I.1 INTRODUCTION

Les terrains naturels, sont incapables de supporter un trafic soutenu de véhicules lourds, le rôle d'une chaussée est de pallier à cette inaptitude, elle sera constituée par la superposition de plusieurs couches de matériaux, C'est pour la route, l'équivalent des fondations d'une maison qui vont permettre à la couche de roulement de ne point se déformer sous le passage des poids lourds.

En effet le sol est incapable de supporter le trafic et le corps de chaussée va répartir les charges roulantes évitant ainsi les déformations du sol support.

Le projet routier est souvent sujet à un obstacle (AutoRoute) qui doit être franchi par la réalisation d'un ouvrage, le franchissement de l'autoroute s'effectuera en passage supérieur par un pont.

Au cours de ce chapitre, des données sur les chaussées (structure, types matériaux, dimensionnement), Les fondation utilisable dans les ouvrages d'arts tel que les ponts, seront présentés et détaillés dans ce qui suit.

I.2 LES CHAUSSEES :

Les structures des chaussées constituent l'ensemble des couches très complexes, ceci est dû essentiellement à un ensemble de variables qui interagissent et influencent aussi bien la conception que les performances des chaussées

Chaque couche composant la structure de chaussée joue un rôle déterminant sur les performances ultérieures. Les matériaux constitutifs des différentes couches doivent présenter des propriétés leur permettant d'être aptes à assurer le rôle respectif de chaque couche.

La structure de chaussée sera établie selon ses propriétés. Bien que le sol support, qui constitue l'infrastructure d'une chaussée, ne soit pas souvent considéré comme une couche, ses caractéristiques influencent la conception d'une chaussée. [4]

I.2.1 Structure de la chaussée :

Une chaussée est constituée de plusieurs couches mises en œuvre sur un sol terrassé appelé sol support.

Le sol support est généralement surmonté d'une couche de forme dont la fonction est double : pendant les travaux, elle permet la circulation des engins, tandis que d'un point de vue mécanique, elle permet de rendre plus homogène le sol support et de le protéger du gel. Le corps de la chaussée proprement dit est constitué de deux types de couche, les couches d'assise et la couche de surface. L'assise de la chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation et, par-dessus, la couche de base. Ces couches, généralement constituées de matériaux liés, permettent à la chaussée de résister mécaniquement aux charges induites par le trafic. Quant à la couche de surface, elle est constituée de la couche de roulement (ou d'usure) qui subit directement les agressions du trafic et du climat, à laquelle s'ajoute éventuellement une couche de liaison, chargée d'assurer la liaison entre la couche de roulement et l'assise. Ces différentes couches sont représentées sur la Figure I.1 [1]

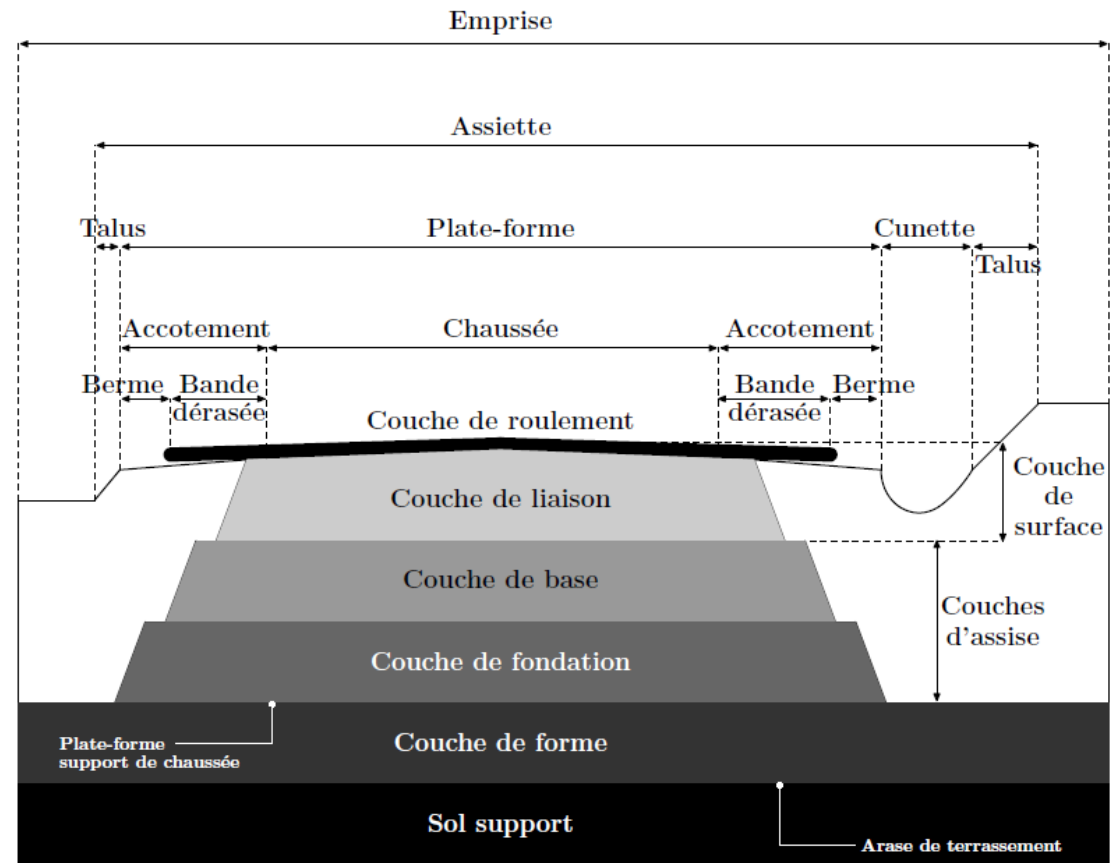


Figure I.1: Coupe transversale d'une chaussée.

Chaque couche constituant la chaussée joue un rôle important dans la structure, les différents rôles sont donnés comme suit :

I.2.1.1 Sols supports

Le sol support constitue la plate-forme sur laquelle repose la chaussée. Le sol support est éventuellement surmonté d'une couche de forme en matériaux sélectionnés ou traités. Un sol support doit [2] :

- Offrir une assise convenable pour le compactage des couches de chaussée et doit donc être suffisamment rigide.
- Cette rigidité ne doit pas se détériorer pendant la période qui sépare l'exécution des terrassements et la réalisation de la chaussée, elle doit donc être peu sensible aux intempéries.
- Elle doit, par sa rigidité, participer au fonctionnement de la chaussée. [2]

I.2.1.2 Couche de forme

À court terme, la couche de forme doit assurer la traficabilité quasi tout temps des engins approvisionnant

Les matériaux de la couche de fondation, permettre le compactage efficace de la couche de fondation, satisfaire les exigences de nivellement de la plate-forme support de chaussée et assurer la protection de l'arase de terrassement vis-à-vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée.

À long terme, elle doit permettre d'homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante, de maintenir dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade du dimensionnement de la structure de chaussée et d'améliorer la portance de la plateforme pour optimiser le coût de l'ensemble couche de forme - structure de chaussée. [1]

I.2.1.3 Couches d'assise

On distingue six types d'assise (Figure I.2) :

- les chaussées souples, dont les matériaux ne sont pas traités par un liant.
- les chaussées semi-rigides épaisses, dont les matériaux sont traités avec un liant hydraulique (ciment, laitier, cendre volante).
- les chaussées rigides, qui sont réalisées en béton de ciment, ce type de chaussée a un comportement très particulier et son entretien est totalement différent des deux autres types.
- les chaussées bitumineuses épaisses, dont les matériaux sont traités avec un liant hydrocarboné (bitume).
- les chaussées à structure mixte, alliant une couche traitée aux liants hydrauliques et une couche traitée aux liants hydrocarbonés.
- les chaussées à structure inverse, alliant une couche traitée aux liants hydrauliques, une couche traitée aux liants hydrocarbonés et une couche non traitée. [1]

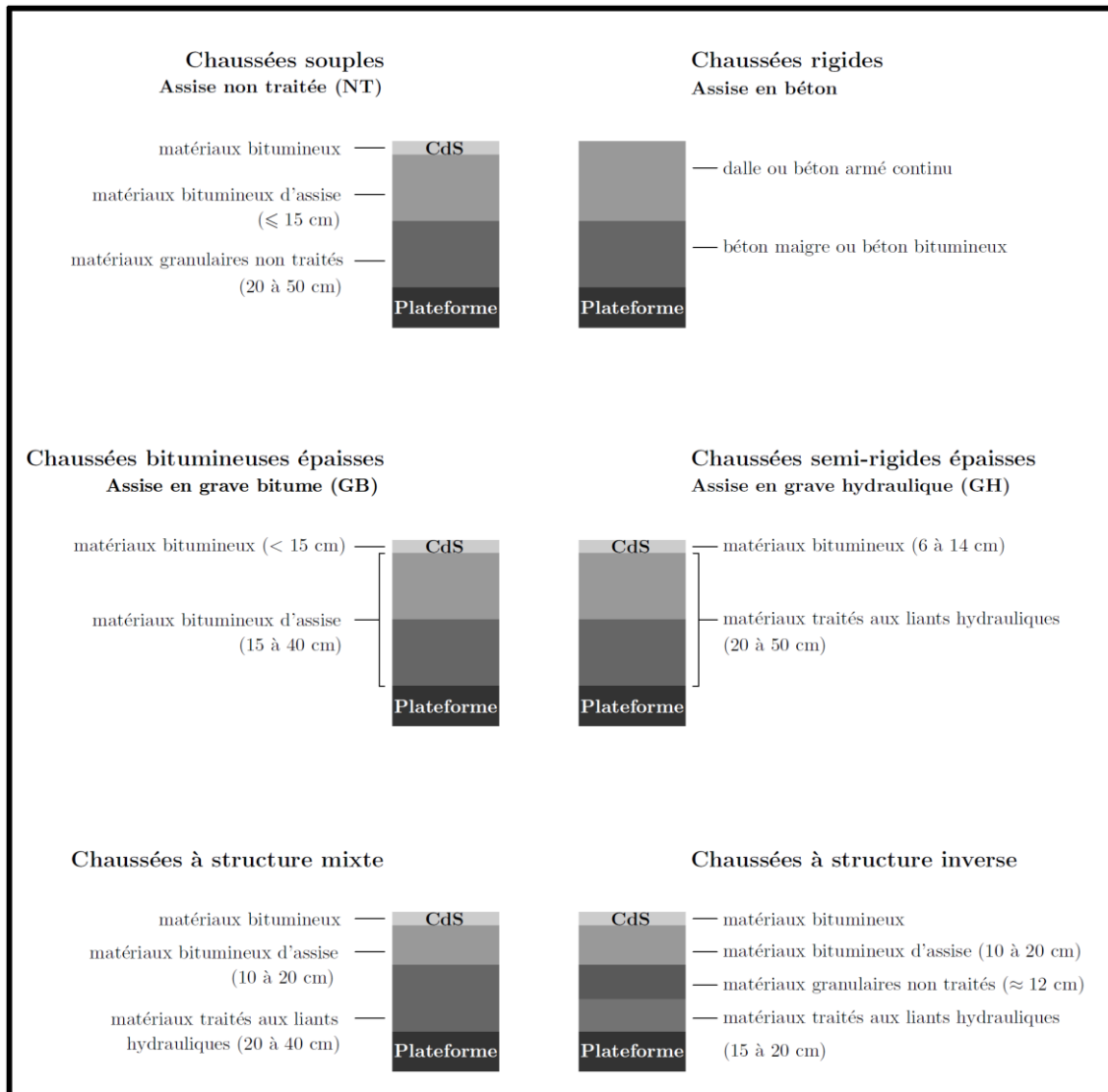


Figure I.2 : Familles de structures de chaussée

I.2.1.4 Couche de roulement

Concernant les types de matériaux bitumineux, citons :

- les enduits superficiels d'usure : monocouche, bicouche, en grave laitier, enduis coulé à froid (ECF).
- les enrobés coulés à chaud : béton bitumineux soit ultra-mince (BBUM), soit très mince (BBTM), soit mince (BBM), soit semi-grenu (BBSG), soit à module élevé (BBME), soit drainant (BBDr).
- les enrobés coulés à froid.
- les couches de roulement en béton de ciment mince collé (BCMC). [1]

I.3 DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEES :

Le dimensionnement de corps de chaussée constitue une étape importante dans l'étude d'un projet routier. Il s'agit simultanément de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée.

I.3.1 Paramètres à considérer dans le dimensionnement

Chaque méthode de dimensionnement est basée sur la connaissance des certains paramètres indispensables qui sont :

I.3.1.1 Le trafic :

Le trafic principalement poids lourd, est l'un des paramètres prépondérants dans la conception des structures de chaussées. Il intervient en fait d'abord dans le choix des matériaux puis dans le dimensionnement proprement dit de façon plus détaillée. Le trafic gouverne les choix suivants :

- Choix d'un niveau de service qui se traduira notamment par le choix de la couche de Surface.
- Choix de l'épaisseur des structures qui implique la fixation d'un niveau de risque.[3]

I.3.1.2 Le sol support

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate – forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme.

Les plates formes sont définies à partir :

- De la nature et de l'état du sol.
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme. [3]

I.3.1.3 Les matériaux

Les matériaux constitutifs des différentes couches doivent présenter des propriétés leur permettant d'être aptes à assurer le rôle respectif de chaque couche. La structure de

chaussée sera établie selon ces propriétés. [4]

I.3.1.4 Environnement :

L'environnement extérieur de la chaussée est l'un des paramètres d'importance essentielle dans le dimensionnement, la teneur en eau des sols détermine leurs propriétés, la température a une influence marquée sur les propriétés des matériaux bitumineux et conditionne la fissuration des matériaux traités par des liants hydrauliques[3].

I.3.1.5 La durée de vie

Elle correspond à un investissement initial moyen à élève est des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction de niveau de réseau principal considéré. Le choix de la durée de vie est fixé par le niveau de réseaux principal et des types matériaux. [5].

I.3.2 Méthodes de dimensionnement des chaussées :

Pour dimensionner une chaussée et déterminer l'épaisseur de différentes couches formant le corps de chaussée ,on dispose de différentes méthodes dont les principaux sont donnés dans ce qui suit :

- Méthode LCPC (Laboratoire Central Des Ponts et de Chaussées).
- Méthode CBR (California Bearing Ratio).
- Méthode du catalogue de dimensionnement de chaussées neuves (CTTP)
- Méthode AASHO (American Association of State Highway Officials).

I.3.2.1 La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) :

La méthode L.C.P.C est une méthode française de dimensionnement des chaussés, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent en fonction de la température équivalente (T_{eq}), et l'indice CBR (ICBR), à partir de l'abaque (L.C.P.C), Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression suivante : [6]

$$T_{eq} = \frac{TMGA.a[(1+\tau)^n-1]0,7.p.365}{(1+\tau)-1} \quad (I.1)$$

Avec:

T_{eq} : trafic équivalent par essieu de 13t.

TMGA : trafic à la mise en service de la route.

a : coefficient qui dépend du nombre de voies.

τ : taux d'accroissement annuel.

n : durée de vie de la route.

p : pourcentage de poids lourds.

1.3.2.2 Méthode américaine de l'AASHTO :

La méthode américaine de dimensionnement des chaussées AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) est basée sur une analyse empirique des résultats des essais de l'AASHTO Road test réalisés à la fin des années 1950 sur plus de 500 sections tests de chaussées.

A l'heure actuelle, la dernière version du guide de dimensionnement date de fin 2002, mais la version de 1993 reste encore la plus utilisée. Dans cette version de 1993, aussi bien pour les chaussées souples que rigides, le dimensionnement se fait à l'aide d'équations de régression traduites sous forme d'abaques et de formule, permettant de choisir l'épaisseur de la chaussée en fonction du trafic cumulé considéré et la dégradation de la qualité d'usage de la route.

La notion de qualité d'usage de la route est définie par l'indice PSI (Present Service ability Index) qui varie de zéro (chaussée impossible à circuler) à six (chaussée en parfait état). Cette échelle a été déterminée sur la base des dégradations de la chaussée et de leurs effets perçus par les usagers. Les données de trafic sont converties en nombre cumulé d'essieux standards W18.

Enfin, pour une structure de chaussée choisie, un nombre structurel SN (Structural Number) est calculé et comparé à sa valeur minimale. Cette valeur minimale correspond à la somme pondérée des épaisseurs des différentes couches, et tient compte de la nature des matériaux et des conditions de drainage de chaque couche.[7]

$$\log_{10} w_{18} = z_r s_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{1094} + 2.32 \times \log_{10} Mr - 8.07$$

(I.2)

w₁₈ : Nombre équivalent d'essieux standard.

$z_r s_0$: Facteur de fiabilité ;

SN : nombre structurel ;

M_r : module élastique de la plateforme.

ΔPSI : variation de l'indice de qualité de la route.[7]

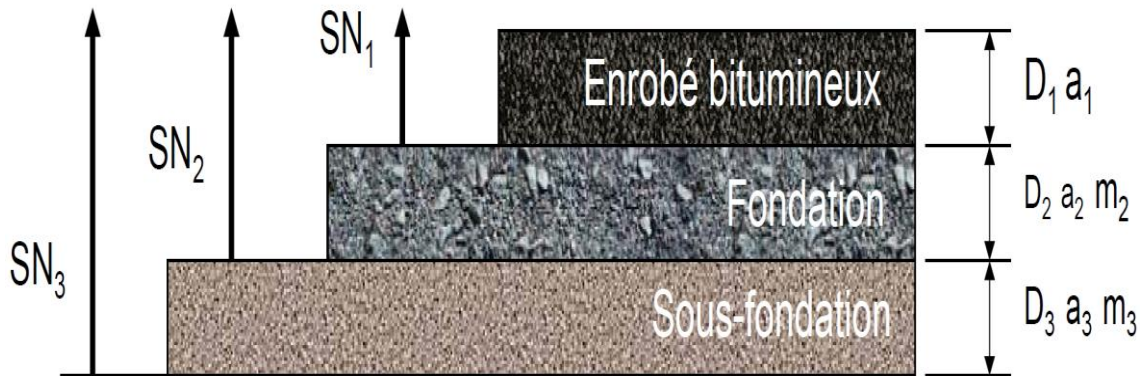


Figure I.3: Principe d'un système multicouche.

$$SN_n (D_1 a_1 + D_2 a_2 m_2 + D_3 a_3 m_3 + \dots + D_n a_n m_n) / 25,4 \quad (I.3)$$

Avec:

SNn: nombre structural composé pour n couches déterminé à partir de l'abaque AASHTO des nombres structuraux.

D1, D2, D3, Dn : épaisseur des couches de roulement, de base, de fondation et de forme respectivement.

m2, m3, mn : coefficient de drainage des couches de base, de fondation et de forme respectivement.

a1, a2, a3, an : coefficients structuraux représentatifs de la couche de roulement, couche de base, couche de fondation et couche de forme respectivement.

La conception finale correspond à un assemblage de couches de matériaux et d'épaisseurs définies, comme le montre la Figure I:3 [8].

I.3.2.3 Méthode de CBR (California Bearing Ration) :

C'est une méthode empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support, elle permet de déterminer l'épaisseur du corps de chaussée à

mettre en oeuvre par la formule suivante :[9]

$$e = \frac{100 + \sqrt{p} (75 + 50 \log \frac{N}{10})}{ICBR + 5} \quad (1.4)$$

Avec :

e : épaisseur équivalente ;

ICBR : indice CBR (sol support) ;

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

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

$$N = TJMA \cdot n \cdot PL\%$$

Avec :

TJMA : trafics prévus pour une durée de vie de 20ans ;

n : année de prévision ;

Pl % : Pourcentage des poids lourd.

❖ L'épaisseur équivalente :

C'est un paramètre qui tient compte des qualités mécaniques différentes des couches.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = \sum e_{réelle} \times a = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 \quad (I.5)$$

Où :

a1, a2, a3 : coefficients d'équivalence des matériaux des couches de la chaussée ;

e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches. Les épaisseurs et les coefficients d'équivalence utilisés généralement sont regroupés dans le Tableau I.1:

Tableau I.1: coefficient d'équivalences et des épaisseurs des différents matériaux

Matériaux	Coefficients d'équivalences (a)	Epaisseurs des couches (e) (cm)
Béton bitumineux (BB)	2	6-8
Grave bitumineux (GB)	1.5	10-20
Grave ciment (GC)	1.5	15-25
T.V.O	0.75	25 et plus
Grave non traité (GNT)	1	-

I.3.2.4 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) :

L'utilisation de catalogue de dimensionnement fait appel aux paramètres suivants : trafic, matériaux, sol support, en fonction de ces paramètres on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée.

Les étapes à suivre dans le dimensionnement avec la méthode CTTP sont illustrées dans l'organigramme ci-après : [10]

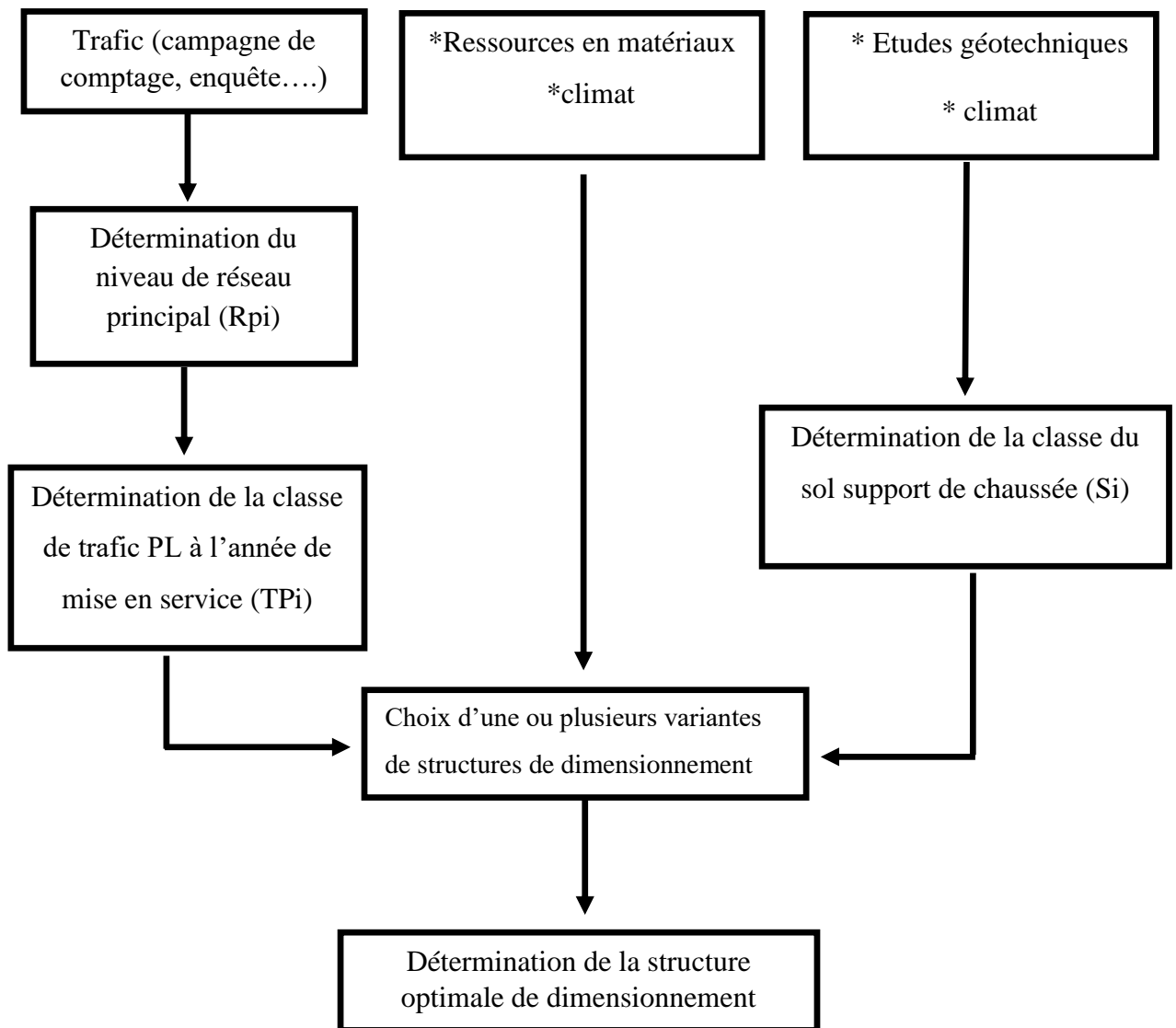


Figure I.4: organigramme de démarche du catalogue CTPP.

❖ Détermination du niveau de réseau principal (Rpi) :

Le catalogue propose deux catégories de réseau de chaussées, l'une est relative au réseau principal de niveau 1 et l'autre au réseau principal de niveau 2. La détermination de la catégorie du niveau du réseau principal se fait à partir des critères donnés ci-dessous :

→ Pour le réseau principal de niveau 1 (RP1) : Il compte des :

- Liaisons supportant un trafic supérieur à 1500 véhicules/jour.
- Liaisons reliant deux chefs-lieux de Wilaya.
- Liaisons présentant un intérêt économique et/ou stratégique.

Il s'agit essentiellement d'un réseau composé de routes nationales (RN).

→ Pour le réseau principal de niveau 2 (RP2) : Il est constitué de liaison supportant un trafic inférieur à 1500 véhicules/jour, ce réseau est composé de routes nationales (RN), et de chemins de wilaya (CW).

❖ **Choix des structures type par niveau de réseau principal :**

Le choix est fait en relation avec le type de réseau retenu (RP1 ou RP2) d’après le catalogue de dimensionnement.

❖ **Détermination de la classe du trafic TPLi :**

Les classes de trafic (TPLi) sont données pour chaque niveau de réseau principal (RP1 et RP2), en nombre de PL (poids lourd) par jour et par sens à l’année de mise en service.

A partir de ces classements le TPLi est déterminé. (Figure I:5) :

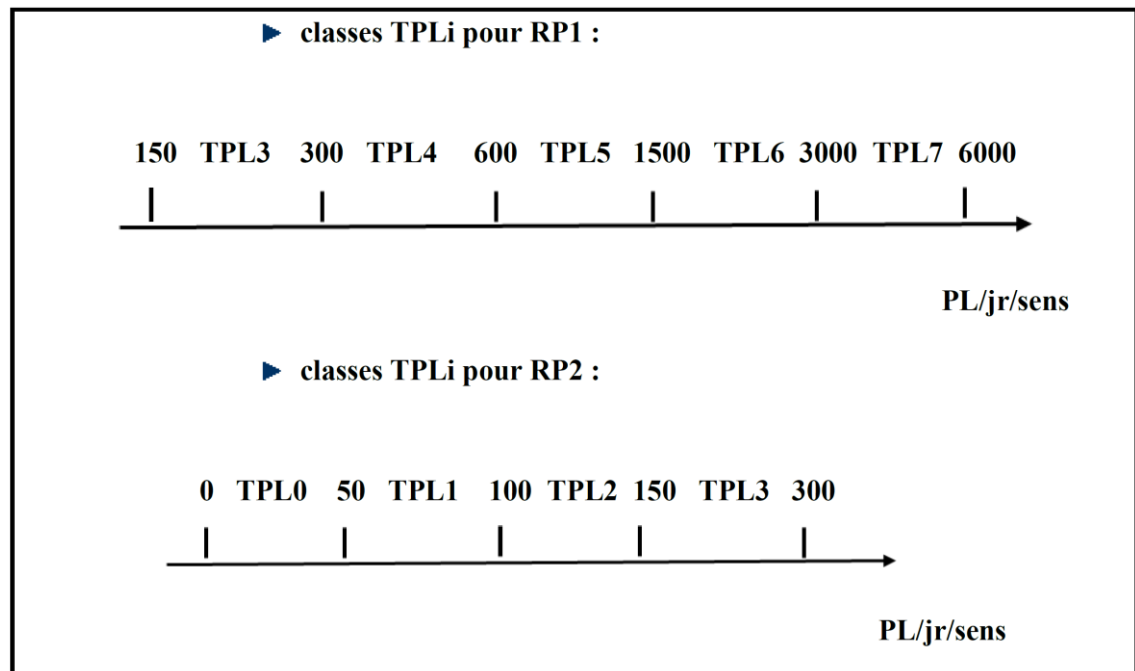


Figure I.5: Classes TPLi pour RP1 et RP2

❖ **Détermination de trafic cumulé de PL (TCi) :**

Le TCi est le trafic cumulé de PL sur la période considéré pour le dimensionnement (duré de vie). Il est donne par la formule suivante :

$$TCi = TPLi \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (1.6)$$

Avec :

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

n : durée de vie considéré.

❖ Détermination de trafic cumulé équivalent TECi :

C'est le trafic à prendre en compte dans le calcul de dimensionnement, il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée. Il est donné par la formule suivante :

$$TCEi = TCi \times A = TPLi \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \times A \quad (I.7)$$

Avec :

A : coefficient d'agressivité des PL par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes.

❖ Détermination de la portance du sol support de la chaussée :

La portance du sol support est en fonction de celle du sol terrassé (remblai ou déblai), Une étude géotechnique est donc nécessaire, car elle permettra d'identifier et de classer les sols. Dans le cas d'un sol sensible à l'eau :

la portance est déterminée à partir de l'essai CBR :

- **CBR** imbibé 4 jours pour les zones climatique I et II (correspond à 100% de la densité a l'OPM) ;
- **CBR** immédiat pour les zones climatiques III et IV (correspond à 95% de l'OPM) Dans le cas d'un sol insensible à l'eau : la portance est déterminée à partir des essais de chargement à la plaque, ou des mesures de déflexion. Pour le dimensionnement de la chaussée le module de chaque classe du sol est calculé par la formule suivante :

$$E(\text{Mpa}) = 5 \times \text{CBR} \quad (1.8)$$

❖ La zone climatique :

Les données utilisées dans le dimensionnement de la chaussée se rapportent :

- A l'état hydrique du sol support ;
- Aux cycles saisonniers de température.

❖ La durée de vie :

La durée de vie correspond à un investissement initial moyen à élève est des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction de niveau de réseau principal considéré. Le choix de la durée de vie est fixé par le niveau de réseaux principal et matériaux type. [11]

❖ La température équivalente Teq :

La température est déterminée en fonction de la zone climatique du site, pour le dimensionnement de la chaussée.

❖ Le Risque de calcul :

Définition du risque : Un risque $r\%$ sur une période de x années pris pour le dimensionnement de la chaussée, est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces x années des dégradations structurelles qui impliqueraient des travaux de renforcement de la chaussée. [11].

I.3.3 Calcul des déformations admissibles sur le sol support :

I.3.3.1 Calcul des sollicitations admissibles :

Les sollicitations admissibles pour chaque type de matériaux sont calculées à partir des relations suivantes :

❖ matériaux traité au bitume :

Le calcul de la déformation admissible de la traction ($\epsilon t, adm$) à la base des couches bitumineuse est donné par la relation suivante : [11]

$$\epsilon t, adm = \epsilon_6 (10^\circ C, 25 \text{ HZ}) \times K_{ne} \times K_{\theta} \times K_r \times K_c \quad (I.9)$$

Avec :

$\epsilon_6 (10^\circ c, 25 \text{ HZ})$: déformation limite détenue au bout de 106 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. Tels que :

$$K_{ne} = \left(\frac{10^6}{TCE_i}\right)^b ; K_{\theta} = \sqrt{\frac{E(10^\circ c)}{E(\theta_{eq})}} ; K_r = 10^{-tb\delta} \quad (I.10)$$

Avec :

TCE_i : trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considéré ;

b : pente de la droite de fatigue ($b < 0$) ;

$E (10^\circ c)$: module complexe du matériau bitumineux à 10°C ;

$E (\theta_{eq})$: module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée ;

t : fractile de la loi normale qui est en fonction du risque adopté ($r \%$).

$$\delta : f(\text{dispersion}) \quad \delta = \sqrt{\text{sn}^2 + \left(\frac{c}{b} \text{sh}\right)^2} \quad (\text{I.11})$$

Avec :

SN : dispersion sur la loi de fatigue.

Sh : dispersion sur les épaisseurs(en cm).

C : coefficient égal à 0.02

❖ **Matériaux traité au liant hydraulique :**

Le calcul de la contrainte admissible de traction σ_t, adm à la base des couches traitées aux liants hydrauliques est donnée par la relation suivante : [11]

$$\sigma(t, \text{ad}) = \sigma_6 \cdot Kne \cdot Kr \cdot Kd \cdot Kc \quad (\text{I.12})$$

Avec :

σ_6 : contrainte de flexion limite à cycles donné par l'essai de fatigue.

Kne, kr, kc : idem matériaux traité au bitume.

Kd : facteur lié aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique.

❖ **Matériaux non traités (MNT) :**

Il n'existe pas de calcul de sollicitation admissible pour ce type de matériaux .Il faut s'assurer du bon choix des caractéristiques de matériaux afin d'asseoir une bonne tenue à l'orniérage. Il faut également s'assurer que le sol support ne soit pas trop déformable [11].

I.3.3.2 vérification en fatigue des structures est de la déformation du solsupport :

La déformation verticale ϵ_z calculée par le modèle alize III devra être limitée à une valeur admissible qui est donné par une relation empirique déduite à partir d'une étude statistique des comportements des chaussées algériennes est donnée par la formule suivant : [11]

$$\epsilon(z, \text{adm}) = 22 \times 10^{-3} \times (\text{TCEi})^{-0.235} \quad (\text{I.13})$$

❖ **matériaux traités au bitume (MTB) :**

Il faudra vérifier que ϵ_t et ϵ_z calculés à l'aide de logiciel d'alize III, sont inférieur aux valeurs admissibles calculés c'est à dire respectivement à ϵ_t, adm et ϵ_z, adm . [11]

$$\epsilon_t < \epsilon_t, \text{adm} \quad \epsilon_z < \epsilon_z, \text{adm}$$

❖ **matériaux traité au liant hydraulique (MTLH) :**

Dans ce cas également, il faudra vérifier que les contraintes et déformation calculés par Alize III sont inférieures aux contraintes et déformations admissibles calculées. [11]

$$\sigma_t < \sigma(t, \text{adm}) \quad \text{et} \quad \epsilon_z < \epsilon(z, \text{adm})$$

❖ Matériaux non traités (MNT) :

Dans le cas de matériaux non traité la seule vérification est à faire sur le sol support. [11]

$\epsilon z < \epsilon (z, \text{adm})$

I.4 L'ÉCHANGEUR

Tout échangeur quel que soit son importance sa classe ou sa forme, est constitué d'un assemblage de trois éléments qui sont : [26]

- ✓ Pont.
- ✓ Carrefour (s) plans (s).
- ✓ Bretelles.

I.4.1 Les Ponts

Le fait qu'on parle d'échangeur « qui n'est rien d'autre qu'un carrefour dénivelé implique impérativement une dénivellation de courant qui est assurée par le passage supérieur, ce passage supérieur est un ouvrage d'art désigne pont.

Le nombre d'ouvrage d'art « pont » dans un échangeur est en étroite relation avec :

- ✓ Le type d'échangeur choisi.
- ✓ La condition de coordination profil en long tracé en plan.
- ✓ Les contraintes du terrain d'implantation.
- ✓ Les instructions et réglementation de conception. [26]

Pont : ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation. Un pont routier comprend 4 parties principales :

- les abords et la zone d'influence de l'ouvrage : il s'agit des talus, chaussés, remblais contigus à l'ouvrage ainsi que les ouvrages éloignés dont le bon fonctionnement conditionne l'état de l'ouvrage. Pour les petits ouvrages, l'état des abords est souvent très révélateur du bon fonctionnement de la structure de l'ouvrage.

- Les appuis et fondations : les appuis ont pour principale fonction de transmettre les charges verticales et horizontales du tablier aux fondations. Les appuis d'extrémités, ou culées comprennent des murs qui transmettent des efforts horizontaux de poussée des terres.

- La structure porteuse est constituée d'un tablier qui porte les voies de circulation : il peut être constitué en voûte de maçonnerie, en béton armé, en métal...

- Les équipements sont des éléments ajoutés à la structure et nécessaires à sa conservation, son usage ou son exploitation : dispositifs de collecte et d'évacuation des

eaux : gargouilles, cunettes, garde-corps, trottoirs, corniches, joints de chaussées, signalisation...

[12]

I.4.2 Carrefour plan

On trouve les carrefours plans seulement sur les raccordements autoroute route ordinaire, leur aménagement doit tenir compte des facteurs sécurité commodité et débit. un compromis entre ces conditions doit être recherché. [26]

I.4.3 Bretelles

ce sont des voies qui se détachent et se raccordent de/et vers l'autoroute «route ordinaire» du côté droite de la chaussée considérée, terminent à une de ses Extrémités par une voie de décélération et à l'autre par des voies d'accélération, comportant une section de manœuvre et une section de décélération proprement dite, dont les caractéristiques découlent principalement de la vitesse d'insertion des véhicules sur l'autoroute ou de départ de celle-ci. [26]

I.4.4 Les différents types d'échangeurs :

On connaît un grand nombre de formes d'échangeurs. Cependant, les types de base ne sont pas nombreux, chaque type peut varier de forme et de détendue.

Un important élément de conception d'échangeur, est l'assemblage d'un ou de plusieurs types de bretelles de base mais c'est l'aspect coût et conditions du site qui désigne la forme de bretelle à considérer, et selon l'importance des routes à raccorder nous avons déterminé deux classes d'échangeurs :

Echangeur majeur : raccordement autoroute- autoroute.

Echangeur mineur : raccordement autoroute - route.

Tous ceux de la première classe se font à niveau séparé tandis que pour la seconde classe, les branchements au niveau de la route secondaire exigent des cisaillements. [26]

➤ **Echangeurs majeurs** :

L'échangeur majeur raccordement entre autoroute et autoroute sans qu'il y a de

cisaillement dans les deux autoroutes à raccorder sont :

Trèfle complet : quand il y a quatre branches à raccorder.

Bifurcation : « Y » quand il y a trois branches à raccorder.

➤ **Echangeur mineur :**

Il est utilisé pour les raccordements d'une autoroute « route principale » et une route ordinaire « route secondaire », les schémas concernés par le raccordement sont :

Losange, Demi-trèfle, Trèfle, La trempette.

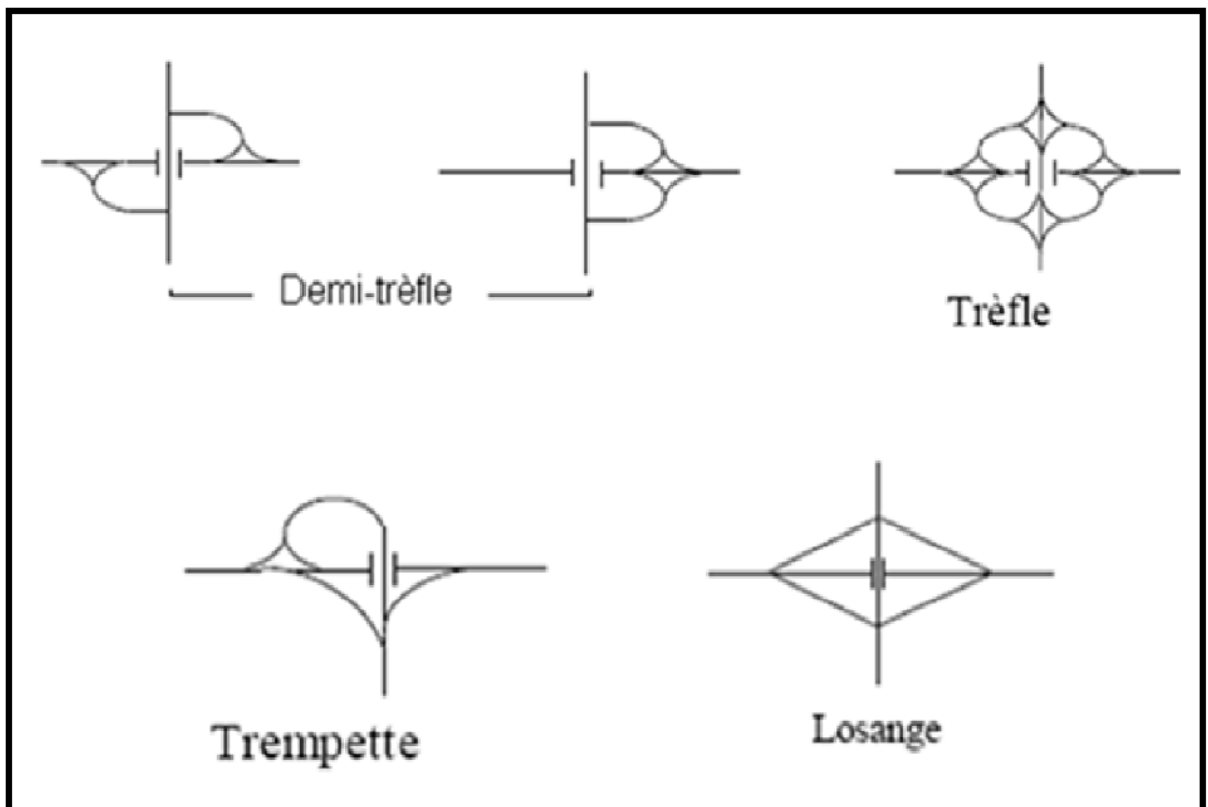


Figure I.6:les différents types d'échangeur

I.4.5 Justification de l'échangeur :

Le but d'échangeur est d'assurer la continuité du réseau routier et de desservir plusieurs directions en même temps. En distribuant les flux dans les différentes directions selon l'ordre d'importance, et de faciliter aux usagers un déplacement dans des bonnes conditions de confort et de sécurité tout en évitant les points des conflits qui peuvent être

la cause de graves accidents, et les points d'arrêt qui provoquent des pertes de temps considérables.

Une bonne conception des carrefours réduit beaucoup de problèmes à l'usager, accidents, pertes des temps, bruits et consommation du carburant.

Comme les échangeurs coutent très cher, il faut que leur utilisation comme solutions au problème des carrefours soit totalement justifiée.

Il est assez difficile de déterminer des critères précis qui justifient l'utilisation des échangeurs, mais dans certaines situations la solution de l'échangeur semble obligatoire comme :

- ✓ Carrefour où la topographie empêche un aménagement qui soit conforme aux normes de tout autre type d'échangeur.
- ✓ Carrefour ou le nombre d'accidents est très élevé. [18]

I.5 LES OUVRAGES D'ART ROUTIERS

Dans le domaine routier, un ouvrage d'art est une construction de génie civil représentant un patrimoine important des collectivités gestionnaires de voirie qui permet d'assurer et/ou de protéger la continuité d'une voie de circulation. Il existe trois grands types d'ouvrages d'art : les ponts (qui comprennent également les buses), les ouvrages de soutènement et les tunnels.

I.5.1 Fondations des ouvrages d'art (ponts)

On distingue généralement deux Type des fondations.

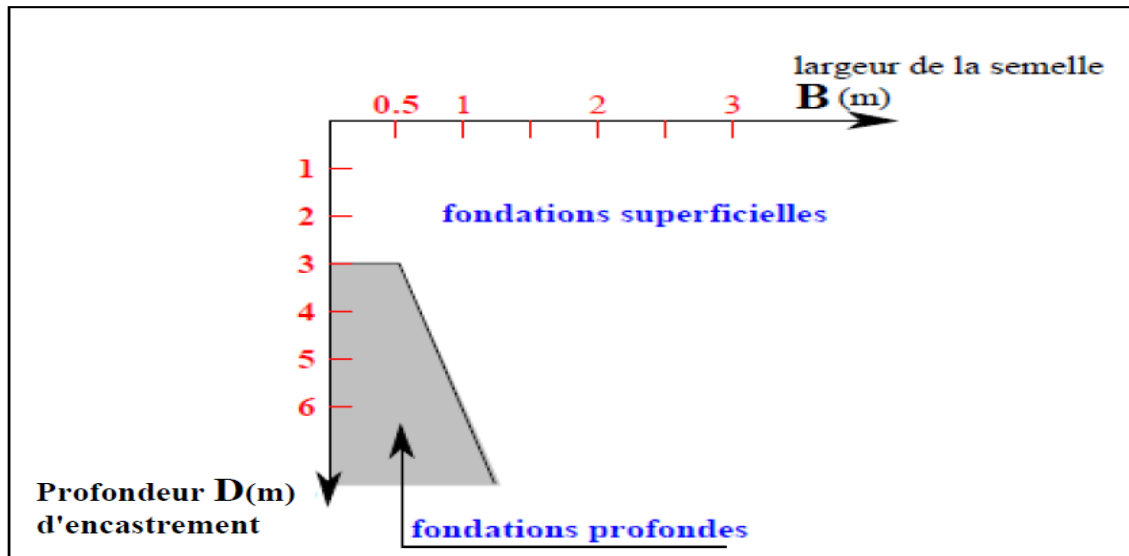


Figure I.7: type de fondation en fonction de l'encrage D .

➤ Fondation superficielle :

Ce type de fondation est mis en œuvre lorsque la capacité portante du sol situé à une faible profondeur est suffisante pour supporter l'ouvrage. La conception de ce type de fondation est simple et rapide avec un faible coût. On distingue deux types de fondations superficielles, semelles isolées et les semelles filantes.

➤ Fondation profonde :

Ce type de fondation est utilisée, en cas où l'ouvrage transmettant une surcharge lourde au sol, ou d'un sol ayant des propriétés médiocres. Elle est conçue pour transmettre des efforts sur une profondeur importante. Cette catégorie des fondations regroupe les pieux, les caissons et parfois des parois moulées (barrettes). Dans ce qui suit on va détailler les fondations sur pieux. [13]

Un **pieu** est un élément de construction en béton, acier, bois ou mixte permettant de fonder un bâtiment ou un ouvrage. Ils sont utilisés lorsque le terrain ne peut pas supporter superficiellement les contraintes dues à la masse de l'ouvrage. Il est également possible d'utiliser des pieux pour renforcer des fondations existantes.

Les pieux font partie du domaine des fondations profondes ou fondations spéciales.

Dans les terrains où les couches superficielles de terrain ne sont pas aptes à recevoir des fondations classiques au vu de la descente de charge, il est nécessaire de fonder les ouvrages en profondeur. Dans le report des charges de la structure vers le sol, les pieux

peuvent fonctionner selon deux modes, l'appui de sa pointe et le frottement latéral de son fût. Ces deux modes peuvent être utilisés séparément ou combinés suivant la nature des sols.

Classiquement, à la manière d'une fondation courante, le pieu peut s'appuyer sur une couche de sol résistante. Les efforts sont alors transmis par la pointe du pieu, descendue jusqu'à une couche de sol présentant une résistance mécanique suffisante. [14]

La catégorie des pieux refoulant le sol comporte principalement : les pieux battus, les pieux foncés, ainsi que les pieux vissés moulés. Et les pieux appartenant à la catégorie d'installation sans refoulement du sol sont essentiellement :

les pieux forés simple, les pieux forés à la boue, les pieux forés tubés, les micropieux, ainsi que les puits. [13]

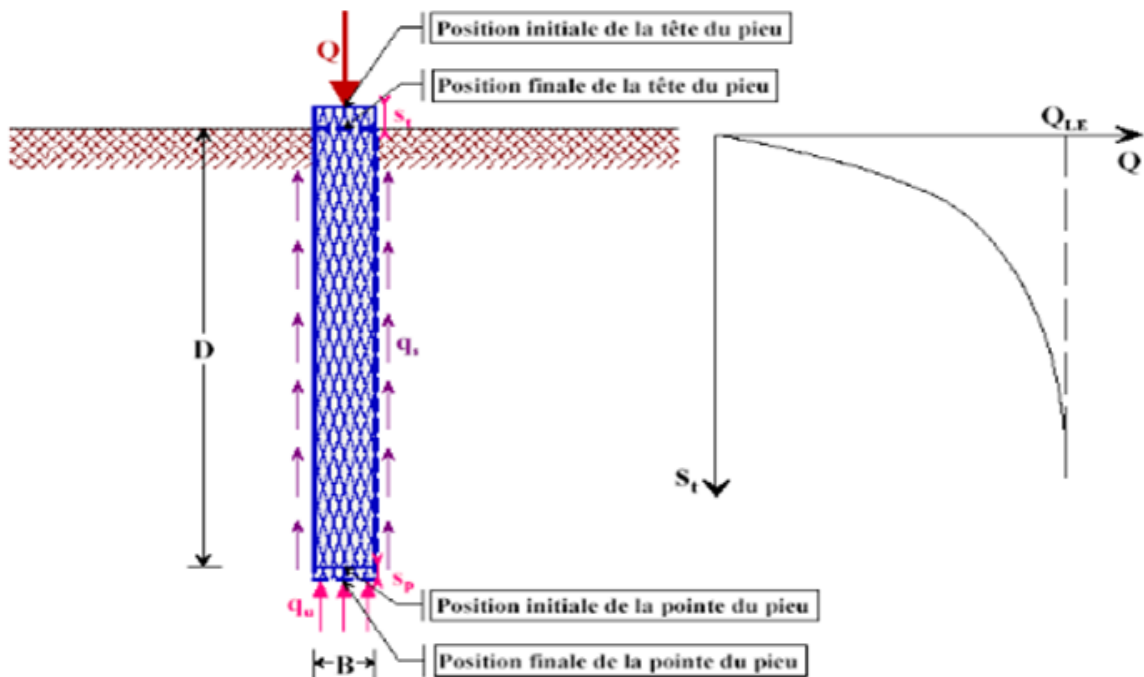


Figure I.8: Pieu sous charge axiale

I.5.2 Les méthodes de calcul de la capacité portante

Système sol/fondation, et La capacité portante verticale d'un pieu peut en général être déterminée :

peuvent se subdiviser du Soit par méthodes de calcul. Elles sont basées sur des modèles de comportement du point de vue paramètres de calcule requis en deux catégories :

- ✓ Les Méthodes basées sur les essais de laboratoire.
- ✓ Les méthodes basées sur les essais in-situ.

Soit par essai de chargement statique ou dynamique.

I.5.2.1 Méthodes basées sur les essais à laboratoire

Appelée aussi méthodes rationnelles ou méthodes $C-\varphi$, considère le sol comme un matériau rigide plastique obéissant souvent au critère de rupture de mohr-coulomb.

Sont utilisé L'évaluation de la capacité portante d'un pieu à partir de les essais au laboratoire avant le développement des essais in-situ, les qualités mécaniques d'un sol sont caractérisées traditionnellement par deux paramètres, l'angle de frottement interne φ et la cohésion C . Ces deux paramètres peuvent être mesurés au laboratoire sur échantillons intacts, soit par des essais de cisaillement direct, ou soit par des essais de compression triaxial. Donc la charge limite reprise par un pieu isolé dans un sol homogène est formulée selon la théorie classique des corps rigides-plastiques comme suit : [22]

$$Q_l = Q_p + Q_s = A q_l + P \cdot \int_0^D q_s(z) dz \quad (I.11)$$

I.5.2.2 Méthodes basées sur les essais in-situ :

Cette catégorie est basée sur les essais in-situ et est généralement issue des observations du comportement expérimental des fondations, en corrélation avec les paramètres mesurés des essais in-situ.

La section suivante se propose de présenter d'une manière générale les formules utilisées pour le calcul de la capacité portante des fondations profondes en se limitant aux essais suivants : essai pressiométrique (PMT), essai de pénétration statique (CPT) et essai de pénétration standard (SPT). [23]

I.5.2.2.1 L'essai pressiométrique :

L'essai pressiométrique consiste à réaliser l'expansion horizontale d'une sonde cylindrique dans un forage à une profondeur donnée, sous des contraintes radiales jusqu'à la rupture du sol. Il permet d'obtenir une réalisation entre les contrainte appliquées et les déplacements horizontale du forage, ce qui présenter un grand avantage par rapport à

d'autre essai in-situ, du fait qu'il permet l'analyse du comportement du sol aussi bien en petite déplacement qu'à la rupture. [25]

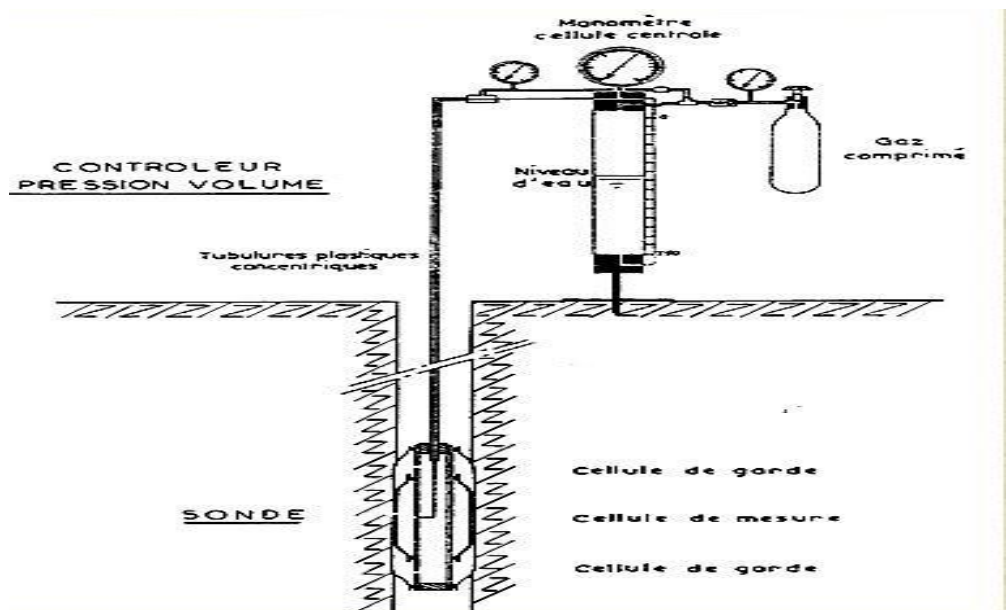


Figure II.2 : dispositif typique pour l'essai pressiométrique.

La méthode pressiométrique du LCPC tient compte de l'hétérogénéité du sol en se basant sur le concept du sol homogène équivalent, caractérisé par une pression limite équivalente P_{le} et entourant un pieu ayant une fiche D_e . Cette dernière sert à classer les fondations comme suit :

- Fondation profonde pour $D_e/B > 5$
- Fondation semi-profondes pour $1.5 < D_e/B < 5$
- Fondation superficielle pour $D_e < 1.5$

❖ Détermination de la charge limite de pointe Q_p :

L'effort limite Q_p en point, dont l'aire de sa section est A , est donné par :

$$Q_p = A \cdot q_l \quad (I.15)$$

A : représente la section droite de la pointe du pieu.

q_l : la résistance de pointe, elle est donnée par la formule suivante.

$$q_l = K_p \cdot P_{le}^* \quad (I.15)$$

K_p : facteur de portance.

p_{le}^* : pression limite nette équivalente.

❖ **Détermination de la pression limite équivalente :**

La pression limite nette équivalente est une moyenne analytique des valeurs de pression limite nette, mesurées dans une zone utile au voisinage de la pointe, épaisse de $b+3a$ sous la pointe et de b au-dessus :

$$P_{le}^* = \frac{1}{b+3.a} \int_{D-b}^{D+3.a} P_l^*(z) dz \quad (I.16)$$

L'expression précédente peut se simplifier en utilisant une sommation des trapèzes, obtenus en joignant par des droites les points du profil de la pression limite nette P_{le}^* , soit : [21]

$$P_{le}^* \approx \frac{1}{3a+b} \sum_{D-b}^{D+3a} p_l^*(z) \Delta z \quad (I.17)$$

❖ **Détermination du facteur de portance k_p :** [25].

Le facteur portance K_p , dépendant de la nature du sol et du mode installation du sol.

❖ **Détermination de la charge limite de frottement latéral Q_s :**

$$Q_s = P \int_0^D q_s(z) .dz$$

- Courbes Q_1 à Q_4 : (n = nombre de courbe) $q_s(z) = 0,04n \frac{P_l(z)}{(1+0,5n)} \left(2 - \frac{P_l(z)}{(1+0,5n)} \right)$ (I.18)

- Courbes Q_5 : $q_s(z) = \min\left\{ \frac{P_l(z)-0,2}{9}; \frac{P_l(z)+3,3}{32} \right\}$ (I.19)

- Courbes Q_6 : $q_s(z) = \min\left\{ \frac{P_l(z)+0,4}{10}; \frac{P_l(z)+4,0}{30} \right\}$ (I.20)

- Courbes Q_7 : $q_s(z) = \frac{P_l(z)+0,4}{10}$ (I.21)

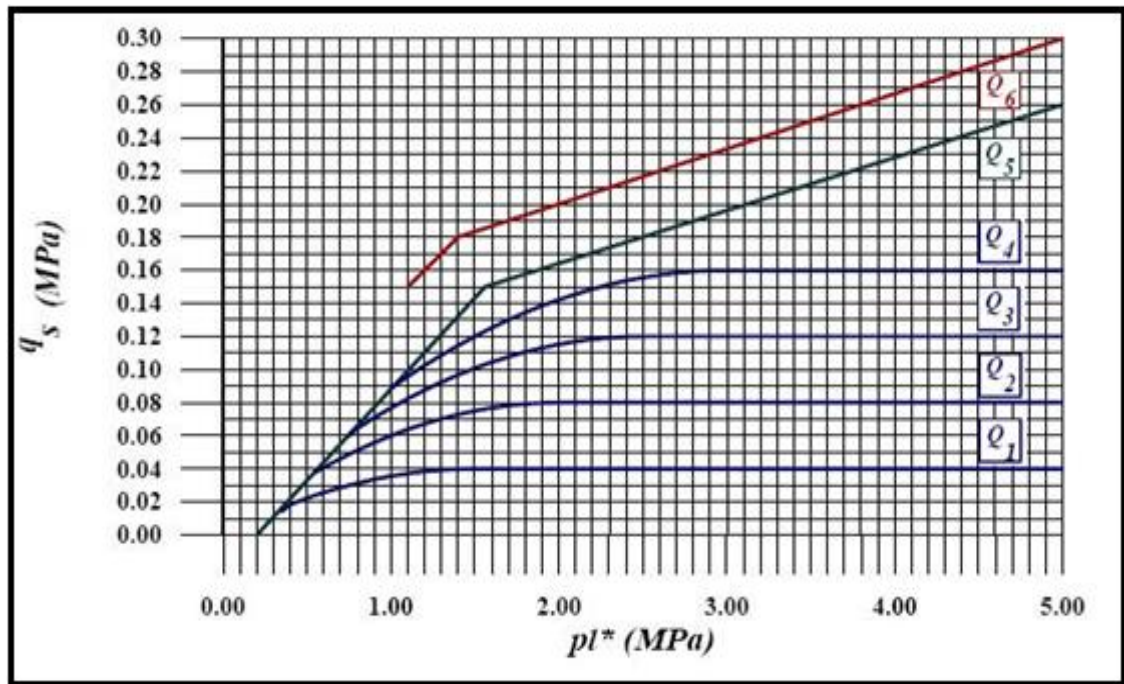


Figure I.9: Contrainte de frottement latéral limite qs en fonction de Pl*.

❖ Hauteur d'encastrement équivalent De :

La hauteur d'encastrement équivalent De est un paramètre conventionnel de calcul, destinée à tenir compte que les caractéristiques mécaniques des sols de couverture sont généralement plus faibles que celles du sol porteur, elle est définie à partir des essais de sol en place : préssiomètre, et le pénétromètre statique. [24]

$$De = \frac{1}{Pl^*} \sum_{D-b}^{D+3a} Pl^*(z) \Delta z \quad (I.22)$$

Note : Pl* et De se réduisent évidemment en cas d'un sol homogène idéal à Pl et D respectivement.

I.5.2.2.2 L'essai pénétromètre statique

Cette essai grâce elle très répandue au calcul des pieux sous charge axiale, elle base sur la résistance équivalente q_{ce} et la fiche équivalente De.

On doit estimer dans ce partis la capacité portante des pieux à partir du pénétrométrique statique, en étudiant séparément les corrélations de résistance en pointe et le frottement latéral, le long d'un pieu avec les mesures pénétrométrique. [22]

❖ **Détermination de la charge limite de pointe Q_p :**

$$Q_p = q_l \cdot A \tag{I.23}$$

A : représente la section droite de la pointe du pieu .

q_l : la résistance de pointe, elle est donnée par la formule suivante.

$$q_l = K_c \cdot q_c^*$$

K_c : facteur de portance ;

q_c^* : pression limite nette équivalente. [24]

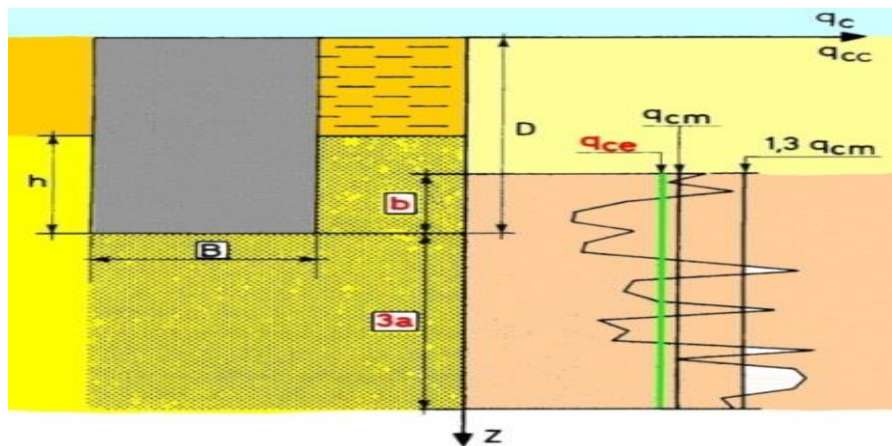


Figure II.5: Schéma de calcul de résistance de pointe. [8*]

❖ **Détermination du facteur de portance k_c :**

Le coefficient de portance traduit la proportionnalité entre la résistance de pointe du pieu et celle du pénétromètre. Ce coefficient dépend de la nature du sol et du mode de mise en œuvre du pieu (pieu foré ou battus). [24]

❖ **Détermination de la résistance pénétrométrique équivalente q_c^e :**

Il est calculé en fonction des valeurs brutes mesurées q_c^e , et non nettes comme c'est le cas de la méthode préssiométrique. Elle est évaluée comme suit :

calculer une moyenne analytique dans la zone utile de capacité portante : [24]

$$q_{cm} = \frac{1}{b + 3a} \int_{D-b}^{D+3a} q_c(z) \tag{I.24}$$

a, b : définissant la zone utile de la résistance en pointe sont les mêmes que ceux de la méthode pénétrométrique.

-on calcule la résistance pénétrométrique moyenne q_{cm} dans la zone utile.

-on remplace toute la valeur dépassant $1,3 q_{cm}$ par $1,3 q_{cm}$, soit $q_{ce} = 1,3 q_{cm}$

-recalculer la résistance équivalente par :

$$q_{ce} = \frac{1}{b + 3a} \int_{D-b}^{D+3a} q_{cc}(z) \quad (I.25)$$

Tel que q_{cc} : la résistance pénétrométrique corrigée.

En pratique, on utilise la formule approchée de sommation des trapèzes limités par les N mesures q_c sur la tranche $[D-b, D+3a]$, en considérant un pas Δz_i entre deux mesures consécutives :

$$q_{ce} = \frac{1}{b + 3a} \sum_{i=1}^{i=N} q_{ce} \cdot \Delta z_i \quad (I.26)$$

❖ La fiche équivalente D_e .

Généralement est inférieure à D, est la hauteur à partir de la surface du sol, le long de laquelle les résistances pénétrométriques sont représentées par une moyenne analytique égale à q_{ce} , soit : [24]

$$D_e = \frac{1}{q_{ce}} \int_{\mathbf{d}}^D q_c(z) \cdot dz \quad (I.27)$$

Le terme \mathbf{d} est égal en général à $\mathbf{0}$, sauf s'il existe des couches superficielles de mauvaise résistance, dont on ne veut pas les introduire dans l'évaluation de la fiche équivalente.

❖ Détermination de la charge de frottement latérale Q_s :

$$Q_s = \pi B \int_0^D q_s(z) \quad (I.28)$$

❖ Détermination du frottement latéral unitaire q_s :

La contrainte de frottement latéral limite q_s à la profondeur z est égale à la résistance pénétrométrique à cette profondeur, divisée par un facteur empirique β sans toutefois dépasser une valeur maximale q_s^{max} , soit :

$$q_s(z) = \min \left[\frac{q_c(z)}{\beta}, q_s^{max} \right] \quad (I.29)$$

Notons que le règlement stipule que, pour des raisons de sécurité le frottement latéral correspondant à des résistances pénétrométriques inférieures à 1 MPa doit être négligé. En outre, en absence des valeurs prescrites du coefficient β , il est recommandé de prendre la valeur maximale, soit q_s^{max} .

L'effort Q_s de frottement limite est à calculer sur une hauteur du pieu excluant les tranches sièges au frottement négatif.

I.5.2.2.3 l'essai de pénétromètre dynamique :

On peut introduire directement le terme de pointe dynamique dans les formules relatives au pénétromètre statique puisque nous avons vu que l'on avait à peu près $q_c = q_d$, mais ces méthodes corrélatives sont très dangereuses et ne doivent pas être utilisées qu'en parfaite connaissance de cause, sur des sites familiers et par des spécialistes sérieux et conformés. [24]

I.5.2.2.4 l'essai de pénétromètre standard :

il existe une variété des méthodes de calcul de la capacité portante d'un pieu isolé, à la base de l'essai SPT. Il s'agit des méthodes issues en général de la corrélation purement empirique de résultat d'essai de chargement vertical des pieux avec ceux de l'essai SPT. [21]

$$Q_l = Q_p + Q_s = q_l \frac{\pi B^2}{4} + \pi B \int_0^D q_s dz \quad (I.30)$$

❖ Détermination de la charge limite de pointe Q_p

On suppose que la résistance en pointe et promotionnelle au nombre N représentatif de la zone mobilisée autour de la pointe : [21]

$$Q_p = q_l \frac{\pi B^2}{4} \quad (I.31)$$

$$q_l = k_s \cdot N \quad (I.32)$$

k_s : facteur de portance de SPT

N : représentatif de la zone mobilisé

❖ Détermination de la charge de frottement latérale Q_s :

$$Q_s = \pi B \int_0^D q_s dz \quad (I.33)$$

On suppose que la contraintes limite q_s du frottement latéral, les long du pieu et proportionnelle au nombre N représentatif de l'interface sol-pieu, a la profondeur étudiée:

$$q_s = n_s \cdot N \quad (I.33)$$

Note : on calcul n_s et N selon les méthodes de calcul empiriques.

I.5.2.3 l'essai de chargement statique :

L'essai de chargement en vraie grandeur est outil pratique d'analyse in-situ de la capacité portante et du tassement d'un pieu isole qui permet de affranchir des incertitudes liée au calcul. Il est systématiquement mène dans le cadre d'un important projet, afin de confirmer les prévisions du comportement du pieu, ou chaque fois que les méthodes de calcul ne mènent pas a des résultats sûrs, mais entachées d'incertitudes Comme schematisée a la figure ci-dessous,

Le principe de l'essai consiste à charger un pieu réel avec des incréments de charge verticale jusqu'a envions 1.30 fois la capacité portante calculée, et de mesurer le tassement en tête.

Si le pieu est instrumente par des extensomètres (jauge de déformation, extensomètre amovible, etc.), on peut mesurer les efforts le long du fût, déterminer ainsi le effort Q_p et Q_s et en déduire ainsi la capacité portante. [21]

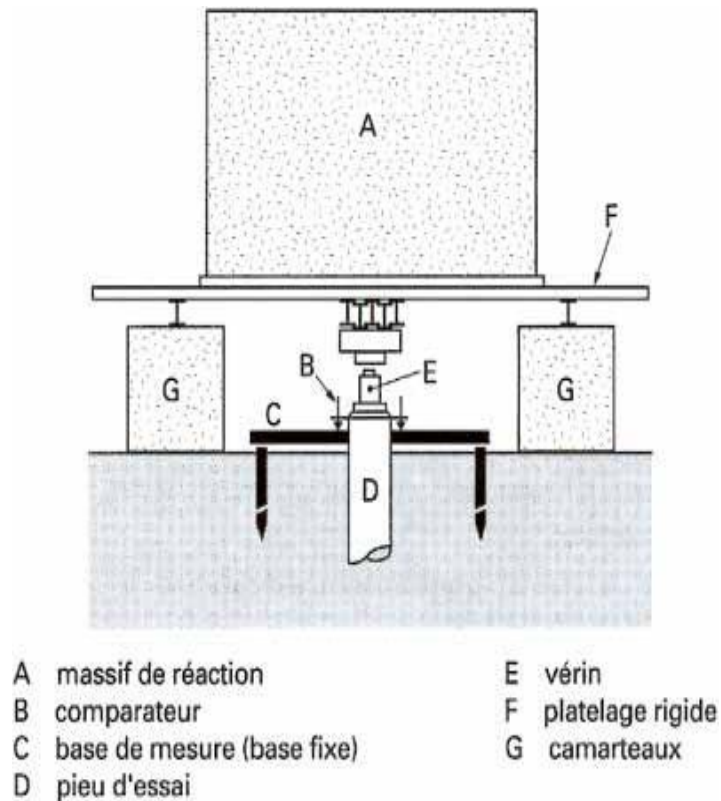


Figure I.10: Dispositif général pour l'essai de chargement (Roger Frank).

I.5.3 Tassement des fondations :

La transmission des surcharges de l'ouvrage au sol, par le biais des fondations induit des déformations du sol sous-jacent, ce qui se traduit entre autres par un tassement. Le tassement est le déplacement vertical descendant d'un ouvrage.

Il s'agit d'un phénomène d'interaction sol/fondation qui se manifeste soit à cause de l'action de la fondation sur le sol, par le biais des surcharges qui lui sont transmises, soit à proximité d'un nouvel ouvrage.

Le tassement d'une fondation est la résultante de trois composantes telles que : [13].

$$S = S_i + S_c + S_f \tag{I.34}$$

Avec :

S : tassement de la fondation

S_i : tassement instantané

Sc : tassement causé par une consolidation primaire

Sf : tassement causé par une consolidation secondaire ou fluage

I.5.3.1 Tassement des pieux :

Il existe une diversité de méthodes pour le calcul de tassement des pieux, il peut être déterminé expérimentalement à partir de l'essai de chargement statique, comme il peut être évalué en utilisant d'autres méthodes tel que : les méthodes empiriques, méthode de la théorie d'élasticité, méthode de la théorie de transfert des charges, et aussi la méthode numérique.

Dans ce qui suit on va s'intéresser à la méthode de la théorie d'élasticité.

✓ Méthode de la théorie d'élasticité :

Dans cette méthode le système pieu/sol est supposé ayant un comportement élastique isotrope. Parmi les approches les plus utilisées, notons celles de Poulos (1968), Banerjee et Butterfield (1978), et Randolph (1978). Ces méthodes sont basées sur la solution fondamentale de Mindlin (1936) du problème d'une force verticale entrée dans un massif élastique semi-infini.[21]

Le tassement en tête du pieu est donné en général par [13] :

$$V_0 = \frac{Q \cdot I_v}{E(D)B} \quad (I. 35)$$

Avec :

V0 : tassement en tête du pieu.

Q : la charge de l'ouvrage appliquée sur le pieu.

Iv : facteur de tassement.

E(D) : module de Young en tête du pieu

B : diamètre du pieu.

I.6 CONCLUSION :

Après avoir traité ce chapitre introductif consacré aux projets routiers on retient que, un projet de route englobe :

La conception d'une structure de chaussée qui doit être résistance et durable afin d'assurer le confort et la sécurité, via un choix des matériaux de haute performance constituant les couches de cette structure, et un bon dimensionnement du corps de chaussée.

La réalisation des ouvrages de franchissements, afin de franchir l'obstacle rencontré d'un tracé routier, ces derniers doivent se reposer sur des fondations superficielles ou profondes selon la capacité portante du sol support.

Chapitre II : Présentation de projet et le site

II.1 INTRODUCTION :

Avant d'entamer la réalisation d'un projet, routier sur un site donné, il est indispensable d'identifier la sismicité, la nature géologiques et les propriétés géotechniques des terrains constituant le site. Au cours de ce chapitre, un aperçue sur la localisation du projet, son contexte climatique, sismique, géologique sera présenté.

II.2 INFORMATIONS RELATIVES A LA LOCALITE

La wilaya de Bouira se situe dans la région Centre Nord du pays. Elle s'étend sur une superficie de 4456,26 km² représentant 0,19% du territoire national. Le chef-lieu de wilaya est situé à près de 120 km de la capitale Alger.

La wilaya de Bouira est délimitée :

- ✓ Au nord par la wilaya de Tizi-Ouzou.
- ✓ A l'est par la wilaya de Bordj Bou Arreridj.
- ✓ Au sud par la wilaya de M'Silla.
- ✓ A l'ouest par les wilayas de Médéa et de Blida.

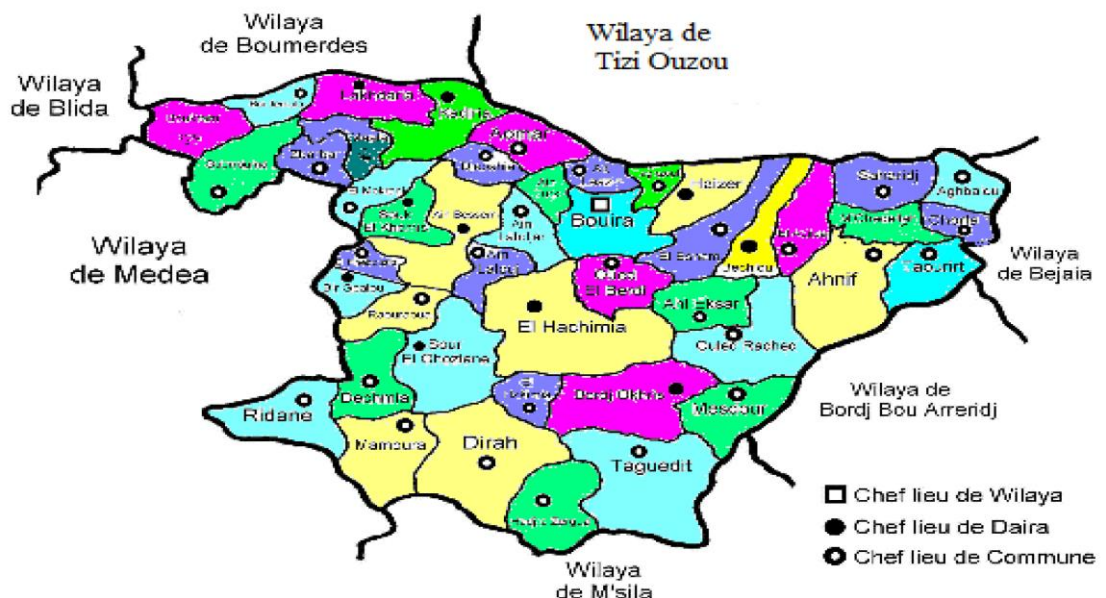


Figure II.1:carte de la wilaya de Bouira

II.3 DESCRIPTION DU PROJET :

L'échangeur de Djebahia, se situe au niveau du Pk 529+306 de l'Autoroute Est Ouest, Lot centre Section 5.3 (M2), dans la commune de Djebahia, de la wilaya de Bouira, il s'agit d'un échangeur composé de deux giratoires, d'un centre d'entretien et d'une gare de péage, permettant le raccordement et l'échange avec la route nationale RN5 et le chemin wilaya N°125, le franchissement de l'autoroute s'effectuera en passage supérieur par un ouvrage de rétablissement et un passage inférieur existant (PI N°33).

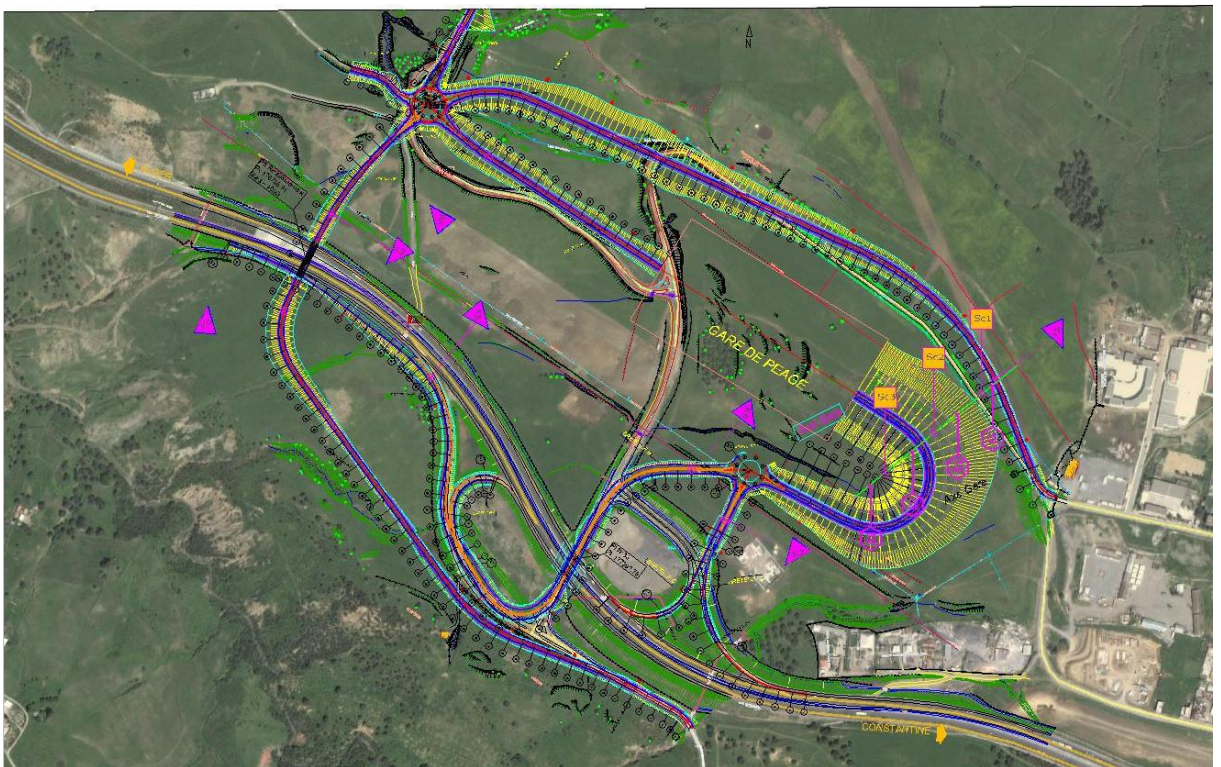


Figure II.2: Plan de situation

II.4 CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

II.4.1 Géologie Régionale

La région de Bouira est située dans la zone de jonction de la chaîne montagneuse de l'Atlas tellien méridional et de la grande Kabylie, elle-même faisant partie du Tell septentrional

Les terrains rencontrés dans la région vont du précambrien au quaternaire.

Au nord-ouest de Bouira on rencontre des dépôts peu développés de précambriens, qui sont représentés par des phyllades et des schistes cristallins. Par contre dans la chaîne du Djurdjura on rencontre des dépôts carbonifères qui sont représentés par des argilites, des aérolites et des calcaires. Les dépôts du permo-Trias sont représentés par des grès de couleur rouge et conglomérats. Les dépôts du Trias sont rencontrés sur tout le territoire de wilaya. Ils sont liés au diapirisme et aux zones de charriage. Ils sont représentés par des formations argilo-gypseuses bariolées.

Les dépôts jurassiques sont développés dans la partie nord du territoire de la wilaya. Ils font partie de la chaîne calcaire kabyle de direction sublatitudinale. Ils sont représentés par des calcaires à grains fins faiblement marmorisés.

Les dépôts du Crétacé sont largement développés sur tout le territoire de la wilaya:

Le Crétacé inférieur est composé par des argilites, des aérolites, des schistes argilo-siliceux, des marnes argileuses avec des passées des grés siliceux.

Le Cénomaniens-Turonien est représenté par des calcaires gris massifs ou lamellaires et des marnes aux passées calcaires. Le Crétacé supérieur: formé par des argiles schisteuses, des marnes et des grés.

Les dépôts du Paléogène sont représentés par l'Eocène et l'Oligocène. Ce sont des marnes, des argiles marneuses, des calcaires, des grès et des conglomérats. [19]

II.4.2 la géologie du site

D'après la carte géologique de l'Algérie 1/500.000, la région du site se situe dans une zone caractérisée par une formation du miocène inférieur marin et du crétacé supérieur marin (Cs).

De point de vu géomorphologie, le site présente une topographie vallonnée à très vallonnée. [19]

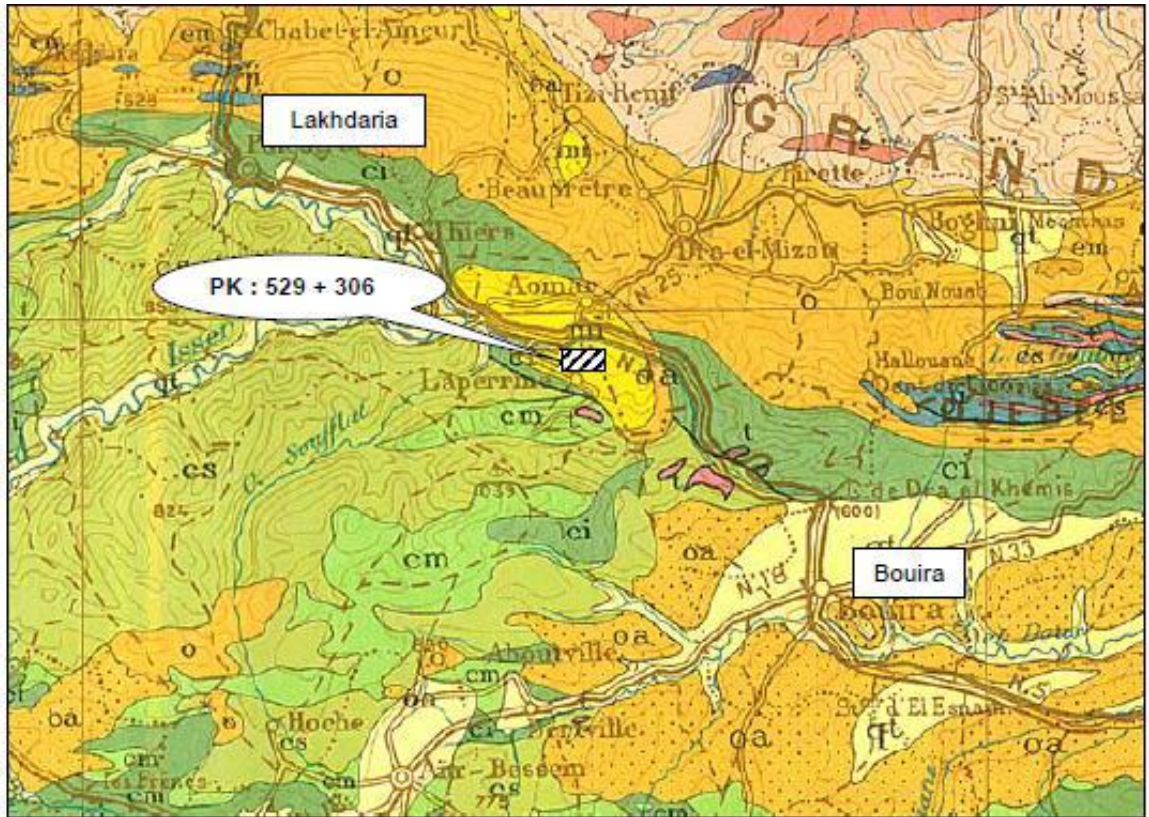


Figure II.3: Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500.000 (deuxième éditions).

Légende :

A : Alluvions actuelles

Qt : Quaternaire continental.

mi : Miocène inférieur marin.

Cs : Crétacé supérieur marin

II.5 LE CLIMAT

II.5.1 Les précipitations

La Wilaya de Bouira se caractérise par une pluviométrie favorable notamment dans la partie Nord (Atlas Blidéen et versant Sud du Djurdjura) et sur une assez importante partie de la chaîne des Bibans où elle dépasse 600 mm/an. Dans la dépression centrale, les précipitations variaient entre 400 et 600 mm/an. Les plus faibles volumes sont enregistrés

Chapitre II :Présentation de projet et le site

dans la dépression Sud Bibanique, ou elles n'atteignent parfois que 200 mm à 300 mm/an (extrémité Sud).

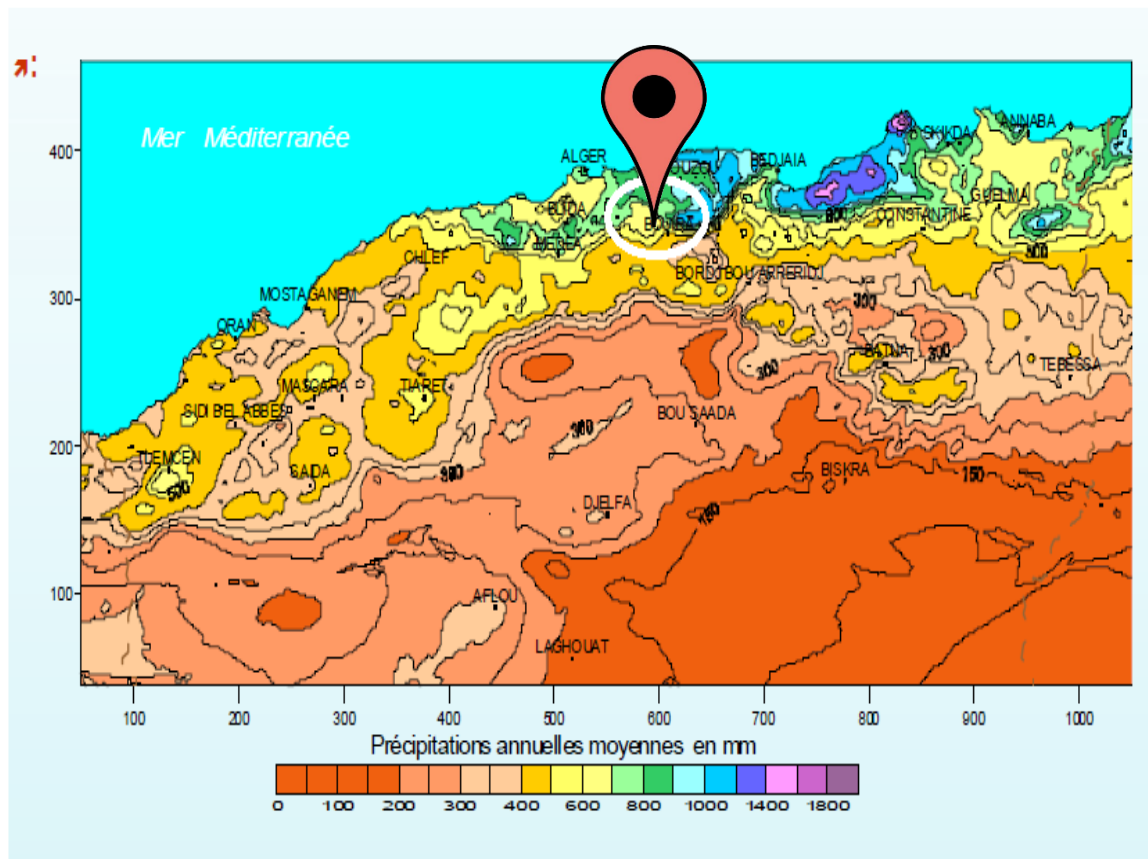


Figure II.4: Précipitations annuelles moyennes de la zone d'étude

II.5.2 La température

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 10ans (1997-2007), par la station de Bouira

Les températures ambiantes ont été mesurées à l'aide de thermomètre à minima et à maxima. Le tableau suivant résume les moyennes mensuelles et annuelles correspondant à la période d'observation :

Parameters	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Minima	17.1	13.8	8.3	5.2	3.7	4.0	6.4	8.7	12.8	17.3	20.1	20.3	11.6
Maxima	30.0	25.4	17.5	13.6	13.0	14.4	18.2	20.7	25.9	32.5	35.6	35.2	23.6
T moyennes	23.5	19.6	12.9	9.4	8.4	9.2	12.3	14.7	19.4	24.9	27.9	27.8	17.5

Figure II.5: Température moyenne mensuelles et annuelles à Bouira (1997-2007).

Chapitre II :Présentation de projet et le site

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17.5 °C, On constate que les mois les plus chauds sont juillet et août avec une température de 35.6 °C, en raison des courants chauds provenant du Sud, Les mois froids sont décembre, janvier et février.

II.6 SISMICITE :

La sismicité d'une région est un facteur très important dans le calcul des structures à long terme.

De ce fait elle doit être déterminée en se référant aux règles parasismiques algériennes RPA 99/version 2003.

Pour classer un ouvrage étudié, Le règlement parasismique Algérien (RPA), propose quatre groupes de classement qui sont définis ci-après :

- ✓ Groupe 1A : ouvrages d'importance vitale.
- ✓ Groupe 1B : ouvrages de grande importance.
- ✓ Groupe 2 : ouvrages courants ou d'importance moyenne.
- ✓ Groupe 3 : ouvrages de faible importance.

Selon le RPA, l'Algérie est divisée en cinq zones sismiques, elles sont regroupées dans le tableau suivant :[15]

Tableau II.1:zones sismiques en Algérie.

zones	0	I	II (IIa, IIb)	III
Sismicité	Négligeable	Faible	Moyenne	Elevé

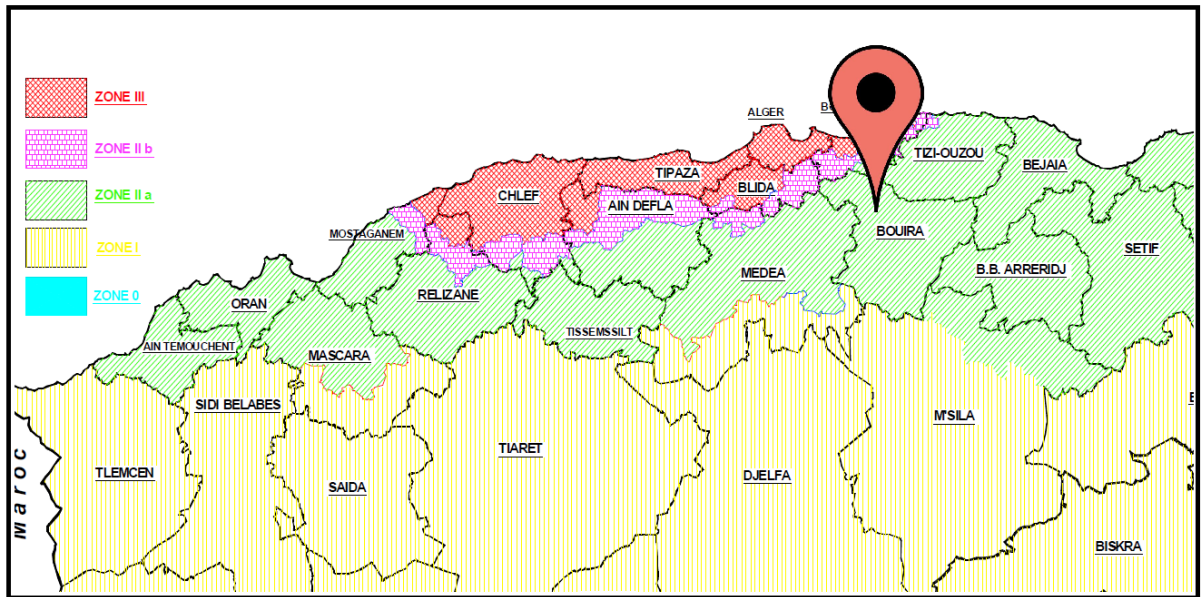


Figure II.6: carte de zonage sismique de l'Algérie.

Chaque zone sismique a un coefficient d'accélération A spécifique, ce coefficient dépend de la sismicité de la région et la classification de l'ouvrage étudié. Le tableau ci-dessous regroupe les coefficients d'accélération donnés par le RPA :[15]

Tableau II.2: Les coefficients d'accélération

ZONES GROUPES	I	IIa	IIb	III
	1A	0.15	0.25	0.30
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

D'après le RPA et la carte de zonage sismique d'Algérie, le contournement de la wilaya de bouira appartient au (groupe 1B), et a la Zone IIa (sismicité Moyenne), donc le

coefficient d'accélération à prendre en compte est : $A = 0.20$.

II.7 CONCLUSION :

Les informations obtenues à partir de ce chapitre sur le projet se résument en :

- La période pluvieuse est à proscrire pour les travaux de terrassements car le climat est méditerranéen avec deux saisons (humide, chaude), et des précipitations annuelles moyennes varient de 400 à 600 mm.
- Le dimensionnement et la réalisation des ouvrages d'arts devront prendre en compte la sismicité car la région est classée dans la zone IIa à Moyenne sismicité.

Chapitre III : Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

III.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre les essais in situ et en laboratoire effectués pour l'identification, la caractérisation et la classification des sols rencontrés le long du tracé et ceux provenant des sites d'emprunt (carrières et gites) ainsi que leurs interprétations sont présentées dans ce qui suit.

III.2 RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUES

III.2.1 Programme de reconnaissance

Le programme de reconnaissance fût arrêté par le nôtre Bureau d'études S.E.T.S. Il a consisté en l'exécution des puits de reconnaissance aux endroits indiqués sur le tracé en plan.

Huit (8) puits seront creusés, l'aide d'une pelle équipée en rétro, jusqu' atteindre une profondeur de près de 3.5 mètres. Ils seront de préférence placés dans des zones à remblayer, à proximité de la transition remblais/déblais, de manière à permettre, en simultanée la détermination de la capacité géotechnique des terrains, dans une perspective de réutilisation, puis l'accès aux terrains situés tout du moins à 2 mètres en deçà de la cote de la ligne de projet.

L'échantillonnage remanié qui représente les terrains en question, et obtenu grâce à la percée des puits en référence, fera l'objet d'une mise en caractère en laboratoire de mécanique des sols, afin d'évaluer la capacité des matériaux, aussi bien en termes de réutilisation des remblais, qu'en termes de lit de la fondation de la chaussée. [19]

III.2.2 Description des sols rencontrés

Les coupes ci-après illustrent la lithologie des différentes couches de sol rencontrées et leur niveau de séparation, du moins jusqu' a la profondeur d'investigation :

Puits K1 profil 15 - CW 125-est

0.00 – 0.60 m : Terre végétale.

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

0.60 – 3.50m : argile marneuse.

Puits K2 profil 07 - CW 125

0.00 – 0.60 m : Terre végétale.

0.60 – 2.50 m : argile marneuse.

2.50 – 3.50 m : marne fracturée.

Puits K3 profil 55 - CW 125-sud

0.00 – 0.40 m : Terre végétale.

0.40 – 2.50 m : argile marneuse.

2.50 – 3.50 m : marne fracturée.

Puits K4 profil 15 - CW 125-sud

0.00 – 0.40 m : Terre végétale.

0.40 – 3.50m : argile marneuse.

Puits K5 profil 19 - brettelle B

0.00 – 0.50 m : Terre végétale.

0.50 – 3.50m : argile marneuse.

Puits K6 profil 57 - brettelle B

0.00 – 0.50 m : Terre végétale.

0.50 – 3.50m : argile marneuse.

Puits K7 profil 05 - brettelle C

0.00 – 0.60 m : Terre végétale.

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

0.60 – 3.50m : argile marneuse.

Puits K8 profil 54 - axe gare 02

0.00 – 0.50 m : Terre végétale.

0.50 – 3.50m : argile marneuse.

Il ressort de ces coupes lithologiques, que le terrain est tout à fait homogène sur l'ensemble du tracé sélectionné.

En effet, tout le tracé situé dans le plan d'implantation est constitué par une couche d'argile marneuse, recouverte par une couche de terre végétale.

III.3 ESSAIS EN LABORATOIRE

III.3.1 Programme des essais

Sur les échantillons prélevés, les essais suivants ont été effectués : [19]

- ✓ Teneur en eau naturelle (NF P 94-050).
- ✓ Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056).
- ✓ Limite d'Atterberg (NF P 94-051).
- ✓ Essai Proctor modifié (NF P 94-093).
- ✓ Essai CBR imbibé. (NF P 94-078).
- ✓ Coefficient de fragmentabilité (NF P 94-066).
- ✓ Coefficient de dégradabilité (NF P 94-067).

L'ensemble de résultats est donné dans le Tableau III.1 :

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Tableau III.1: les résultats des essais laboratoire

Puits	Emplacement	Wn%	Granulométrie			Argilosité		OPN		I.CBR
			D max	2mm %	80μ %	LL%	IP%	γ _d t/m ³	W%	
K1	Pr 15 CW 125-est	14.7	08	97	84.5	37.68	14.74	1.91	12.2	3.81
K2	Pr 07	13.33	08	96	88.07	51.75	24.41	1.70	14.90	2.12
	CW 125	12.54	FR=8.6 > 7							
K3	Pr 55	12.70	08	97	84.30	44.25	19.72	1.68	13.70	2.27
	CW 125-sud	11.52	FR=8.46 > 7							
K4	Pr 15 CW 125-sud	13.25	08	95	87.24	50.68	22.02	1.68	15.50	2.14
K5	Pr 19 brettelle B	14.77	10	94	87.99	38.05	20.62	1.68	17.70	3.00
K6	Pr 57 brettelle B	19.33	08	95	88.37	59.59	22.95	1.73	17.50	2.24
K7	Pr 05 brettelle C	18.36	08	95	88.24	57.85	23.29	1.68	15.20	1.73
K8	Pr 54 axe gare 02	13.04	08	97	84.30	42.76	18.03	1.85	14.40	2.71

III.4 CLASSIFICATIONS DES SOLS DES PUIITS SELON LE GTR :

Le guide de terrassement routier GTR permet la classification des terrains meubles, selon la nature et l'état hydrique du sol, ainsi que des terrains rocheux, selon la nature pétrographique des roches. Nous avons utilisé le GTR pour classer les échantillons de huit (8) puits.

➤ Puits K1 profil 15 - CW 125-est :

a) Classement selon la nature :

• Première niveau de classification :

D_{max} = 8 mm ≤ 50mm et tamisât à 80 μm= 84.5 % > 35%

Chapitre III : Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

La classe \longrightarrow Classe **A** (sols fins).

• Deuxième niveau de classification :

L'indice de plasticité $IP = 14.74\%$ \longrightarrow $12\% < Ip < 25\%$

Sous classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

b) Classement selon l'état hydrique :

• Paramètres d'état :

$$1.1W_{opn} < W_n < 1.3W_{opn}$$

$$1.1 \times 12.2 < 14.7 < 1.3 \times 12.2$$

$13.42 < 14.7 < 15.86$ \longrightarrow Condition vérifiée

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2h}**

➤ Puits K2 profil 07 - CW 125 :

a) Classement selon la nature :

• Première niveau de classification :

$D_{max} = 8 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisât à $80 \mu\text{m} = 88.07\% > 35\%$

La classe \longrightarrow Classe **A** (sols fins).

• Deuxième niveau de classification :

L'indice de plasticité $IP = 24.4\%$ \longrightarrow $12\% < Ip < 25\%$

Sous classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

b) Classement selon l'état hydrique :

• Paramètres d'état :

$$W_n < 1.3W_{opn}$$

$$13.33 < 1.3 \times 14.9$$

$13.33 < 19.73$ \longrightarrow Condition vérifiée

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2th}**

c) Classement selon la nature pétrographique de la roche :

Roches sédimentaires \longrightarrow Roches argileuses \longrightarrow Marnes \longrightarrow **R₃**

d) Paramètres et valeurs seuils retenus :

$$Fr = 8.6 > 7$$

Et

$$0.9W_{opn} < W_n < 1.1W_{opn}$$

$$0.9 \times 14.9 < 12.54 < 1.1 \times 14.9$$

$13.41 < 12.54 < 16.39$ \longrightarrow Condition vérifiée

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Sous-classe \longrightarrow **R_{34m}**

➤ **Puits K3 profil 55 - CW 125-sud :**

a) Classement selon la nature :

• **Première niveau de classification :**

$D_{max} = 8 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisât à $80 \mu\text{m} = 84.3 \% > 35\%$

La classe \longrightarrow Classe **A**(sols fins).

• **Deuxième niveau de classification :**

L'indice de plasticité $IP = 19.72\% \longrightarrow 12\% < I_p < 25\%$

Sou classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

b) Classement selon l'état hydrique :

• Paramètres d'état :

$$0.9W_{opn} < W_n < 1.1W_{opn}$$

$$0.9 \times 12.7 < 12.7 < 1.1 \times 12.7$$

$$12.33 < 12.7 < 15.07 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2m}**

c) Classement selon la nature pétrographique de la roche :

Roches sédimentaires \longrightarrow Roches argileuses \longrightarrow Marnes \longrightarrow **R₃**

d) Paramètres et valeurs seuils retenus :

$$Fr = 8.46 > 7$$

Et

$$0.9W_{opn} < W_n < 1.1W_{opn}$$

$$0.9 \times 13.7 < 11.52 < 1.1 \times 13.7$$

$$12.33 < 12.54 < 15.07 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe \longrightarrow **R_{34m}**

➤ **Puits K4 profil 15 - CW 125-sud :**

a) Classement selon la nature :

• **Première niveau de classification :**

$D_{max} = 8 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisât à $80 \mu\text{m} = 87.24 \% > 35\%$

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

La classe \longrightarrow Classe A (sols fins).

- **Deuxième niveau de classification :**

L'indice de plasticité $IP= 22.02\%$ \longrightarrow $12\% < Ip < 25\%$

Sou classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

- b) **Classement selon l'état hydrique :**

- Paramètres d'état :

$$0.7W_{opn} < W_n < 0.9W_{opn}$$

$$0.7 \times 15.5 < 13.25 < 0.9 \times 15.5$$

$$10.85 < 13.25 < 13.95 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2s}**

➤ **Puits K5 profil 19 - brettelle B :**

- a) **Classement selon la nature :**

- **Première niveau de classification :**

$D_{max} = 8 \text{ mm} \leq 50\text{mm}$ et tamisât à $80 \mu\text{m} = 87.99\% > 35\%$

La classe \longrightarrow Classe A (sols fins).

- **Deuxième niveau de classification :**

L'indice de plasticité $IP= 20.62\%$ \longrightarrow $12\% < Ip < 25\%$

Sou classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

- b) **Classement selon l'état hydrique :**

- Paramètres d'état :

$$0.7W_{opn} < W_n < 0.9W_{opn}$$

$$0.7 \times 17.7 < 14.71 < 0.9 \times 17.7$$

$$12.33 < 14.71 < 15.93 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2s}**

➤ **Puits K6 profil 57 - brettelle B :**

- a) **Classement selon la nature :**

- **Première niveau de classification :**

$D_{max} = 8 \text{ mm} \leq 50\text{mm}$ et tamisât à $80 \mu\text{m} = 87.99\% > 35\%$

La classe \longrightarrow Classe A (sols fins).

- **Deuxième niveau de classification :**

L'indice de plasticité $IP= 22.95\%$ \longrightarrow $12\% < Ip < 25\%$

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Sou classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

b) Classement selon l'état hydrique :

- Paramètres d'état :

$$1.1W_{\text{opn}} < W_n < 1.3W_{\text{opn}}$$

$$1.1 \times 17.5 < 19.33 < 1.3 \times 17.5$$

$$19.25 < 19.33 < 22.75 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2h}**

➤ Puits K7 profil 05 - brettelle C :

a) Classement selon la nature :

- Première niveau de classification :

$$D_{\text{max}} = 8 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \text{ et tamisât à } 80 \text{ }\mu\text{m} = 88.24 \% > 35\%$$

La classe \longrightarrow Classe **A**(sols fins).

- Deuxième niveau de classification :

$$\text{L'indice de plasticité } IP = 23.29\% \longrightarrow 12\% < IP < 25\%$$

Sou classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

b) Classement selon l'état hydrique :

- Paramètres d'état :

$$1.1W_{\text{opn}} < W_n < 1.3W_{\text{opn}}$$

$$1.1 \times 15.2 < 18.36 < 1.3 \times 15.2$$

$$16.75 < 18.36 < 19.76 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A_{2h}**

➤ Puits K8 profil 54 - axe gare 02 :

a) Classement selon la nature :

- Première niveau de classification :

$$D_{\text{max}} = 8 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \text{ et tamisât à } 80 \text{ }\mu\text{m} = 84.3 \% > 35\%$$

La classe \longrightarrow Classe **A** (sols fins).

- Deuxième niveau de classification :

$$\text{L'indice de plasticité } IP = 18.03\% \longrightarrow 12\% < IP < 25\%$$

Sou classe fonction de la nature \longrightarrow **A₂**

b) Classement selon l'état hydrique :

- Paramètres d'état :

$$0.9W_{\text{opn}} < W_n < 1.1W_{\text{opn}}$$

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

$$0.9 \times 15.2 < 13.4 < 1.1 \times 15.2$$

$$12.96 < 13.4 < 15.84 \quad \longrightarrow \quad \text{Condition vérifiée}$$

Sous-classe fonction de l'état hydrique \longrightarrow **A₂m**

Tableau III.2: classification des sols des 8 Puits selon le GTR

N° Puits	Profondeurs (m)	Classement selon la nature		Classement selon l'état hydrique
		Classe	Sous classe	Sous classe fonction de l'état
K1	0.60 – 3.50	A	A₂	A₂h
K2	0.60 – 2.50	A	A₂	A₂th
	2.50 – 3.50	R	R₃₄	R₃₄m
K3	0.40 – 2.50	A	A₂	A₂m
	2.50 – 3.50	R	R₃₄	R₃₄m
K4	0.40 – 3.50m	A	A₂	A₂S
K5	0.50 – 3.50	A	A₂	A₂S
K6	0.50 – 3.50	A	A₂	A₂h
K7	0.60 – 3.50	A	A₂	A₂h
K8	0.50 – 3.50	A	A₂	A₂m

III.5 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SOLS

L'examen des valeurs des différentes caractéristiques permet de porter pour ce type de sol testé les éléments d'appréciation suivants :

a) Teneur en eau :

Selon que le sol se tient en profondeur supérieur à 2 m, la teneur en eau est moyen à élevée dans une plage de variation de 11 à 19 %, l'état hydrique des sols est moyen à humide.

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

b) La granulométrie :

Les analyses de granulométrie ont été effectuées sur les échantillons prélevés des différents sondages, laissent paraître une fraction dominante d'éléments fins, La fraction des éléments fins, c'est-à-dire les inférieurs à 80um sont très élevée, leurs pourcentage est supérieure à 80%.

Dans l'ensemble les diagrammes sont semblables les uns des autres et montrent que les sols sont des sols fins.

c) Plasticité

La plasticité d'un sol est appréhendée par la méthode classique de limite liquidité et de plasticité. Cet essai exécuté selon le mode opératoire permet de déduire la teneur en eau dite de liquidité (WL), et l'indice de plasticité (IP) sur les échantillons testés, classant les sols selon l'abaque de Casa Grande. (Voir Annexe 1), Les valeurs des trois paramètres varient ainsi :

$$LL = 37.68 \text{ à } 59.59$$

$$Wp = 17.43 \text{ à } 36.64$$

$$IP = 14.74 \text{ à } 24.41$$

Un tel seuil de la valeur IP indique que les sols sont peu à très plastiques.

III.6 CARACTERISTIQUES MECANIKES

Par caractéristiques mécaniques, on entend les caractéristiques de compactage et la portance des sols.

Ainsi, ont été effectués les essais Proctor Modifié et CBR à 95% de l'OPM sur le sol support. Résultats :

Essai Proctor modifié : sera déterminé par γ_d maximum et la teneur en eau optimum des matériaux.

$$\gamma_d = 1.68 \text{ à } 1.91 \text{ t/m}^3$$

$$W\% = 12.20 \text{ à } 17.50 \%$$

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Essais de Poinçonnement CBR : La détermination de l'indice portant des sols pour le dimensionnement de la chaussée sera effectuée à partir d'essais de poinçonnement de 3 échantillons moulés, aux valeurs proches de celles obtenues lors d'essai Proctor.

Essai CBR à 95% de l'OPM : $CBR < 5$ dans tout les puits.

L'examen des valeurs ci-dessus permet de donner l'appréciation suivante :

Les teneurs en eau optimales sont très souvent supérieur à la teneur en eau naturelle et rarement inférieur.

Les valeurs du CBR à 95% de l'OPM sont inférieurs à 5 pour tout les puits de reconnaissance, Donc le sol est de portance Très mauvaise.

III.7 GITE DE MATERIAUX MEUBLES ET CARRIERE :

III.7.1 Gîtes a matériaux

III.7.1.1 Gîtes de KADIRIA

a) Résultats des essais au laboratoire. [20]

Les essais réalisés au laboratoire sur les échantillons remaniés ont porté essentiellement sur :

- ✓ Essais physiques et identifications.
- ✓ Essais mécaniques.

Le gîte a fait l'objet d'un échantillonnage au moyen de fouilles manuelles et les échantillons prélevés ont été soumis aux essais suivants :

- Identification (granulométrie, limites d'Atterberg).
- Mécaniques (Proctor modifié, CBR).

Les résultats des essais sont consignés dans le tableau ci-après :

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Tableau III.3: Classification des sols prélevés des puits du Gîte de KADIRIA

Puits N°		P1	P2	P3	P4	P5	
Profondeur (m)		Sur talus	Sur talus	Sur talus	Sur talus	Sur talus	
	% des passants à 2mm	52.15	49.45	60.43	44.46	53.70	
	% des passants à 80 μ	26.97	17.63	35.69	17.53	23.24	
	% des passants à 2 μ	12	8	7	9	14	
Limites d'Atterberg	Limite de liquidité LL	28.31	22.72	-	36.94	29.67	
	Limite de plascité Lp	17.82	17.05	-	22.58	19.76	
	Indice de plasticité IP	10.49	5.67	-	14.36	9.91	
Interprétation sur LCPC		Sable Argileux peu plastique	Grave limoneuse peu plastique	Sol grenus	Grave limoneuse peu plastique	Sable Argileux peu plastique	
Proctor modifié	$\gamma_{d\text{ opm}}$ (t/m ³)	1.77	1.99	1.92	1.98	2.00	
	γ_{opm} (%)	9.30	8.20	8.30	9.40	9.20	
C.B.R imbibé à 4 jours	56 coups	γ_d (t/m ³)	1.80		1.92		2.04
		I _{CBR}	15.30		14.30		30.10
		Gonflement	0.31		1.10		0.11
	25 coups	γ_d (t/m ³)	1.76		1.79		1.90
		I _{CBR}	7.11		5.26		25.08
		Gonflement	1.02		1.49		0.19
	10 coups	γ_d (t/m ³)	1.59		1.67		1.71
		I _{CBR}	2.99		2.24		5.01
		Gonflement	1.57		2.24		0.35
I _{CBR}	A 95 % de l'Opm	5.07	-	7.26	-	25.05	
Classe du sol selon GTR		B5h	B5	B5h	B5	B5m	

b)Interprétation des résultats :

D'après la classification LCPC, on a deux types de sol, l'un Sablonneux argileux peu plastique (P1, P5), et l'autre Graveleux limoneux peu plastique (P2, P4).

La densité sèche maximale a été mesurée entre $1,77 \text{ t/m}^3$ et $2,0 \text{ t/m}^3$ avec des valeurs correspondantes de teneur en eau OPM Proctor variant entre 8,20% et 9,40%.

L'indice CBR à 56 coups/couche obtenu après quatre (04) jours d'imbibition, est de l'ordre de (14,30 à 30,10) avec un gonflement relatif linéaire de (0,11 à 1,10 %) jugé satisfaisant.

Les valeurs des I_{CBR} à 95% de l'Opm varient entre 5.07 et 25.05, ce qui indique des sols de faible à bonne portance.

Les sols sont de la classe A, ce sont des sols fins ; avec des sous classes **A2m, A2s** (sables fins argileux).

III.7.1.2 Gîte de BOUIRA:

a) Résultats des essais de laboratoire[20]

L'échantillon prélevé a été soumis aux essais suivants :

- ✓ Identification (granulométrie, limites d'Atterberg).
- ✓ Mécaniques (Proctor modifié, CBR).

Les résultats des essais sont consignés dans le tableau ci-après :

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Tableau III.4: Classification des sols prélevés des puits du gîte BOUIRA

Puits N°		P1	P2	P3	P4	P5	
Profondeur (m)		0.80-1.5	0.80-1.5	0.80-1.5	0.80-1.5	0.80-1.5	
	% des passants à 2mm	54.79	55.63	56.13	84.36	79.54	
	% des passants à 80 μ	27.04	20.11	27.75	42.27	34.41	
	% des passants à 2 μ	10	7	9	13	12	
Limites d'Atterberg	Limite de liquidité LL	23.98	22.08	24.98	23.78	25.10	
	Limite de plasticité Lp	13.03	12.66	13.54	12.61	13.63	
	Indice de plasticité IP	10.95	9.42	11.44	11.17	11.47	
Interprétation sur LCPC		Sable Argileux peu plastique	Sable Argileux peu plastique	Sable Argileux peu plastique	Sable Argileux peu plastique	Sable Argileux peu plastique	
Proctor modifié	$\gamma_{d\text{ opm}} (t/m^3)$	2	2	2.08	1.95	1.97	
	$\gamma_{\text{opm}} (\%)$	8.80	9	8.4	10.20	11.20	
C.B.R imbibé à 4 jours	56 coups	$\gamma_d (t/m^3)$	1.997	1.998	2.07	1.948	1.97
		I _{CBR}	50.79	80.22	28.70	24.45	14.85
		Gonflement	0.095	0.03	0.063	0.38	0.12
	25 coups	$\gamma_d (t/m^3)$	1.93	1.98	1.97	1.876	1.889
		I _{CBR}	27.08	46.17	17.97	14.87	11.97
		Gonflement	0.12	0.07	0.61	0.41	0.22
	10 coups	$\gamma_d (t/m^3)$	1.867	1.856	1.88	1.77	1.78
		I _{CBR}	13.63	27.31	12.30	8.14	10.64
		Gonflement	0.12	0.11	0.17	0.51	0.25
I _{CBR}	A 95 % de l'Opm	19.79	39.93	18.39	13.50	11.79	
Classe du sol selon GTR		C1B5m	C1B5s	C1B5m	A1ts	B5s	

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

b)Interprétation des résultats

D'après la classification LCPC, ce matériau est un sable argileux.

La densité sèche maximale a été mesurée entre $1,95 \text{ t/m}^3$ et $2,08 \text{ t/m}^3$ avec des valeurs correspondantes de teneur en eau OPM Proctor variant entre 8,20% et 11,20 %.

L'indice CBR à 56 coups/couche obtenu après quatre (04) jours d'imbibition, est de l'ordre de (4,28 à 4,55) avec un gonflement relatif linéaire de (1,18 à 1,88%) jugé satisfaisant.

Les valeurs des I_{CBR} à 95% de l'Opm varient entre 11.79 et 39.93, ce qui indique des sols de bonne portance.

Suivant la classification GTR réalisées sur ces sols laissent apparaître trois types de sols :

- P1, P 2 et P3 classés respectivement **C1B5m**, **C1B5s** ; ces deux sous classes sont des sols comportant de fins et de gros éléments.
- P4, classés **A1ts**, formé de sols fins (limon peu plastique, silts alluvionnaires, sable fins peu pollués).
- P5, classés **B5s**, sol sablonneux et graveleux avec fines (sable et grave très silteux).

III.7.1.3 Condition d'utilisation des matériaux :

La classification des sols, présente un intérêt important pour la réutilisation des matériaux en remblai et couche de forme, dans la mesure où ils présentent des qualités acceptables.

III.7.1.3.1 Gîtes pour remblais et couche de forme :

A) KADIRIA :

Les sols **Bsh** sont difficiles à mettre en œuvre, en remblais en raison de leur faible portance.

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Les sols **B_{5m}** sont inutilisables en remblais, la sensibilité de ces sols à la situation météorologique, peut interrompre les travaux à cause de l'excès de la teneur en eau ou au contraire à un sol trop sec, difficile à compacter.

- ✓ Les sols sont de la classe B, ce sont des sols sablonneux et graveleux fins ; avec des sous classes **B_{sh}**, **B_{5m}** (Sables et graves très Silteux).

B) BOUIRA:

Les sols A_{1ts} sont inutilisables en remblais et couche de forme .

Les sols B_{5s} sont très difficiles à compacter, du fait de faible teneur en eau , en conséquence, il convient soit de les compacter intensément avec un arrosage superficiel, soit d'humidifier sans sa masse pour le ramener en B_{5m}.

Les matériaux C₁B_{5m}en remblai, sont très sensibles aux conditions atmosphériques, qui peuvent très rapidement interrompre les travaux par excès de teneur en eau ou au contraire à un sol trop sec, difficile à compacter ;

Les sols C₁B_{5s} nécessitent un compactage intense pour leur mise en œuvre.

- ✓ Classés A_{1ts}, formé de Sols fins (limon peu plastiques, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués).
- ✓ Classés B_{5s},Sol sablonneux et graveleux avec fines (sable et grave très silteux).
- ✓ C₁B_{5m}, C₁B_{5s} ;Ces deux sous classes sont des sols comportant des fines et gros éléments.

III.7.2 Les Carrières :

Les besoins du projet en matériaux concassés pour les différentes couches du corps de la chaussée nous ont amené à la recherche de matériaux des carrières.

La résistance des granulats à l'effort de fragmentation et d'attrition provenant des charges extérieures est essentielle à la stabilité d'une assise non traitée. En effet, il indispensable que les frottements grain à grain ne provoquent pas de modification de la granularité afin de maintenir les qualités de l'assise sous l'effet de la circulation.

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Pour cela, les spécifications portent généralement sur le Los Angeles (LA) et le Micro-Deval en présence d'eau (MDE) pour lesquels on fixe des seuils à ne pas dépasser en fonction du trafic et de la nature de la couche d'assise suivant le tableau ci-dessous.

Tableau III.5: Le classement des roches en fonction de LA et MDE.

Coefficient LA	Coefficient MDE	Appréciation
$\leq 15 \%$		Très bon à bon
de 15 % à 20 %		Bon à moyen
de 20 % à 30 %		Moyen à faible
$\geq 30 \%$		Médiocre

La prospection a permis la mise en évidence des carrières situées dans la localité de Djabahia, pour les besoins des granulats pour le corps de chaussée, d'après la direction des mines de Bouira, nous pouvons sélectionner les carrières ci-après :

III.7.2.1 Les Carrières D'agrégat Pour La Construction De Chaussée :

Résultats de la prospection de carrières (Bouira).

Tableau III.6: Carrières (Bouira).

Carrière	Classes	MDE	LA
Sarl	3/8	17.60	21.30
SALAH (Sidi Amar)	8/15	20.60	19.60
	15/25	17	17.40
Sarl LABDLIA	25/40	12.20	8.80

Résultats de la prospection de carrières (Aomar) :

Tableau III.7: Carrières (Aomar).

Chapitre III :Interprétation des données géotechniques et classification des sols selon le GTR

Carrière	Classes	MDE	LA
Sarl PPCMC	3/8	60	27.70
	8/15	50	23.10
	15/25	48.40	20.70
Sarl CAMOMA	3/8	47.60	25.30
	8/15	37.60	18.50
	15/25	36	18.10
SONATRO	3/8	17.60	21.10
	8/15	11.60	19.50
	15/25	8.00	18.56

III.7.2.2 Caractéristiques Des Granulats :

- ✓ Granulométrie : les dimensions des granulats sont : 3/8, 8/15, 15/25, 0/40 ,25/40.
- ✓ caractéristiques mécaniques:

Los Angles : $8.80\% < LA < 25.30\%$

Micro Deval humide : $8.0 < MDE < 60.00\%$

- ✓ Pour le corps de chaussée :

- La Grave Non Traitée (GNT) : de dimension 8/15, 15/25 en couche de base, et de dimension 0/40, 25/40 en couche de fondation.

- La Grave – Bitume (GB) : de dimension 15/25 en couche de base et de fondation.

- Le Béton Bitumineux (BB) : de dimension 3/6 en couche de roulement.

III.8 CONCLUSION

Pour classer les sols, on a utilisé la classification selon la norme NF P 11 300.

Selon cette dernière les sols analysés se situent respectivement dans les catégories ainsi : les sols fins : argile marneuse (A2) et des marnes fragmentable au fond des puits K2 et K3 (après la profondeur de 2.50 m).

Les conditions géologiques de notre zone d'étude ainsi que les propriétés géotechniques adéquates des différentes formations permettent de satisfaire les besoins du projet en matériaux de remblais, déblais et granulats.

- Les gîtes à matériaux et les carrières prospectés dans la région de projet recèlent des réserves satisfaisantes surtout concernant les gîtes à matériaux.
- Avant l'utilisation de ces matériaux en remblai, il est impératif de procéder à des mesures complémentaires d'identification.
- En ce qui concerne les granulats, les fractions (3/8, 8/15, 15/25, 0/40 ,25/40.), produites par l'exploitant a donné des valeurs de caractéristiques physico-mécaniques satisfaisantes et peuvent ainsi répondre aux exigences vis à vis de l'utilisation en corps de chaussée.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

IV.1 INTRODUCTION

La qualité d'un projet routier ne se limite pas seulement à l'obtention d'un bon tracé et d'un bon profil en long. En effet une fois réalisée, la route devra résister aux agressions extérieures (gradients thermiques, pluie, neige, verglas, gel ...etc.).

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial, pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques qui lui permettra de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie. Celle –ci passe d'abord par une bonne connaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser.

Pour le dimensionnement du corps de chaussée, deux méthodes sont appliquées en Algérie, à savoir :

- ✓ La Méthode CBR,
- ✓ La Méthode du catalogue de dimensionnement Algérien,

Par conséquent, on effectuera une analyse comparative des deux méthodes et le choix du corps de chaussée à adopter à notre projet sera retenu respectivement selon les critères géo- mécaniques et économiques.

Les données du projet routier du contournement de la commune de Djebahia, de la wilaya de Bouira sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.1: Données du projet

Données	Les valeurs
Trafic journalier à l'année comptage (2014)	4400
Le taux d'accroissement annuel du trafic	4%
Le nombre de poids lourds	528
Le pourcentage de poids lourds	12 %
La durée de vie	20 ans
Indice CBR	1.73

IV.2 DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

IV.2.1 Méthode Du Catalogue Algérien

Les données de bases pour le dimensionnement de chaussée sont :

- ✓ Letrafic.
- ✓ La durée devie.
- ✓ Les donnéesclimatiques.
- ✓ Le sol support dechaussée.
- ✓ Le risque de calculconsidéré.
- ✓ Les caractéristiques desmatériaux.

IV.2.1.1 Les Calculs Du Trafic

❖ Détermination du type du réseau principal

D'après le catalogue on a la classification suivante :

$$TJMA_{2014} = 4400 (V/j/2sens) = 2200(V/j/sens) > 1500(V/j)$$

Donc : le réseau principal est RP1

❖ Répartition transversale du trafic

$$TJMA_{2022} = TJMA_{2014} \times (1+i)^n \quad (IV.1)$$

$$TJMA_{2022} = 2200 \times (1+0.04)^8 = 3011 (V/j/sens)$$

Nous avons plusieurs chaussées unidirectionnelles (2 voies parfois étroites à 2 fois 3

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

voies ou plus) donc on considère que nous avons

- chaussées unidirectionnelles à 2 voies : 90% du trafic PL sur la voie lente de droite.

$$TPLi_{2022} = 3011 \times 0.12 \times 0.9$$

$$TPLi_{2022} = 326 \text{ PL/j/sens}$$

❖ Détermination de la classe du trafic

$$300 < 326 < 600 \quad \longrightarrow \quad 300 < TPL 4 < 600$$

D'après le catalogue de dimensionnement de chaussée neuve, notre trafic est de classe : **TPL4**

❖ Détermination de trafic cumulé de pl. (TCi)

Le (TCi) est le trafic cumulé de poids lourd (PL) sur une période considérée pour le dimensionnement (durée de vie). Il est donné par la formulation suivante :

$$TCi = TPLi \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (\text{IV.2})$$

Application au projet :

Pour une période de dimensionnement égale à 20 ans, le trafic cumulé est donné comme Suit :

$$TCi = 326 \times 365 \times \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04}$$

$$TCi = 35.43 \times 10^5 \text{ PL/j/sens}$$

❖ Le trafic cumulé équivalent (TCEi)

TCEi correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée, Il est donné par la formule suivant :

$$TCEi = TCi \times A \quad (\text{IV.2})$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

A : coefficient d'agressivité é de poids lourd par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes. En fonction de réseau principal RPi.

Tableau IV.2: Valeur de coefficient d'agressivité A

Niveau de réseau principal(RPi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP ₁	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GC, GB/Tuf, GB/GC	0.6
	Chaussées à matériaux traités au liants hydraulique : GL/GL, BCg / GC	1

Application au projet :

Etant donné que le tronçon routier considéré dans notre projet tombe dans des niveaux de réseau principale (RP1), avec un type de matériau choisi pour la réalisation de la chaussée comme étant un matériau traité au bitume, la valeur adoptée au coefficient d'agressivité A est de 0.6 comme indiquée dans le tableau ci-dessus.

Donc pour un coefficient d'agressivité égale à : $A=0.6$

Le trafic cumulé équivalente est calculé comme suit :

$$TCE_i = 35.43 \times 10^5 \times 0.6$$

$$TCE_i = 21.26 \times 10^5 \text{ (essieu 13t/ durée vie).}$$

IV.2.1.2 Détermination de la structure type du corps de chaussée

Le choix de la structure type est en fonction du niveau de réseau principal RP1 ou RP2. Le choix des structures types sont mentionnées dans le tableau donné par le catalogue CTTTP dans suivant :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.3: Structures disponibles dans le catalogue

Niveau de réseau Principal (RP _i)	MATERIAUX 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** : encroustement calcaire **SB**:sable bitume, **SG** : sable gypseux

Le réseau principal est de niveau 1 (RP1), donc d'après les structures disponibles dans le catalogue du CTTTP, on choisit la structure de type : **GB/GNT** selon la nature des matériaux disponible.

IV.2.1.3 Détermination de la portance du sol-support

La structure de la chaussée est construite sur un sol support, donc la détermination de sa portance est nécessaire. Cette portance est en fonction de l'indice CBR, Elle est répertoriée dans le tableau suivant :

Tableau IV.4: Présentation des classes de portance des sols (S_i)

Portance (S _i)	S4	S3	S2	S1	S0
CBR	< 5	5-10	10-25	25-40	>40

Le classement établi par le CTTTP sur 4 portance des sol support :S₃ ,S₂,S₁,et S₀

On été déduit a patir des classes de serie d'essais en laboratoire sue une famille de

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

sols prédominant en algerie

A partir de l'indice I_{CBR} on peut calculer le module de la portance (E) avec la relation empirique suivante :

$$E(\text{MPa})=5 \times I_{CBR} \tag{IV.3}$$

$$\text{Donc : } E(\text{MPa})=5 \times 1.73= \mathbf{8.65 \text{ MPa}}$$

Tableau IV.5:Classes de portance de sol-support

Classes de sol-support	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀
Module E(MPa)	25-50	50-125	125-200	>200

Certain sols possèdent une mauvaise portance vis-à-vis au classement des sols support (S4 en RP2, S4 et S3 en RP1), la réalisation des couches de la chaussée en bon condition est presque impossible, pour cela le recours à une couche de forme devient nécessaire et couche en matériaux naturels sélectionnés ou traités permet un surclassèrent de portance du sol terrassé .voir Figure IV.1.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

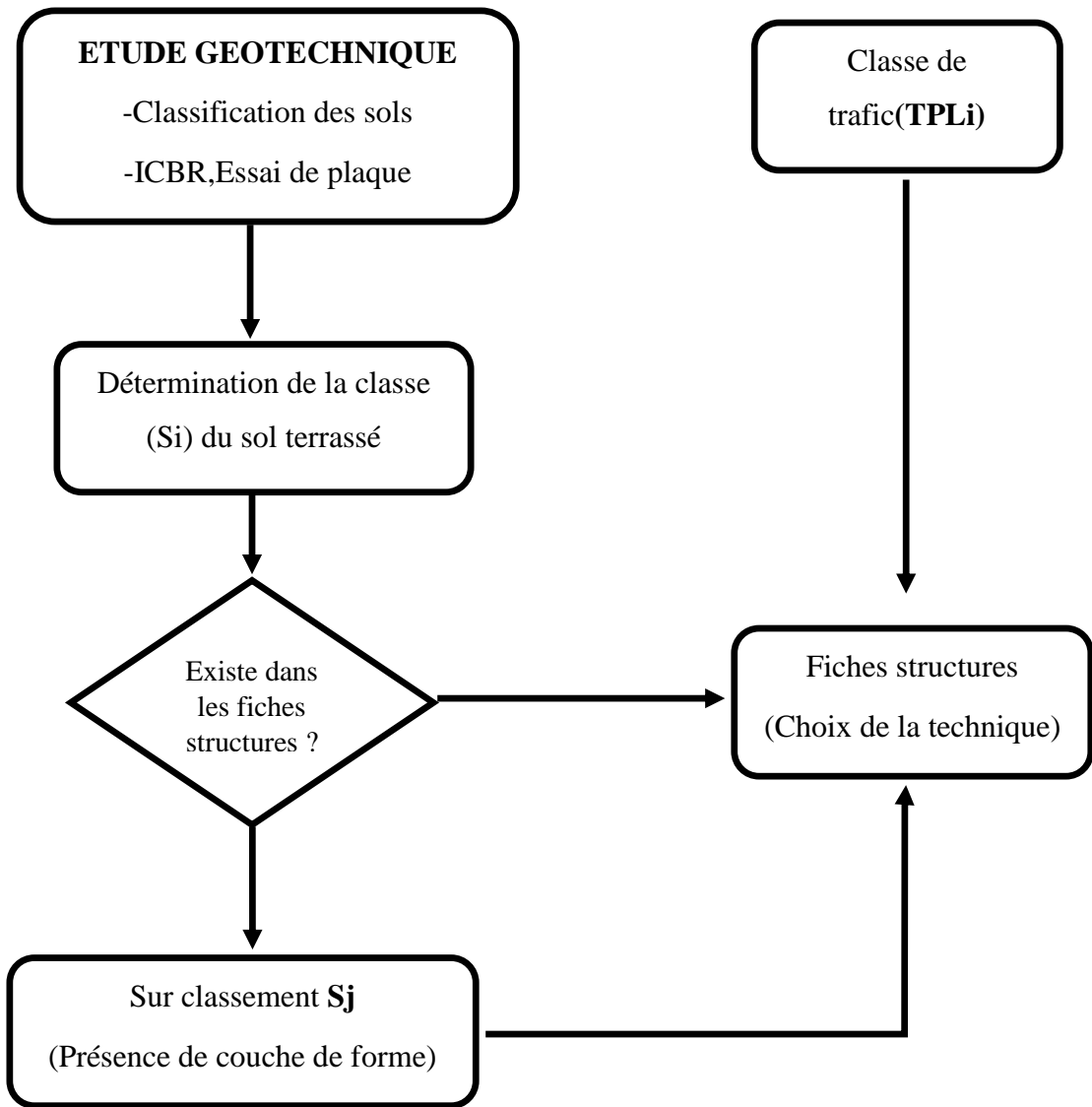


Figure IV.1: détermination de la classe de portance de sol-support

Selon les cas de chantiers (trafic, nature des sols, zones climatiques), la couche de forme sera de différents types. Elle peut être en une ou plusieurs couches suivant le cas de portance du sol terrassé (S_i) et la classe de sol-support visée (S_j).

Dans le cas de sur classement de sols supports, Tableau IV.6 donne des indications sur le choix de la couche de forme à réaliser.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.6: Sur classement avec couche de forme.

portance de sol terrassé (Si)	Matériaux de couche de forme	Epaisseur de matériaux	Classe de portance de sol support visée (Sj)
<S4	Matériaux non traités	50 cm (en 2 couches)	S3
S4	Matériaux non traité	35 cm	S3
S4	Matériaux non traités	60 cm (en 2 couches)	S2
S3	Matériaux non traités	40 cm (en 2 couches)	S2
S3	Matériaux non traités	70 cm (en 2 couches)	S1

D'après le tableau IV.6, pour améliorer les performances de la plateforme support, une couche de forme de 60cm disposée en 2 couches son été choisie, ainsi qu'une portance du sol support visée S2. Donc en allant d'une mauvaise portance du sol support vers une portance moyenne via une couche de forme de 60cm et une portance du sol S2.

IV.2.1.4 La zone climatique :

La région de Bouira est située dans le nord de l'Algérie avec une pluviométrie > 600 mm/an, d'après le tableau suivant donnant la classe des zones climatiques

Région d'étude appartient à : **la Zone climatique I.**

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.7: Les Zones climatiques en Algérie

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

Tableau IV.8: Choix des températures équivalentes

Zone climatique	I et II	III	IV
Température équivalente θ_{eq}	20°C	25°C	30°C

Donc on prend une température équivalente égale à **20°C**.

IV.2.1.5 La durée de vie :

La durée de vie est choisie selon le réseau principal et le type de matériaux constituant la structure de chaussée. Le tableau ci-après représente les durées de vie des différentes structures de chaussées :

Tableau IV.9: durée de vie adoptée.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Niveau de réseau Principal (RP _i)	Matériaux Types	Structures	Durée de Vie
RP1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT GB/TUF, GB/SG, GB/AG	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL	20
		BCg	25
RP2	MAT (matériaux non traités)	GNT/GNT ,TUF/TUF AG/AG,SG/SG	15
	MTB (matériaux traités aux bitumes)	SB/SG	15

Les matériaux choisis dans notre cas sont du type GB/GNT préférant une durée de vie par référence au tableau ci-dessus de **20 ans**.

IV.2.1.6 Risque de calcul :

Dans le tableau qui suit, le risque de calcul en fonction des classes de trafic et le type des structures adoptées

Tableau IV.10: Risque adopté pour le réseau RP1.

	Classe de trafic(TPL _i) (PL/J/sens)	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

Avec une classe de trafic de **TPL4**, un réseau principal **RP1**, et une structure de type

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

GB/GNT, risque de calcul donné est égale à **R= 15%**.

IV.2.1.7 Structure finale :

La structure finale proposée est la suivante :

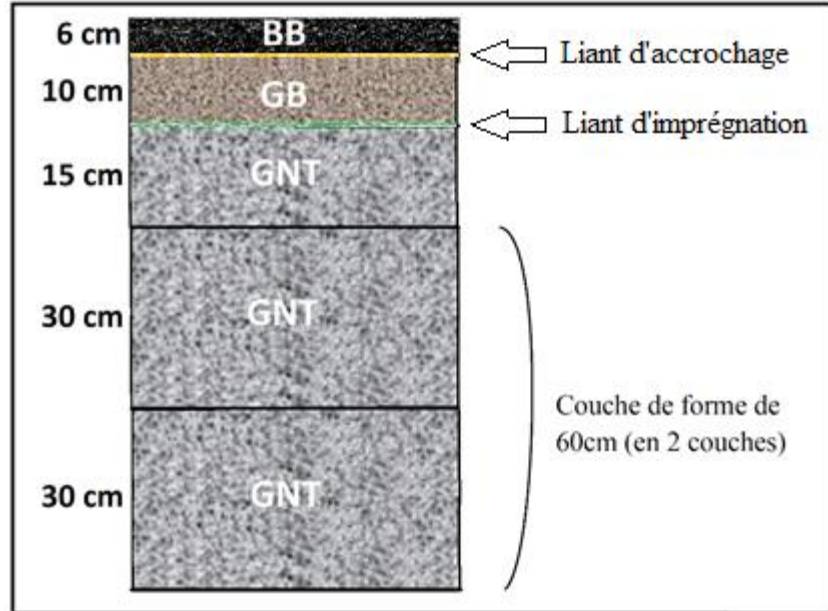


Figure IV.2: Les épaisseurs des couches par la méthode du catalogue

IV.2.2 La Méthode de dimensionnement « CBR » :

L'épaisseur équivalente du corps de chaussée est donnée par la formule suivante :

$$e = \frac{100 + \sqrt{p}(75 + 50 \log(\frac{N}{10}))}{CBR + 5} \quad (IV.4)$$

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

❖ **Le trafic de l'année de mise en service**

Le trafic de l'année de mise en service 2022 est donné par la formule ci-contre :

$$TJMA_{2022} = TJMA_{2014} \times (1+i)^n$$

Avec :

TJMA2022 : trafic journalier de l'année de mise en service.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

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

n: la différence entre l'année de mise en service 2022 et l'année de comptage 2014.

n: 8 ans.

Application au projet :

$$TJMA_{2022} = 2200 \times (1+0.04)^8 = 3011 \text{ (V/j/sens)}$$

❖ Le trafic à l'année horizon

Le trafic à l'année horizon c'est à dire à 20ème année d'exploitation avec $n=20$ ans et

i = 4 %

Est donnée par la formule suivante :

$$TJMA_{2042} = TJMA_{2022} \times (1+i)^n \quad (IV.5)$$

Avec :

n : la durée de vie qui égale à 20ans.

Application au projet :

$$TJMA_{2042} = 3011 \times (1+0.04)^{20}$$

$$TJMA_{2042} = 6598 \text{ v/j/sens}$$

❖ Le trafic du poids lourds

Le trafic du poids lourds par jour par sens à année horizon est calculé par la formule suivante :

$$N = TjMA_{2042} \times PL\% \quad (IV.6)$$

Application au projet :

$$N = 6598 \times 0.12$$

$$N = 792 \text{ PL/j/sens}$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Alors l'épaisseur équivalente est égale à :

$$E_{eq} = \frac{100 + \sqrt{6.5}(75 + 50 \log(\frac{792}{10}))}{1.73 + 5} \quad (IV.7)$$

$$E_{eq} = 79 \text{ cm}$$

Les résultats obtenus par la méthode CBR sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.11: Représentation des résultats obtenus

TjMA ₂₀₄₂ (v/j/sens)	N (PL/j/sens)	E _{eq} (cm)
6598	792	79

Puisque notre structure de chaussée est composée de plusieurs matériaux de nature différentes, on utilise le coefficient d'équivalence de chaque matériau en utilisant la formule ci-après :

$$E_{eq} = \sum (e_i \times a_i) \quad (IV.8)$$

$$E_{eq} = e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2 + e_3 \times a_3$$

On va utiliser les matériaux suivants dans le corps de chaussée :

- ✓ Couche de roulement (béton bitumineux) avec : $a_1 = 2$
- ✓ Couche de base (Grave bitume) avec : $a_2 = 1.5$
- ✓ Couche de fondation (GNT) avec : $a_3 = 1$

Généralement les épaisseurs adoptées sont :

BB = 6 à 8 cm ;

GB = 10 à 15 cm ;

GNT = 15 à 25 cm

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.12: proposition des différentes couches

Nom de la couche	Epaisseur de la couche (cm)	Coefficients d'équivalences des Matériaux (cm)
BB	8	2
GB	22	1.5
GNT	e₃	1

Pour calcul des épaisseurs, on fixe deux dans les marges suivantes et on déduit la dernière :

$$e_3 = \frac{E_{eq} - (a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2)}{a_3} \tag{IV.9}$$

$$e_3 = \frac{79 - (8 \times 2 + 22 \times 1.5)}{1}$$

$$e_3 = 30 \text{ cm}$$

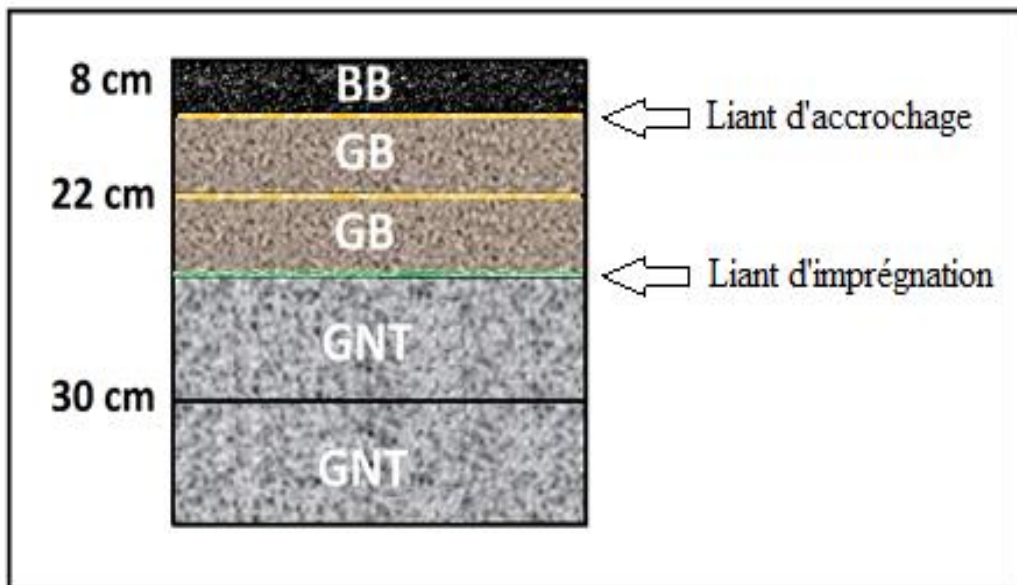


Figure IV.3: Les épaisseurs des couches par la méthode du CBR

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

IV.2.3 Modélisation des structures type et calcul des déformations

La modélisation des structures types et le calcul des déformations est faite par le logiciel ALIZE. Il faut vérifier que ϵ_z et ϵ_t calculées à l'aide du logiciel sont inférieures aux valeurs admissibles calculées, $\epsilon_z \text{ adm}$ et $\epsilon_t \text{ adm}$.

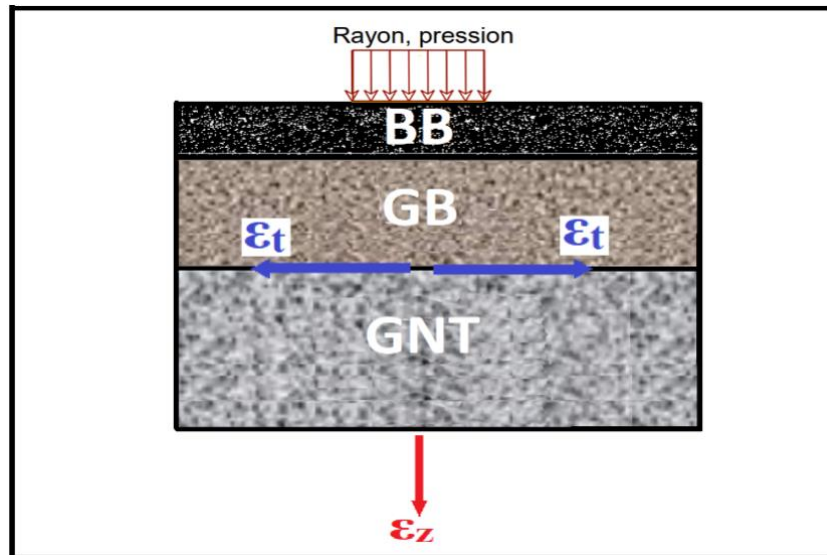


Figure IV.4: Mode de fonctionnement de la structure

IV.2.3.1 Calcul de la déformation admissible de traction $\epsilon_{t,adm}$ pour les matériaux traités au bitume.

D'après le catalogue CTPP, le calcul de déformation admissible de traction est donné par la formule suivante :

$$\epsilon_{t,adm} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) \times K_{ne} \times K_{\theta} \times K_r \times K_c \quad (\text{IV. 10})$$

Kc: =1.3 ; Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur les chaussées.

$\epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz})$: Déformation limite détenue à partir de l'essai de fatigue au bout de 106 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.13: performances mécaniques des matériaux bitumineux.

Matériau (MTB)	E(30°C,10H) (MPa)	E(25° ,10Hz) (MPa)	E(20° ,10Hz) (MPa)	E(10° ,10Hz) (MPa)	$\epsilon_6(10^\circ,25\text{Hz})$ 10^{-6}	-1/b	SN	Sh (cm)	ν	Kc
BB	2500	3500	4000	-	-	-	-	-	0,35	-
GB	3500	5500	7000	12500	100	6,84	0,45	3	0,35	1,3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0,68	2,5	0,45	1,3

$$\epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) = 100 \times 10^{-6}$$

Kne : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée

$$Kne = \left(\frac{10^6}{TCE_i}\right)^b \quad (IV. 11)$$

b : pente de la droite de fatigue $b < 0$.

$$Kne = \left(\frac{10^6}{21.26 \times 10^5}\right)^{-0.146}$$

$$Kne = 1.12$$

K θ : facteur lié à la température

$$k\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \quad (IV. 12)$$

E(10°C) : Module complexe du matériau bitumineux à 10°C

E(θ_{eq}) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente en fonction de la zone climatique considérée

$$E(10^\circ\text{C}) = 12500 \text{ MPa}$$

$$E(\theta_{eq}) = E(20^\circ\text{C}) = 7000 \text{ MPa} \quad \text{selon la zone climatique I.}$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

$$K_{\theta} = \sqrt{\frac{E(10^{\circ}C)}{E(\theta_{eq})}} = \sqrt{\frac{12500}{7000}} = 1.336$$

Kr : facteur lié au risque et aux dispersions

$$K_r = 10^{-tb\delta} \tag{IV. 13}$$

Avec : δ est f (dispersions) calculées comme suit :

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} \times Sh\right)^2} \tag{IV. 14}$$

SN : dispersion sur la loi de fatigue

Sh : dispersion sur les épaisseurs (en cm)

c : coefficient égal à 0.02

t : facteur en fonction du risque (r %) tableau suivant

Tableau IV.14: Valeurs de t = f (r%)

r %	2	3	5	7	10	12	15
t	-2,054	-1,881	-1,645	-1,52	-1,282	-1,175	1,036
r %	20	23	25	30	35	40	50
t	-0,842	-0,739	-0,674	-0,524	-0,385	-0,253	0

Risque de calcul donné est égale à **R= 15%** donc **t = 1.036**

$$\delta = \sqrt{0.45^2 + \left(\frac{0.02}{-0.146} \times 3\right)^2} \tag{IV. 15}$$

$$\delta = 0.609 \text{ cm}^2$$

$$K_r = 10^{-(-1.036 \times -0.146 \times 0.609)}$$

$$K_r = 0.809$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

$$\varepsilon_t, \text{adm} = 100 \times 10^{-6} \times 1.12 \times 1.336 \times 0.809 \times 1.3$$

$$\varepsilon_t, \text{adm} = 157.37 \times 10^{-6}$$

IV.2.3.2 calcul de la déformation admissible sur le sol support ($\varepsilon_{z,\text{adm}}$) :

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

$$\varepsilon_z, \text{adm} = 22 \times 10^{-3} \times (\text{TCEi})^{-0.235} \quad (\text{IV. 16})$$

$$\varepsilon_z, \text{adm} = 22 \times 10^{-3} \times (21.26 \times 10^5)^{-0.235}$$

$$\varepsilon_z, \text{adm} = 716.9 \times 10^{-6}$$

IV.2.3.3 Vérification des résultats de calcul par Alize III

IV.2.3.3.1 Présentation de logiciel ALIZE III :

Le logiciel ALIZE-LCPC, met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussées, élaborée par le LCPC (Actuel IFSTTAR) et le SETRA. Il intègre ainsi un outil de calcul des valeurs admissibles (contraintes ou déformations) en fonction du contexte de trafic et de matériaux.

ALIZE-LCPC permet de dimensionner tout type de chaussées (souples, rigides,...). Il est également un outil puissant pour l'analyse des projets de renforcement/rénovation des chaussées. Son option de rétrocalcul des bassins de déflexion s'adapte aux contingences des gestionnaires de réseau. En complément, l'algorithme de calcul GEL 1D pour la vérification au gel/dégel des structures est proposé en option.

Ces fonctionnalités métiers font d'ALIZE-LCPC l'outil incontournable pour la projection et la vérification des projets routiers neufs ou en rénovation. [16]

IV.2.3.3.2 Vérification des résultats de Méthode catalogue CTFP

Dans un premier lieu on insère les données de la structure de chaussée c'est les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la structure et la température

Les étapes de calcul sont les suivantes :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

➤ Etape 1 :

Faire rentrer les différentes épaisseurs de la structure ainsi que les modules et les coefficients de Poissons de chaque couche et les conditions d'interfaces.

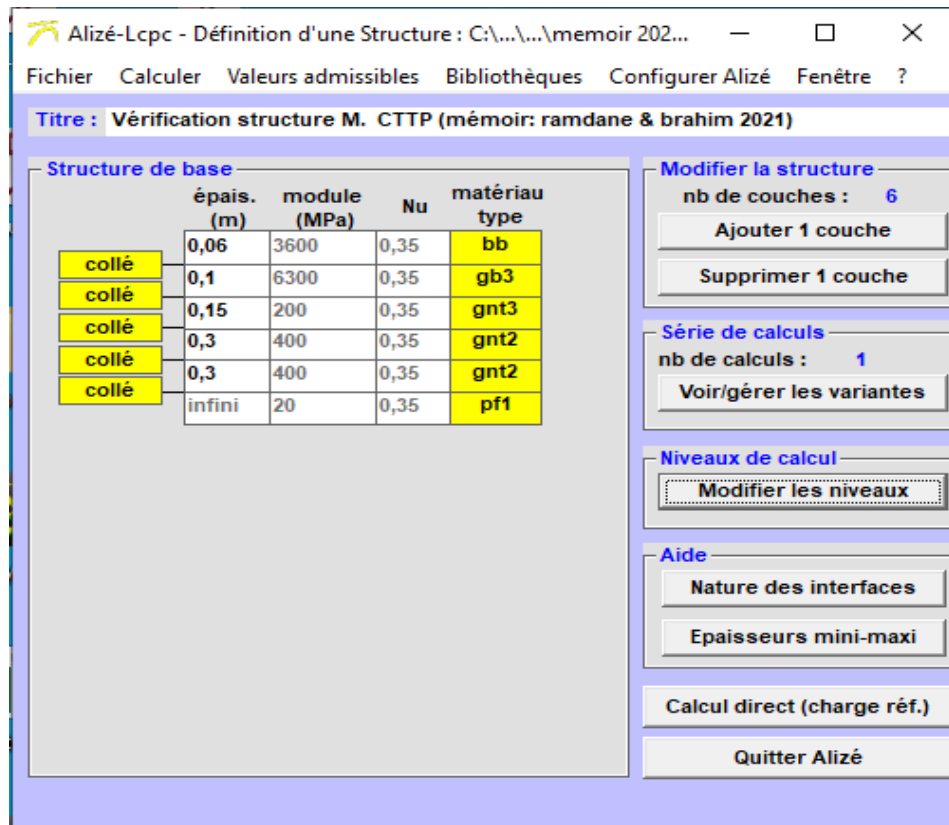


Figure IV.5: épaisseurs des couches de la structure de chaussée (méthode CTPP).

➤ Etape 2 :

On va calculer les différentes valeurs des déformations à la base de la couche de base et au niveau du sol support.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

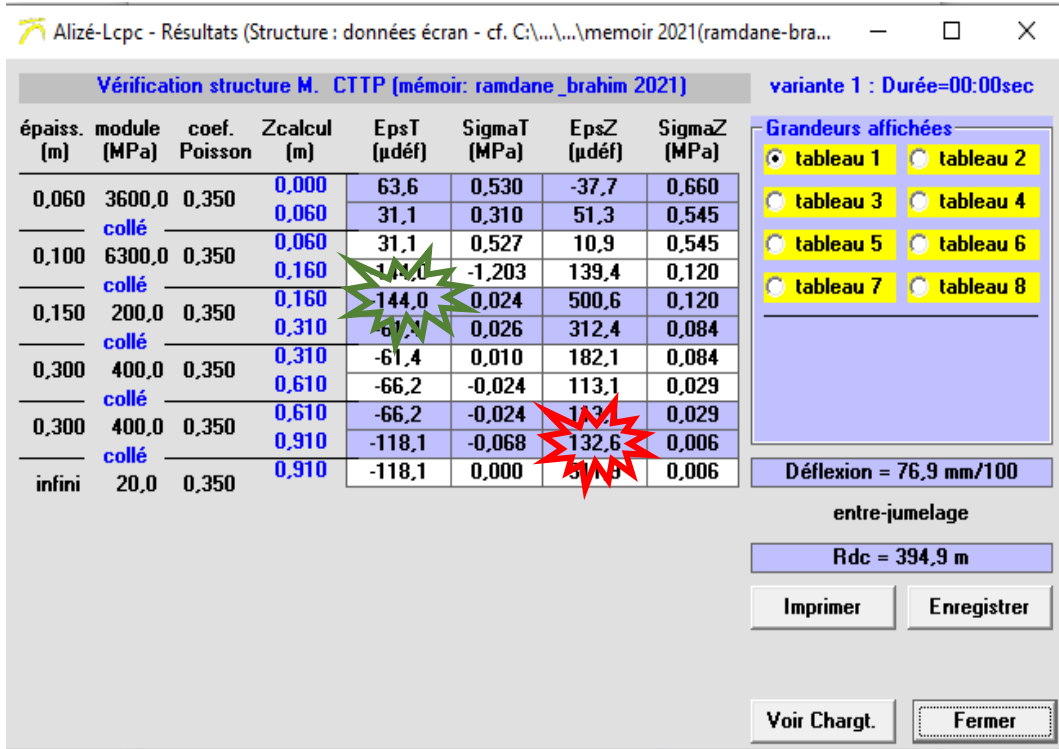


Figure IV.6: les valeurs de déformations déterminées à partir de logiciel par la méthode CTPP.

Légende :

: Déformation calculée du sol support : ϵ_z

: Déformation calculée entre les couche GB et GNT : ϵ_t

Les résultats des déformations admissibles et calculés sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.15: Les résultats des déformations admissibles (CCTP) et calculées.

	ϵ_t	ϵ_z
Valeurs calculées	144×10^{-6}	132.6×10^{-6}
Valeurs admissibles	157.37×10^{-6}	716.9×10^{-6}

Donc :

$$\epsilon_{t, adm} = 157.37 \times 10^{-6} > \epsilon_t = 144 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_{z, adm} = 716.9 \times 10^{-6} > \epsilon_z = 132.6 \times 10^{-6}$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Les conditions vérifiées

IV.2.3.3.3 Vérification des résultats de Méthode CBR

Dans cette méthode on va suivre les mêmes étapes de calcul que la méthode CTPP. Les données à insérer dans le logiciel

Les étapes de calcul sont les suivantes :

➤ Etape 1 :

Faire rentrer les différentes épaisseurs de la structure ainsi que les modules et les coefficients de poissons de chaque couche et les conditions d'interfaces.

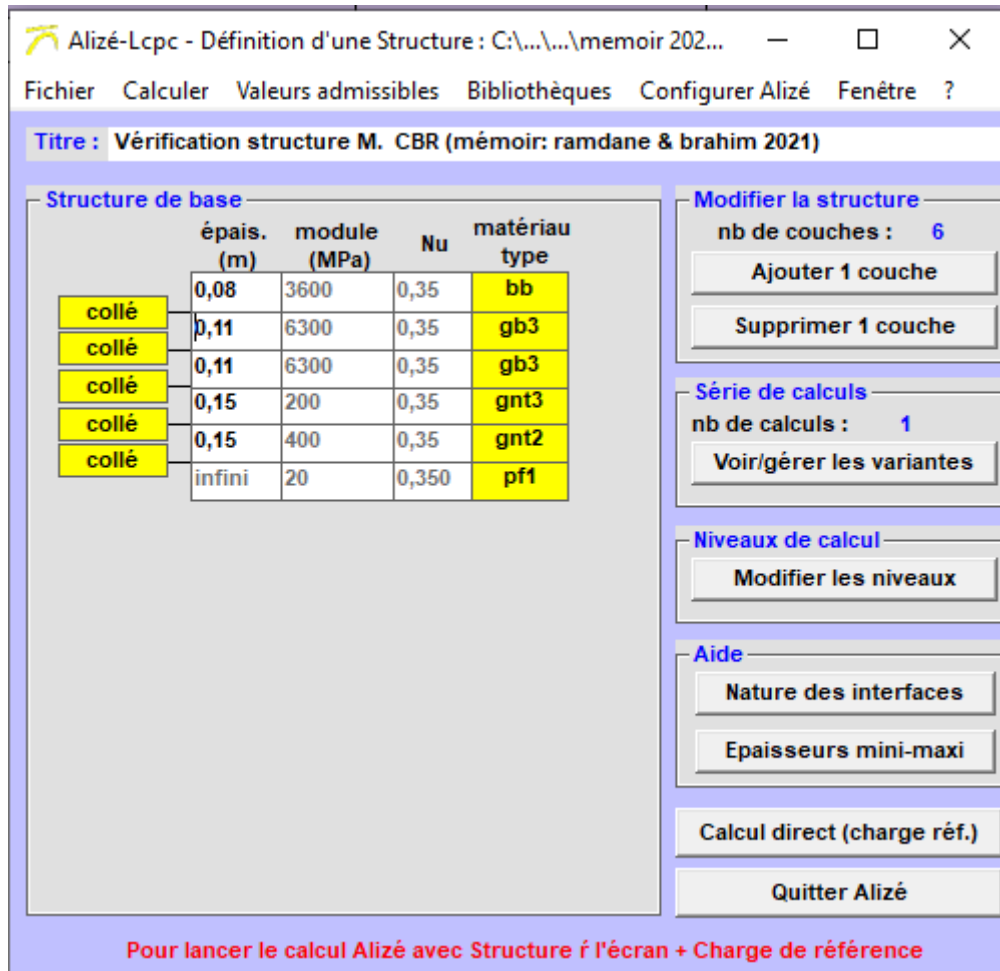


Figure IV.7: épaisseurs des couches de la structure de chaussée (méthode CBR).

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

➤ Etape 2 :

On va calculer les différentes valeurs des déformations à la base de la couche de base et au niveau du sol support.

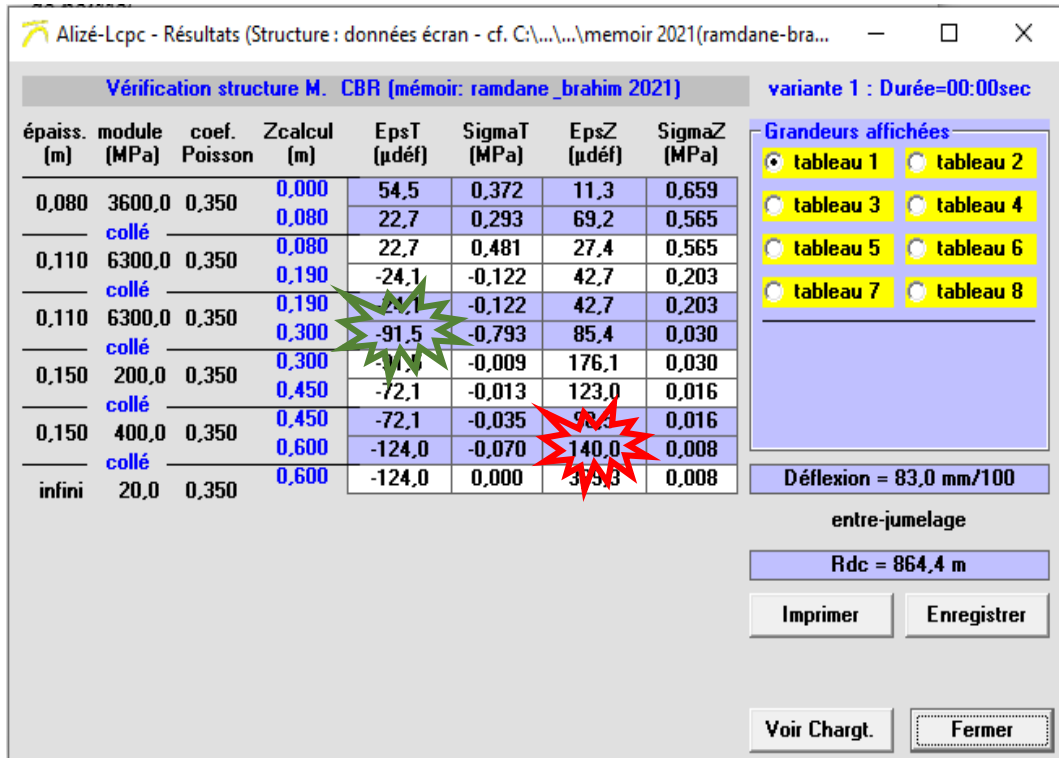


Figure IV.8 : les valeurs de déformations déterminées à partir de logiciel par la méthode CBR

Légende :

: Déformation calculée du sol support : ϵ_z

: Déformation calculée entre les couche GB et GNT : ϵ_t

Les résultats des déformations admissibles et calculés sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.16: Les résultats des déformations admissibles(CBR) et calculées.

	ε_t	ε_z
Valeurs calculées	91.5×10^{-6}	140×10^{-6}
Valeurs admissibles	157.37×10^{-6}	716.9×10^{-6}

Donc :

$$\varepsilon_{t, adm} = 157.37 \times 10^{-6} > \varepsilon_t = 91.5 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{z, adm} = 716.9 \times 10^{-6} > \varepsilon_z = 140 \times 10^{-6}$$

Les conditions vérifiées

IV.2.4 Conclusion :

D'après le tableau ci-dessous, on remarque bien que la méthode, dite du catalogue Algérien, nous donne un corps de chaussée avec une épaisseur de structure importante et uniforme pour l'ensemble du tracé, alors que la méthode, dite CBR, nous propose une structure de chaussée avec des épaisseurs nettement moins importantes et différentes selon l'indice portant du sol support.

Tableau IV.17: Les résultats des deux méthodes

Indice C.B.R	Méthode	
	C.B.R	Catalogue CTTP
1.73	8BB+22GB+30GNT	6BB+10GB+15GNT+60GNT

Donc, la structure retenue est celle déterminée par la méthode du catalogue algérien :

6BB+10GB+15GNT+60GNT

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

IV.3 CALCUL DES FONDATIONS DE L'OUVRAGE D'ART

L'ouvrage projeté est un pont, franchir l'Autoroute Est Ouest, au niveau du Pk 529+306 dans la commune de Djebahia, de la wilaya de Bouira.

Le pont est constitué de deux travées indépendantes de 24.7m.

Ce pont repose sur deux culées et une pile en béton armé, la fondation de la pile support les deux côtés des travées.

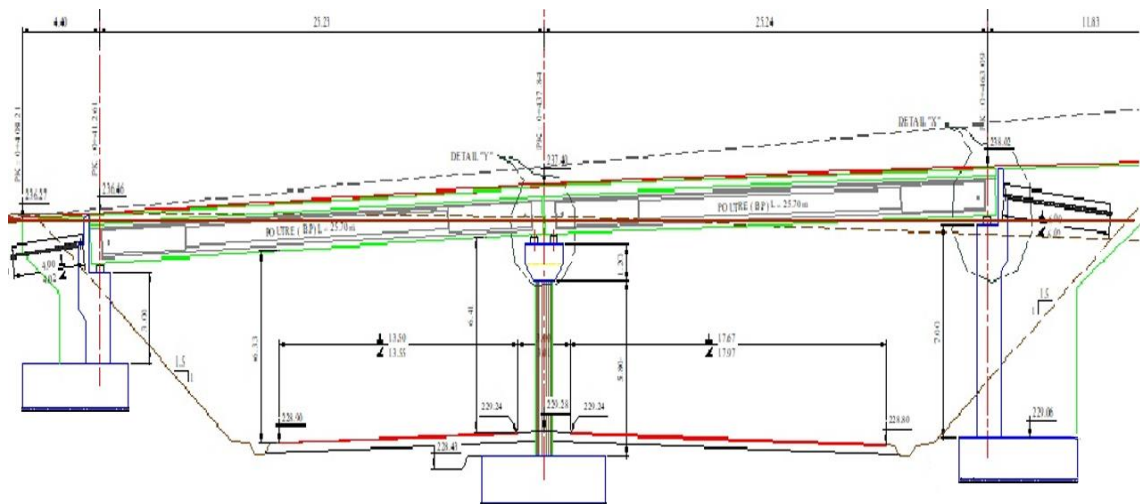


Figure IV.9: coupe longitudinale de pont

Le terrain est formé pratiquement d'une seule couche d'argile infinie, la nappe phréatique a été détectée à 8 mètre par rapport au terrain naturel, Les caractéristiques physiques de chaque couche sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.18: valeurs des caractéristiques physiques des différentes couches.

Couches (m)	Le poids volumique sec γ_d (KN/m ³)	Le poids volumique saturé γ_{sat} (KN/m ³)
0-4	16.5	20.2
4-8	17.5	20.9
8-17	17	20.5
17-30	18	21.2

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

IV.3.1 calcul de la capacité portante des fondations par la méthode pressiométrique :

Pour choisir le type de fondation adéquat, il est nécessaire de passer par l'étape de calcul de la capacité portante du sol, cette dernière peut être déterminée par plusieurs méthodes. Dans ce qui suit on va utiliser la méthode pressiométrique.

Avant de passer aux étapes de calcul de la capacité portante des fondations par la méthode pressiométrique, nous avons déterminé la combinaison de charge à l'état limite ultime et à l'état limite de service.

La combinaison de charges aux deux états limites cités précédemment est la suivante :

- Etat limite ultime ELU :

$$Q_{\text{fondamental}} = 1.35G + 1.35G_{\text{sp}} + \max(1.35G_{\text{sf}}, 1.5Q_1 + \sum Q_i) = 4250 \text{ KN}$$

$$Q_{\text{accidentelle}} = G + E + G_{\text{sp}} + G_{\text{sf}} = 5380 \text{ KN}$$

- Etat limite de service ELS :

$$Q_{\text{permanente}} = G + G_{\text{sp}} + \max(G_{\text{sf}}, \Psi_1 Q_1) = 6765 \text{ KN}$$

$$Q_{\text{rare}} = G + G_{\text{sp}} + \max(G_{\text{sf}}, Q_1 + 0.77 \sum Q_i) = 7564 \text{ KN.}$$

IV.3.1.1 Etapes de calcul de la méthode PMT :

❖ Fondation superficielle de type semelle filante

Dans notre cas d'étude on a une semelle filante rectangulaire de dimensions :

$$B = 4 \text{ m} ; L = 10 \text{ m} ; D = 3 \text{ m.}$$

Les étapes de calcul pour une fondation superficielle sont :

La zone utile :

$$z_u = \left[D ; D + \frac{3B}{2} \right] \quad (\text{IV. 17})$$

Avec :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

D : la fiche ;

B : la largeur.

Donc la zone utile est de :

$$z_u = \left[3; 3 + \frac{3 \times 4}{2} \right]$$

$$z_u = [3; 9] \text{ m}$$

Calcul de la capacité portante :

La capacité portante sous une fondation superficielle soumise à une charge verticale centrée est donnée par la formule suivante :

$$q_l = k_p \times p_{le}^* + q_0 \quad (\text{IV. 18})$$

$$p_l^* = p_l - p_0 \quad (\text{IV. 19})$$

Avec :

p_{le}^* : Pression limite équivalente nette = valeur moyenne de p_l^* dans la zone utile.

p_l^* : Pression limite nette.

p_0 : Pression horizontale des terres = $k_0 \times \gamma \times z$

k_0 : Coefficient de pression des terres « au repos » égale 1 pour sol cohérent et 0.5 pour sol pulvérulents.

k_p : Coefficient de portance pressiométrique il dépend des dimensions de la fondation et la nature de sol juste sous la base de fondation donnée par :

$$k_p = k_p^1 \frac{B}{L} + k_p^0 \left(1 - \frac{B}{L} \right) \quad (\text{IV. 20})$$

Avec :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

B : largeur de la fondation ;

L : longueur de la fondation ;

k_p^1 et k_p^0 : correspondent respectivement à une semelle carrée et continue, sont donnés par des abaques.

q_0 : est la contrainte verticale initiale à la base de fondation.

Les résultats des pressions limites p_1 , pressions horizontales des terres p_0 , et des pressions limites nettes p_1^* sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.19: résultats des pressions limites, pressions des terres, et pressions limites nettes.

Z(m)	p_1 (kpa)	p_0 (kpa)	p_1^* (kpa)
2	190	33	157
3	205	49.5	155.5
4	220	66	154
6	315	101	214
8	340	136	204
9	365	156	209
10	390	177	273
12	425	218	207

N.B : A une profondeur donnée de la zone utile, si $p_1^* > 1.5 (p_1^*)_{\min}$, p_1^* est plafonnée et remplacée par $1.5 (p_1^*)_{\min}$ dans le calcul de p_{1e}^* .

Application numérique sur le projet :

$$p_{1e}^* = \frac{155.5 + 154 + 214 + 204 + 209}{5}$$

$$p_{1e}^* = 187.3 \text{ kpa}$$

Aussi :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

$$q_0 = \gamma_d \times D \tag{IV.21}$$

$$q_0 = 16.5 \times 4 + 17.5 \times 4 + 20.5 \times 1$$

$$q_0 = 156.5 \text{ kpa}$$

Donc :

$$k_p = 1 \times \frac{4}{10} + 0.91 \times \left(1 - \frac{4}{10}\right)$$

$$k_p = 0.946$$

k_p^1 et k_p^0 : sont des facteurs de portance déterminés à partir des abaques (Figure IV.10)

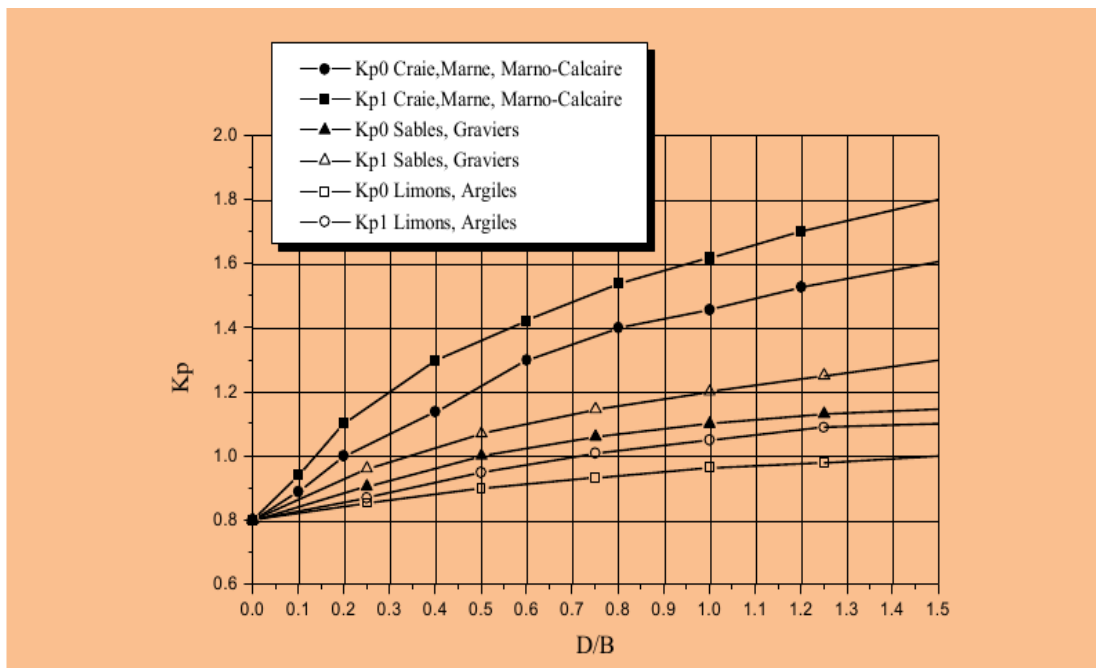


Figure IV.10: Facteur de portance pressiométrique selon le DTU

$$q_1 = 0.946 \times 187.3 + 156.5$$

$$q_1 = 333.7 \text{ kpa}$$

Vérification aux états limite :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

L'état limite est vérifié comme suit :

$$q_{cal} = \frac{q_l}{f_s} \quad (IV.22)$$

Avec :

f_s : coefficient de sécurité égale à 2

$$q_{cal} = \frac{333.7}{2}$$

$$q_{cal} = 166.85 \text{ kpa}$$

D'autre part :

$$q_{ser} = \frac{q}{B \times L} + \gamma_b \times D \quad (IV.23)$$

$$q_{ser} = \frac{7564}{4 \times 10} + 25 \times 3$$

$$q_{ser} = 264.1 \text{ kpa}$$

D'après les résultats obtenus on a :

$$q_{ser} > q_{cal}$$

Alors la capacité portante de cette semelle est non vérifiée on va donc opter pour une fondation profonde (pieu).

❖ Fondations profondes sur pieux :

La charge verticale limite Q_l (ou capacité portante verticale) d'un pieu résulte de la mobilisation d'une pression verticale limite q_l en pointe, et des contraintes de frottement latéral limite $q_s(z)$ le long du fut du pieu.

La charge limite d'un pieu formalisé par la formule suivante :

$$Q_l = Q_p + Q_s \quad (IV.23)$$

Avec :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Q_l : Charge limite.

Q_p : Pression vertical de pointe.

Q_s : Terme de frottement latéral.

Notion de charge verticale critique :

L'interprétation d'un essai de chargement vertical du pieu permet d'obtenir expérimentalement la charge critique Q_c . En cas d'indisponibilité d'essai, elle peut être estimée par les formules empiriques suivantes recommandée par le LCPC.

$$\text{Pieux ne refoulant pas le sol : } Q_c = 0.5Q_p + 0.7Q_s \quad (\text{IV.24})$$

$$\text{Pieux refoulant le sol : } Q_c = 0.7Q_p + 0.7Q_s = 0.7Q_l \quad (\text{IV.25})$$

Calcul de Q_l à partir de l'essai pressiométrique (PMT) :

➤ Etape 1 :

La pression pressiométrique limite équivalente nette P_{le}^* , est une moyenne analytique des valeurs de pression limite nette mesurées dans une zone utile au voisinage de la pointe, épaisse de $3a$ en dessous de la pointe et de (b) au-dessus.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

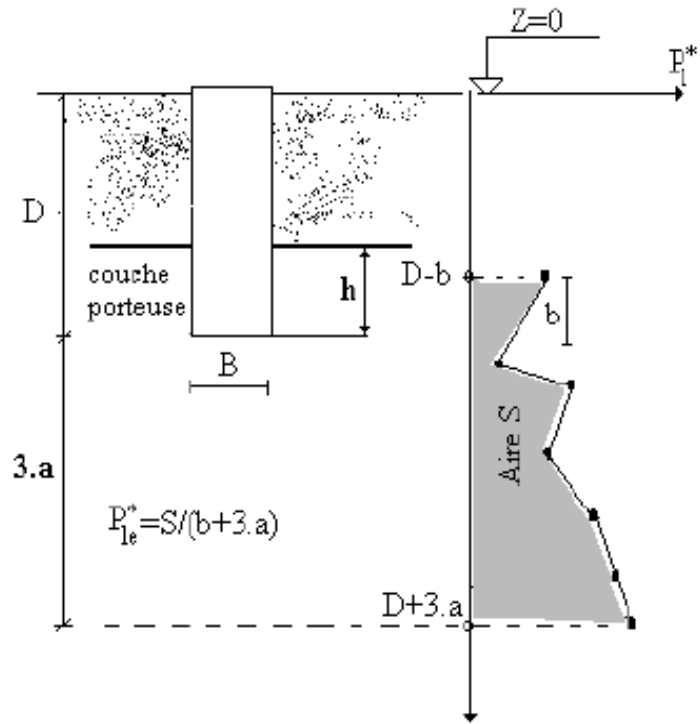


Figure IV.11: Schéma de calcul de la pression limite nette équivalente.

La formule utilisé est donné par :

$$p_{le}^* = \frac{1}{b + 3a} \int_{D-b}^{D+3a} p_i^*(z) \cdot dz \quad (IV.26)$$

Avec :

$$a = \max (B/2 ; 0.5m)$$

$$b = \min (a ; h)$$

h : ancrage dans la couche porteuse.

$p_i^*(z)$: est obtenue en joignant par des segments de droite sur une échelle linéaire les différents p_i^* mesuré.

Dans notre cas d'étude on dispose d'un pieu caractérisé par les dimensions suivantes:

$$D= 10 \text{ m} ; b= 1.2m$$

$$\text{La zone utile : } Z_u [D-b ; D+3a] \quad (IV.27)$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

$$a = \max\left(\frac{b}{2}; 0.5\right) \quad \longrightarrow \quad a = \max\left(\frac{1.2}{2}, 0.5\right) \quad \longrightarrow \quad a = 0.6$$

$$b = \min(a, h) \quad \longrightarrow \quad b = \min(0.6, 0) \quad \longrightarrow \quad b = 0$$

Alors : $Z_u [10, 11.8]$

Les résultats des pressions limites p_1 , pressions horizontales des terres p_0 , et des pressions limites nettes p_1^* sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.20: résultats des pressions limites, pressions des terres, et pressions limites nettes.

Z(m)	p_1 (kpa)	p_0 (kpa)	p_1^* (kpa)
10	390	177	273
11	425	197.5	227.5
11.8	445	213.9	231.1

$$p_{1e}^* = \frac{1}{0.6 \times 3} \left[\frac{273 + 227.5}{2} \times 1 + \frac{227.5 + 231.1}{2} \times 0.8 \right]$$

$$p_{1e}^* = 240.94 \text{ kpa}$$

➤ Etape 2 :

La résistance en pointe est donnée par la formule suivante :

$$q_l = k_p \times p_{1e}^* \tag{IV.28}$$

Avec :

p_{1e}^* : pression limite nette équivalente

k_p : facteur de portance pressiométrique dépend de la nature du sol et du mode d'installation

du sol (type de pieu).

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Le sol est classé comme étant une argile, d'après les tableaux de classification (voir Tableau IV.21 et Tableau IV.22).

On retient que le sol appartient à une argile mous (classe A).

Alors le facteur de portance pressiométrique $K_p = 1.10$ (pieu ne refoule pas le sol).

Tableau IV.21: Catégories conventionnelles des sols.

Classe de sol		Type de sol	PMT Marges de p_1 (MPa)
Argile, Limons	A	Argiles et limons mous	< 0,7
	B	Argiles et limons fermes	1,2 à 2,0
	C	Argiles très fermes à dures	> 2,5
Sables, graves	A	Lâches	< 0,5
	B	Moyennement compacts	1,0 à 2,0
	C	Compacts	> 2,5
Craies	A	Molles	< 0,7
	B	Altérée	1,0 à 2,5
	C	Compacte	> 3,0
Marnes, Marno calcaires	A	Tendres	1,5 à 4,0
	B	Compacte	> 4,5

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.22: Valeurs du facteur de portance pressiométrique

Nature du sol		Pieu ne refoult pas le sol (forage,.....)	Pieu refoulant le sol (battage, fonçage,.....)
Argile/Limon	A	1.10	1.4
	B	1.20	1.50
	C	1.30	1.60
Sable /Grave	A	1.00	4.20
	B	1.10	3.70
	C	1.20	3.20
Craies	A	1.10	1.60
	B	1.40	2.20
	C	1.80	2.60
Marne, Marno-Calcaires		1.80	2.60
Roche altérées		1.10-1.80	1.80-3.20

Donc :

$$q_l = 1.1 \times 240.94$$

$$q_l = 265.034 \text{ kpa}$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

➤ Etape 3 :

Détermination de l'effort limite Q_p en pointe dont l'aire de sa section est A , tel que :

$$Q_p = A q_l \quad (\text{IV. 29})$$

Avec :

A : la section du pieu

Puisque on a un pieu de section circulaire donc le calcul se fait comme suit :

$$A = \frac{\pi \times b^2}{4} \quad (\text{IV. 25})$$

$$A = \frac{\pi \times 1.2^2}{4}$$

$$A = 1.1309 \text{ m}^2$$

Donc :

$$Q_p = 1.1309 \times 265.034$$

$$Q_p = 299.73 \text{ kpa}$$

➤ Etape 4 :

Calcul de l'effort limite Q_s de frottement latéral limite par :

$$Q_s = P \int_0^D q_s(z) dz \quad (\text{IV. 31})$$

Avec :

P : périmètre du pieu.

q_s : la contrainte de frottement latéral limite. Elle dépend de la pression limite nette, et aussi de la nature du sol entourant le pieu, et du mode d'installation du pieu.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Puisque le sol est de classe A, et le forage du pieu est simple, d'après le Tableau IV.23, on choisit la courbe Q1(n=1)

Tableau IV.23: Courbes de frottement latéral limite.

Type de pieu	Argile-limon			Sables-graves			craies			marnes		roches
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
Foré simple	Q1	Q1, Q2 (1)	Q2, Q3 (1)				Q1	Q3	Q4, Q6 (1)	Q3	Q4, Q5 (1)	Q6
Foré boue	Q1	Q1, Q2 (1)		Q1	Q2, Q1 (2)	Q3, Q2 (2)	Q1	Q3	Q4, Q5 (1)	Q3	Q4, Q5 (1)	Q6
Foré tubé (tube récupéré)	Q1	Q1, Q2 (3)			Q2, Q1 (2)	Q3, Q2 (2)	Q1	Q2	Q3, Q4 (3)	Q3	Q4	
Foré tubé (tube perdu)	Q1			Q1	Q2	(4)			Q2	Q3		
Puits (5)	Q1	Q2	Q3				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Métal battu fermé	Q1	Q2		Q2	Q3	(4)			Q3	Q4	Q4	
Battu préfabriqué Béton	Q1	Q2		Q3			(4)			Q3	Q4	Q4
Battu moulé	Q1	Q2		Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q3	Q4		
Battu enrobé	Q1	Q2		Q3	Q4	(4)			Q3	Q4		
Injecté basse Pression	Q1	Q2		Q3			Q2	Q3	Q4	Q5		

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Injecte haute Pression (6)		Q4	Q5	Q5	Q6		Q5	Q6	Q6	Q7 (7)
----------------------------	--	----	----	----	----	--	----	----	----	--------

- (1) Réalésage et rainurage en fin de forage
- (2) Pieux de grande longueur (supérieure à 30 m)
- (3) Forage à sec, tube non louvoyé
- (4) Dans le cas des craies, le frottement latéral peut être très faible pour certains type de pieux, Il convient d'effectuer une étude spécifique
- (5) Sans tubage, ni virole foncés perdues (paroi rugueuse)
- (6) Injection sélective et répétitive à faible débit
- (7) Injection sélective et répétitive à faible débit et traitement préalable des massifs fissurés ou fracturés avec obturation des cavités

La détermination de q_s se fait à partir de la formule suivante : [17]

- $q_s(z) = 0.04n \frac{p_l^*(z)}{(1+0.5n)} \left(2 - \frac{p_l^*(z)}{(1+0.5n)}\right)$ si $p_l^*(z) \leq 1 + 0.5n$ (IV.32)

- $q_s(z) = 0.04n$ si $p_l^*(z) \geq 1 + 0.5n$ (IV.33)

Tableau IV.24: Résultats de calcul de q_s

Z(m)	p_l^* (Mpa)	q_s (kpa)
0	0	0
2	0.380	17.69
4	0.460	20.77
6	0.410	18.88
8	0.390	18.10
10	0.405	18.68

$$Q_s = 2\pi \times 1.2 \times \left(\frac{0 + 18.68}{2} + 17.69 + 20.77 + 18.88 + 18.10 \right) \times 2$$

$$Q_s = 1277.88 \text{ kpa}$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

➤ Etape 5 :

Le calcul de la fiche équivalente du pieu, soit D_e , telle que : [13]

$$D_e = \frac{1}{p_{ie}^*} \int_0^D p_i^*(z) dz \quad (\text{IV. 34})$$

$$D_e = \frac{1}{240.94} \left(\frac{0 + 405}{2} + 460 + 410 + 390 + 405 \right) \times 2$$

$$D_e = 15.50 \text{ m}$$

➤ Etape 6 :

Calcul D_e/B et vérifier que la méthode est applicable. En fonction de la fiche équivalente, la fondation est classée, selon le règlement, comme étant :

- Fondation profonde pour $D_e/B > 5$,
- Fondation semi-profonde pour $1.5 < D_e/B < 5$,
- Fondation superficielle pour $D_e/B < 5$.

On a : $D_e = 15.50 \text{ m}$; $B=1.2 \text{ m}$

$D_e/B = 15.50/1.2$; $D_e/B = 12.92 \text{ m} > 5$ ➡ **Fondation profonde**

Calcul de Q_c et Q_l :

$$Q_l = Q_p + Q_s \quad (\text{IV. 35})$$

$$Q_l = 299.73 + 1277.88$$

Donc : $Q_l = 1577.61 \text{ kpa}$

$$Q_c = 0.5Q_p + 0.7 Q_s$$

$$Q_c = 0.5 \times 299.73 + 0.7 \times 1277.88$$

Alors : $Q_c = 1044.38 \text{ kpa}$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

IV.3.1.2 Calcul de nombre des pieux :

Le calcul de nombre de pieux se fait par les formules suivantes : [13]

$$N_{\text{fond}} = \frac{1.4 \times Q_{\text{pr}}}{Q_1} = \frac{1.4 \times 6765}{1577.61} = 5.98$$

$$N_{\text{acc}} = \frac{1.2 \times Q_{\text{acc}}}{Q_1} = \frac{1.2 \times 5380}{1577.61} = 4.09$$

$$N_{\text{rar}} = \frac{1.1 \times Q_{\text{acc}}}{Q_c} = \frac{1.1 \times 5380}{1044.38} = 5.66$$

$$N_{\text{Qp}} = \frac{1.4 \times Q_{\text{Qp}}}{Q_c} = \frac{1.4 \times 4250}{1044.38} = 5.69$$

Donc le nombre de pieux est : **6 pieux**

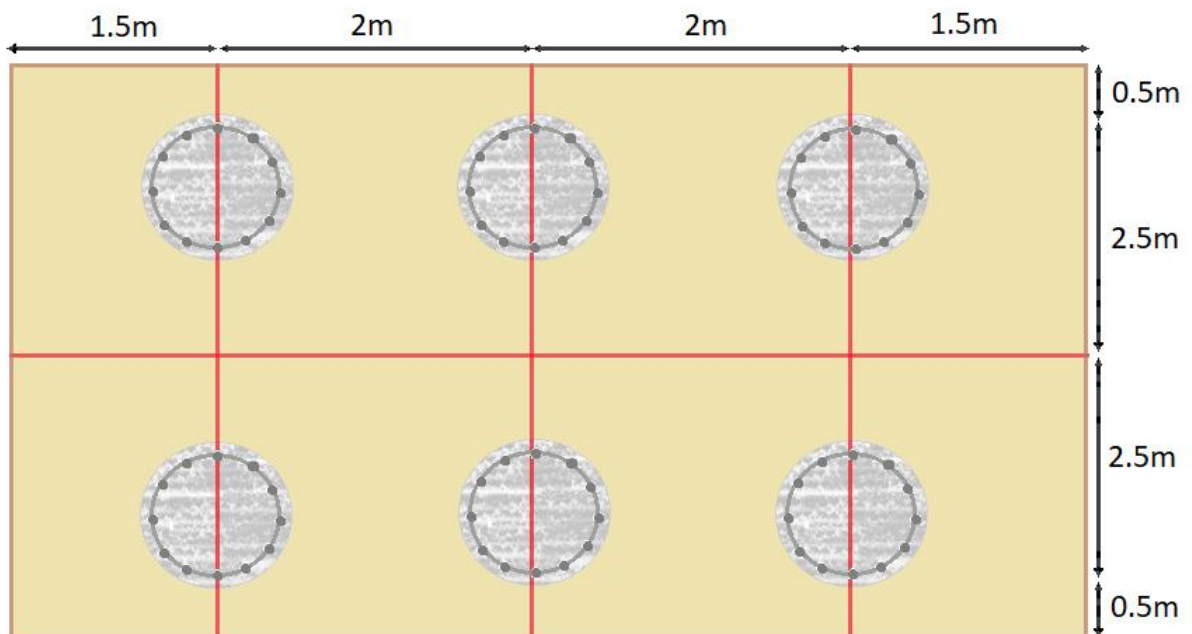


Figure IV.12: Disposition possible des pieux.

IV.3.1.3 Tassement d'un pieu isolé :

Le tassement à court terme des pieux est prépondérant, que celui dû à la consolidation étant négligeable et localisé seulement à la base du pieu. Il se traduit par la mobilisation des contraintes de cisaillement le long du pieu reprise instantanément par le sol d'une part, et d'autre part par des contraintes normale à la base, causant une consolidation locale.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

On va calculer donc le tassement en tête du pieu par la méthode de la théorie d'élasticité en utilisant la formule ci-après : [13]

$$v_0 = \frac{Q I_v}{E(D).B} \quad (\text{IV.36})$$

Le facteur de tassement L_v est calculé par :

$$I_v = 4(1 + \nu) \frac{1 + \frac{8 D \operatorname{tng} h (\mu D)}{\pi \varepsilon \lambda (1 - \nu) B \mu D}}{\frac{4}{(1 - \nu) \varepsilon} + \frac{4 \pi \beta D \operatorname{tng} h \mu D}{\alpha B \mu D}} \quad (\text{IV.37})$$

On prend :

$\varepsilon = 1$ (sol infini).

$B = 1.2$ m.

$\nu = 0.5$ (sol cohérent).

$D = 10$ m.

$E_p = 30000$ MPa (module de Young du pieu en béton armé)

Pour la détermination du module de Young du sol E , il existe des corrélations empiriques entre le module E et le module pressiométrique E_m :

$E = 4 E_m < 60$ MPa pour les pieux travaillant en pointe.

$E = 5 E_m < 50$ MPa pour les pieux flottants.

Donc on va utiliser les résultats du module E_m , de l'essai pressiométrique.

Le tableau suivant regroupe les résultats du module pressiométrique et leurs corrélations.

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

Tableau IV.25: résultats de la corrélation des modules pressiométrique.

Z(m)	Em (Mpa)	E = 4 Em (Mpa)
2	2.771	11.084
4	2.543	10.172
6	3.262	13.048
8	2.858	11.432
10	2.933	11.73

Puisque le pieu est ancré dans un sol multicouche, il est recommandé de calculer un module équivalent E_{eq} égale à la moyenne analytique des valeurs de E le long du pieu :

$$E_{eq} = \frac{1}{D} \int_0^D E(z) dz \quad (IV. 38)$$

$$E_{eq} = \frac{1}{10} (10.172 + 13.048 + 11.432 + 11.73) \times 2$$

$$E_{eq} = 9.28 \text{ Mpa}$$

D'autre part :

$$\beta = \frac{E(D/2)}{E(D)} \quad (IV. 39)$$

$$\beta = \frac{11.61}{11.73}$$

$$\beta = 0.99$$

$$\lambda = 2(1 - \nu) \frac{E_p}{E(D)} \quad (IV. 40)$$

$$\lambda = 2(1 - 0.5) \frac{30000}{11.73}$$

$$\lambda = 2557.54$$

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

$$\alpha = \text{Ln}\left[2 \frac{D}{B} [0.25 + (2.5\beta(1 - \nu) - 0.25)\varepsilon]\right] \quad (\text{IV.41})$$

$$\alpha = \text{Ln}\left[2 \frac{10}{1.2} [0.25 + (2.5 \times 0.99(1 - 0.5) - 0.25)1]\right]$$

$$\alpha = 3.02$$

$$\mu D = \frac{2\sqrt{2} \frac{D}{B}}{\sqrt{\alpha \lambda}} \quad (\text{IV.42})$$

$$\mu D = \frac{2\sqrt{2} \times \frac{10}{1.2}}{\sqrt{3.02 \times 2557.54}}$$

$$\mu D = 0.268$$

Alors :

$$I_v = 4(1 + 0.5) \frac{1 + \frac{8 \times 10 \tanh(0.268)}{\pi \times 1 \times 2557.54 (1 - 0.5) 10 \times 0.268}}{\frac{4}{(1 - 0.5)1} + \frac{4\pi \times 0.99 \times 10 \tanh 0.268}{3.02 \times 1.2 \times 0.268}}$$

$$I_v = 0.0697$$

Détermination de la force verticale à la tête du pieu :

$$Q = \frac{Q^{\text{tot}}}{N} \quad (\text{IV.43})$$

Avec :

Q^{tot} : la charge totale de l'ouvrage :

N: le nombre des pieux.

$$Q = \frac{7564}{6} = 1260.67 \text{ kN}$$

Donc le tassement v_0 est égale à :

Chapitre IV : Dimensionnement de la chaussée et calcul des fondations de l'ouvrage d'art

$$v_0 = \frac{1260.67 \times 0.0697}{11730 \times 1.2}$$

$$v_0 = 6.24 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$v_0 = 6.24 \text{ mm}$$

Pour un tassement de référence égale à 50 mm (la correction de skmpten).

On conclure que $V_o < V_{\text{réf}}$.

$v_0 = 6.24 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$  Donc le tassement est admissible.

IV.3.1.4 Conclusion

En général les tassements calculés avec la méthode d'élasticité, à travers les sondages pressiométriques avec les charges les plus défavorables sont à l'ordre de quelques (mm) alors que tassement total de référence est de (50 mm), donc le problème de tassement ne manifeste pas sur l'ouvrage.

Le calcul de la capacité portante des fondations du pont par la méthode pressiométrique, nous a conduits à opter pour des fondations profondes type pieux avec une fiche de 10m et un diamètre de 1.2m. et un nombre est de l'ordre de 6 pieux

Conclusion générale

Le dimensionnement de la chaussée en utilisant les méthodes (CTTP et CBR) a permis de faire ressortir un corps de chaussée présentant la structure suivante pour chacune des méthodes utilisées :

Pour la méthode CTTP, une couche de roulement en (BB) de 6cm, Couche de base en (GB) de 10 cm et 15 cm de GNT surmontant une couche de forme en (GNT) de 60cm (en 2 couches).

Pour la méthode CBR , une couche de roulement en (BB) de 8cm, une couche de base en (GB) de 22cm (en 2 couches), Couche de fondation en (GNT) de 30cm (en 2 couches).

La méthode de catalogue Algérien, nous donne un corps de chaussée avec une épaisseur de structure importante et uniforme pour l'ensemble du tracé, alors que la méthode, dite CBR, nous propose une structure de chaussée avec des épaisseurs nettement moins importantes.

Donc, la structure retenue est celle déterminée par la méthode du catalogue algérien.

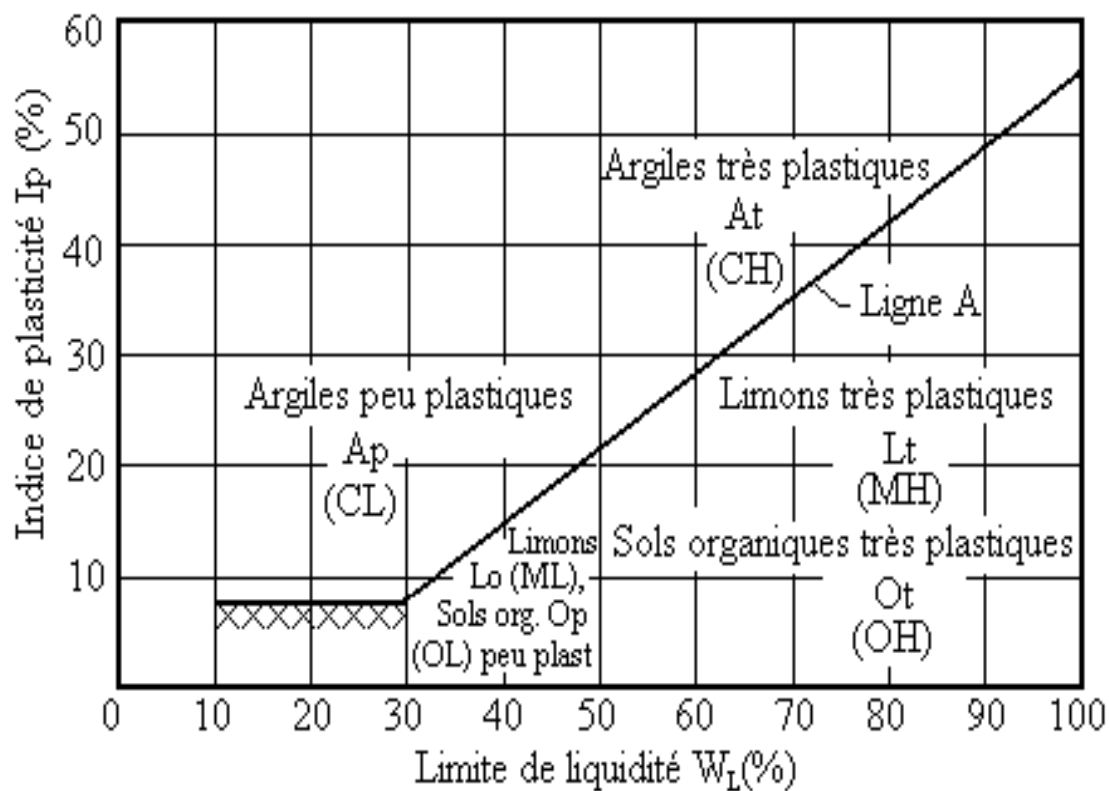
Les fondations adoptées pour le pont sont des fondations profondes de type Pieux, de diamètre 1.2 m et de profondeur 10 m.

Bibliographiée

- [1] tristan lorino/ autopsie d'une chaussée /laboratoire central des ponts et chaussées (lcpc)
- [2] : Conception Et Dimensionnement Des Structures De Chaussée guide technique (LCPC/SETRA).
- [3] boudjemil .o & smail .h etude de modernisation du cw 158 reliant le centre de ville d'amizour jusqu'à barbacha du pk 03+500 km au pk 07+500 km sur 04 km univ bejaïa 2015
- [4] tarek agal développement d'un catalogue de dimensionnement structural des chaussées pour la ville de montréal l'école de technologie supérieure montréal
- [5] catalogue de dimensionnement des chaussees neuves (fascicule2)
- [6] peyronne (octobre, 1991), cours de routes dimensionnement des chaussée, 2 éme edition presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [7] Khireddine.Z & Khasnadji.M Dimensionnement d'une structure De chaussée en utilisant les matériaux locaux .UNIVERSITE M'HAMED BOUGUERRA BOUMERDES .2015/2016
- [8] LAVIN P., Asphalt Pavements: A practical guide to design, production and maintenance for engineers and architects. CRC Press, 2003.
- [9] mebarki.g (avril, 2016) cours du module mécanique des milieux granulaires (méthode cbr), l'université de mouloud mammeri de tizi-ouzou
- [10] catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves, cttp novembre 2001, Fascicule 1 notice d'utilisation
- [11] catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves, cttp novembre 2001, Fascicule2 hypothèse et donnees de dimensionnement.
- [12] guide pour la surveillance et l'entretien courant des ouvrages d'art liés à la voirie ou son exploitation à l'usage des communes et des communautés de communes .direction départementale des territoires (la france)juin 2012
- [13] ali bouafia, conception et calcul des ouvrages géotechniques (edition pages bleues 2010).
- [14] article wikipedia .pieu(constriction)
- [15] RPA 99(version 2003) règlement parasismique algérienne.
- [16] site officiel de logiciel « ALIZE » <https://www.alize-lcpc.com/>

- [17] règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil, C.C.T.G, fascicule 62-titre V, Ministère de l'équipement , du logement et des transports (1993).
- [18] (Normes techniques d'aménagement des routes et trafic et Capacité des routes).
- [19] Société des Etudes Techniques Sétif S.E.T.S
- [20] Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics (CTTP) Quatre chemins de Kouba, BP 206 Kouba – Alger
- [21] Ali Bouafia, Conception Et Calcul Des Ouvrages Géotechniques, Edition Pages Bleues.
- [22] Ali Bouafia, Aide-Mémoire De Mécanique Des Sols, 2eme Edition
- [23] Ali Bouafia, Introduction A La Réglementation Géotechnique, Tome 1
- [24] MAHDI Hicham & ouldeneould Ahmed, Dimensionnement Des Pieux Sous Charges Axiales-Etude Comparative A Partir d'une Base De Données Locale, Université Saad Dahleb Blida.
- [25] Ali Bouafia, Les Essai In-Situ Dans Les Projet De Fondations, 3eme Edition
- [26] AHMANE.R & SAIDANI.K &BOUDISSA.A Etude d'un échangeur au niveau de l'intersection de la RN25 avec la RN68 en phase APD .Universite Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou

Annexe



Annexe 1 : Diagramme de plasticité (d'après Casagrande 1948).

Classe A

SOLS FINS

Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique						
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe			
D _{max} ≤ 50mm et tamisat à 80µm > 35 %	A	VBS ≤ 2,5 ou I _p ≤ 12	A ₁	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w _n est proche de w _{opt} . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de I _p .	IPI ≤ 3 ou w _n ≥ 1,25 w _{opt} 3 < IPI ≤ 8 ou 1,10 w _{opt} ≤ w _n < 1,25 w _{opt} 8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{opt} ≤ w _n < 1,10 w _{opt} 0,7 w _{opt} ≤ w _n < 0,9 w _{opt}	A ₁ th A ₁ h A ₁ m A ₁ s A ₁ ts			
			A ₂	Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'Ip atteint des valeurs ≥ 12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté.	IPI ≤ 2 ou I _c ≤ 0,9 ou w _n ≥ 1,3 w _{opt} 2 < IPI ≤ 5 ou 0,9 < I _c ≤ 1,05 ou 1,1 w _{opt} ≤ w _n < 1,3 w _{opt} 5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 w _{opt} ≤ w _n < 1,1 w _{opt} 1,2 < I _c ≤ 1,4 ou 0,7 w _{opt} ≤ w _n < 0,9 w _{opt} I _c > 1,4 ou w _n < 0,7 w _{opt}	A ₂ th A ₂ h A ₂ m A ₂ s A ₂ ts			
			A ₃	Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.	IPI ≤ 1 ou I _c ≤ 0,8 ou w _n ≥ 1,4 w _{opt} 1 < IPI ≤ 3 ou 0,8 < I _c ≤ 1 ou 1,2 w _{opt} ≤ w _n < 1,4 w _{opt} 3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I _c ≤ 1,15 ou 0,9 w _{opt} ≤ w _n < 1,2 w _{opt} 1,15 < I _c ≤ 1,3 ou 0,7 w _{opt} ≤ w _n < 0,9 w _{opt} I _c > 1,3 ou w _n < 0,7 w _{opt}	A ₃ th A ₃ h A ₃ m A ₃ s A ₃ ts			
			A ₄	Ces sols sont très cohérents et presque imperméables, s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retrais ou gonflements. Leur emploi en remblai ou en couche de forme n'est normalement pas envisagé mais il peut éventuellement être décidé à l'appui d'une étude spécifique s'appuyant notamment sur des essais en vraie grandeur.	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique.	A ₄ th A ₄ h A ₄ m A ₄ s			
			sols fins	I _p > 40 ou VBS > 8					

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Classe R (suite)

MATERIAUX ROCHEUX (suite) (évolutifs et non évolutifs)

Classement selon la nature		Classement selon l'état hydrique et le comportement	
Nature pétrographique de la roche	Caractères principaux	Paramètres et valeurs seuils retenus	Sous-classe
Roches argileuses	R ₃ Marnes Schistes sédimentaires Argillites Pelites	FR ≤ 7 et DG > 20	R ₃₁ Roche argileuse : peu fragmentable, très dégradabile
		FR ≤ 7 et 5 < DG ≤ 20	R ₃₂ Roche argileuse peu fragmentable, moyen dégradabile
Roches siliceuses	R ₄ Grès Poudringues Brèches	FR ≤ 7 et DG ≤ 5	R ₃₃ Roche argileuse : peu fragmentable, peu dégradabile
		FR > 7 et $\left\{ \begin{array}{l} w_n \geq 1,3 w_{OPN} \\ \text{ou } \text{IP} \leq 2 \end{array} \right.$	R ₃₄ th
		FR > 7 et $\left\{ \begin{array}{l} 1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN} \\ \text{ou } 2 \leq \text{IP} < 5 \end{array} \right.$	R ₃₄ h
		FR > 7 et 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	R ₃₄ m
		FR > 7 et 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	R ₃₄ s
Roches sédimentaires		FR > 7 et w _n < 0,7 w _{OPN}	R ₃₄ ts
Roches siliceuses	R ₅ Gypse Sel gemme Anhydrite	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	R ₄₁ Roches siliceuses dures
		LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	R ₄₂ Roches siliceuses de dureté moyenne
Roches salines		FR > 7	R ₄₃ Roches siliceuses fragmentables
Roches salines		teneur en sel $\left\{ \begin{array}{l} \leq 5 \text{ à } 10\% \text{ dans le cas du sel gemme}^* \\ \leq 30 \text{ à } 50\% \text{ dans le cas du gypse}^* \end{array} \right.$	R ₅₁ Roches salines peu solubles
		teneur en sel $\left\{ \begin{array}{l} > 5 \text{ à } 10\% \text{ dans le cas du sel gemme}^* \\ > 30 \text{ à } 50\% \text{ dans le cas du gypse}^* \end{array} \right.$	R ₅₂ Roches salines très solubles

* suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Portance	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

Annexe 4: La classe de Portance du sol (GTR).