

جمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة -البلدية-1

UNIVERSITE DE BLIDA 1



كلية التكنولوجيا

Faculté De Technologie

قسم الهندسة المدنية

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER EN GENIE CIVIL

Option : GEOTECHNIQUE

Thème :

**DIMENSIONNEMENT D'UN TRONÇON DE CORPS DE
CHAUSSEE, CALCUL DE FONDATIONS D'UN VIADUC
ET ÉTUDE DE STABILITÉ D'UN TALUS**

Réaliser par :
BOURENNANE MARWA
BENMIHOUB FERIEL NOUR EL HOUDA

Promoteur :
Pr. GRINE KHALED

2024 / 2025

ملخص

يتناول هذا العمل دراسة وتصميم جسم الطريق لمقطع طوله 6 كم من محور طوله الإجمالي 62 كم، يربط ميناء بني صاف (ولاية عين تموشنت) بالطريق السيار شرق-غرب في ولاية سيدي بلعباس. تم استخدام طرق "CTTP" و "CBR" وبرنامج Alizé III في تصميم الرصيف، بالإضافة إلى برنامج Plaxis لتحليل استقرار منحدر ترابي بارتفاع 21.6 م. يتكون المقطع النموذجي للطريق من: 6 سم خرسانة بيتومينية، 26 سم حصى بيتوميني، 15 سم حصى غير معالج، و 60 سم تربة تاف. كما شمل المشروع حساب أساسات جسر طوله 50 م، حيث تم اعتماد أساسات سطحية من نوع قواعد منفصلة (عرضها 7.8 م وطولها 15.78 م للركيزة، و 4.2 م × 15 م للعمود). أظهرت نتائج تحليل استقرار المنحدر باستخدام Plaxis معامل أمان أكبر من 1.5، مما يدل على استقراره في ظل الشروط المدروسة.

الكلمات المفتاحية: جسر، هيكل، طريق، منحدر.

Résumé

Le travail présenté, concerne le dimensionnement d'un corps de chaussée sur d'un tronçon routier long de 6 km sur une linéarité totale de 62 km, de l'axe routier, reliant le port industriel de Beni Saf (Wilaya d'Ain-Temouchent), à l'autoroute Est-Ouest de la Wilaya de Sidi Bel Abbès le calcul des fondations d'un ouvrage d'art (viaduc) de 50 mètres de longueur et l'analyse de la stabilité d'un talus en déblai de 21,6 m d'hauteur, utilisant l'outil numérique « Plaxis ». Le dimensionnement de la chaussée, après optimisation, a abouti à une structure composée de : 6 cm de béton bitumineux (BB) + 26 cm de grave bitume (GB) + 15 cm de grave non traitée (GNT) + 60 cm de tuf. Les fondations adoptées pour le pont sont des fondations superficielles de type semelles filantes, dont les dimensions sont pour la culée une fondation (7,8 m × 15,78 m), tandis que pour la pile, une semelle de (4,2 m × 15 m). L'analyse de la stabilité du talus en déblai, effectuée avec le logiciel Plaxis, a donné un coefficient de sécurité supérieur à 1,5 Ce qui indique que le talus est globalement stable dans les conditions analysées.

Mots clés : chaussées, dimensionnement, stabilité des talus, fondations, viaduc.

Abstract

The project deals with the design of a road pavement portion, 6km long over a total linearity of 60km of the main axis road, linking, Beni Saf industrial harbour (Ain-Temouchent), to the Est-West highway (Bel Abbès), using CTPP, CBR methods and Alize III. A slope stability analysis using a numerical package "Plaxis" and a foundation design of a bridge, 50m long, based upon data analysis and interpretation of the in-situ and laboratory tests of the ground obtained from the geotechnical investigation campaign. The design of the road pavement after optimization resulted in a structure pavement of 6 cm BB + 26 cm GB + 15 cm GNT + 60 cm TUF. The foundations adopted for the bride are shallow foundations. The slope stability analysis, using the numerical package "Plaxis" gave a safety factor value greater than 1.5, a value revealing that the slope is stable.

Key Words : Pavement, Design, Foundation, Slop Stability, Bridge.

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH qui nous a donné la force d'achever cette étude.

En second lieu, Nous tenons exprimer nos profonds remerciements à notre encadreur : le Professeur GRINE KJALED, pour son aide, sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils au long de la préparation de ce travail. Nous remercions l'ensemble des membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail.

Ainsi que, Nous voudrions remercier l'ensemble de nos professeurs de département génie civil, spécialité géotechnique à qui nous devons le bénéfice de leurs enseignements et la somme de nos connaissances acquises durant tout notre cursus universitaire.

Enfin, nous remercions aussi toutes l'équipe de CTTP qui nous aidés à la réalisation de ce travail.

Dédicace :

Je dédie ce mémoire à :

- Mes chers parents, Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien sans faille et vos encouragements à chaque étape de mon parcours. Votre confiance et vos sacrifices ont été ma plus grande force. Ce travail, je vous le dédie avec toute ma gratitude.

- Mes trois frères Abdel nour, Abdel basset et Abdel barí ma sœur Soundous, Merci pour votre soutien, vos encouragements et votre présence rassurante. Votre confiance en moi m'a toujours donné la force d'avancer. Ce travail est aussi le fruit de votre bienveillance et de votre inspiration.

- À ma chère binôme et amie feriel, Merci pour ta présence constante, ta patience, ton énergie, et tout ce que tu as contribué tout au long de cette aventure. Ce travail est aussi le reflet de ton engagement et de ta précieuse implication.

-à Mes amis Zineb, Meriem et Hedayat pour leur amitié et leur soutien.

Merci à tous pour votre présence et votre soutien dans ce parcours.

MARWA

Dédicace :

C'est avec beaucoup d'émotion et une profonde reconnaissance que je dédie ce modeste travail, accompli avec l'aide de Dieu, le Tout-Puissant.

*À mes chers parents,
Merci pour votre amour inconditionnel, votre patience,
vos sacrifices silencieux et prières.*

Votre soutien constant m'a portée, guidée, et donné la force d'aller jusqu'au bout. Je prie Dieu de vous accorder santé, paix et bonheur. J'espère de tout cœur être digne de votre confiance et à la hauteur de vos espérances.

*À mes frères adorés, Mohamed Arezki et Abdelmoumen,
Et à ma tendre unique sœur Malak. Merci pour votre amour fraternel, vos encouragements, vos sourires et cette complicité précieuse qui m'accompagne au quotidien.*

À ma chère binôme et amie Marwa, Merci pour ta présence, ta patience, ton énergie, et tout ce que tu as apporté à cette aventure. Ce travail porte aussi ton empreinte.

À toute ma famille et mes proches ceux qui m'ont soutenue, conseillée, encouragée, De près ou de loin, dans les moments de doute comme dans ceux de joie.

Merci. À mes amis fidèles, en particulier "Loubna, Hedayat, Selsabile et Bahia. Merci pour votre bienveillance, vos mots réconfortants et votre présence si précieuse.

Et enfin, à tous ceux qui aiment apprendre, découvrir, chercher et comprendre, Que cette humble contribution soit aussi un hommage à votre passion.

Feriel

Liste des figures

Figure I. 1: Structure de la chaussée	20
Figure I. 2 : Chaussée souple.....	26
Figure I. 3 : Chaussée semi rigide.....	27
Figure I. 4 : Chaussée rigide	28
Figure I. 5: Classes TPLi pour RP1 et RP2.....	35
Figure I. 6 Schéma des types de glissements	42
Figure I. 7 Viaduc traversant un barrage.....	46
Figure I. 8 Schéma d'un Pont (vue longitudinale)	47
Figure I. 9 Type des fondations.....	48
Figure II 1 carte de situation géographique de projet [3].....	53
Figure II 2 : la carte géologique de la zone d`étude.....	54
Figure II 3 : Présentation de répartition mensuelle de la température (°c)	55
Figure II 4: Présentation de Répartition mensuelle de l'évaporation en (mm).....	56
Figure II 5: Réseau hydrographique d'Ain-Temouchent.....	57
Figure II 6 : Classification sismique des wilayas d'Algérie.	58
Figure III 1: Sondage carottés BH-04	61
Figure III. 2: sondage carottés BH-05	61
Figure III 3: Image satellite et photos panoramique sur la localisation des gites.....	70
Figure IV. 1 Calcul des valeurs admissibles (CTTP).....	85
Figure IV. 2: La définition de la structure de base (CTTP).	85
Figure IV. 3: Résultats des calculs (CTTP).	86
Figure IV. 4: Calcul des valeurs admissibles (CBR).	87
Figure IV. 5 : La définition de la structure de base (CBR)	87
Figure IV. 6: Résultats des calculs (CBR).	88
Figure IV. 7: vue en plan de profil étudié	89
Figure IV. 8: géométrie du terrain avant travaux de terrassements	90
Figure IV. 9: terrassement et création d'un talus en détal.....	92
Figure IV. 10: définition de phase de calcul	92
Figure IV. 11: maillage du modèle étudié.....	93
Figure IV. 12: déplacements totale	93
Figure IV. 13: coefficient de sécurité Fs.....	94
Figure IV. 14: Vue en plan du tracé du Viaduc	95
Figure IV. 15: plan de pont avec sa situation	96
Figure IV. 16: schéma de la lithologie du sol dont les fondations sont ancrées	96
Figure IV. 17: Sondage BB-31/ caisse 01 de 0.00 à 17.0 m supportant le viaduc OA 19/1 ...	97
Figure IV. 18: Définition de la hauteur d'encastrement géométrique d'une semelle.	98

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Coefficients d'équivalence pour chaque matériau.....	32
Tableau I. 2: Type de réseau	34
Tableau I. 3: Schématisation de l'éventail des structures types disponibles dans le dimensionnement.	34
Tableau I. 4: Zones climatiques de l'Algérie.....	36
Tableau I. 5: Température équivalente avec la zone climatique.....	37
Tableau I. 6: Classe de portance du sol.	37
Tableau I. 7: Formules de la déformation admissible de traction.....	38
Tableau I. 8: Surface de chaque type de glissement	41
Tableau I. 9: Vitesse de chaque type de glissement	41
Tableau I. 10: Différents exemples de définition d'un facteur de sécurité.....	44
Tableau II. 1: Répartition mensuelle de la température (c°)	55
Tableau II 2: Répartition mensuelle de l'évaporation en (mm).....	56
Tableau III 1: résultante de puits de reconnaissance	60
Tableau III 2: résultantes des sondages carottés	62
Tableau III 3: les niveaux piézométriques.	63
Tableau III 4: résultat de l'essai de pénétration au carottier (SPT).....	63
Tableau III 5: La granulométrie	65
Tableau III 6: résultat de Limite d'artterbage	66
Tableau III 7: Les résultats des essais de cisaillement	67
Tableau III 8: Les résultats à la compression simple	67
Tableau III 9: Les résultats à la compression simple	69
Tableau III 10: Hauteurs de déblais supérieurs à 10m	69
Tableau III 11: situation et géologie	70
Tableau III 12: Résultats récapitulatifs de laboratoire des gites d'emprunts des puits de reconnaissance.....	71
Tableau III 13: Résultats récapitulatifs de laboratoire des gites d'emprunts des puits de reconnaissance.....	72
Tableau IV 1 Classe de trafic.....	75
Tableau IV 2 valeur de coefficient d'agressivité A	76
Tableau IV 3 Structure disponible dans le catalogue.....	76
Tableau IV 4 durée de vie adoptée.....	77
Tableau IV 5 classes de portance des sols	77
Tableau IV 6 Classes de portance des sols supports.....	78
Tableau IV 7 Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité	78
Tableau IV 8 zone climatique de l'Algérie	78
Tableau IV 9: Les valeurs de la température équivalente adoptée	79
Tableau IV 10: Caractéristiques des matériaux de chaussée	79
Tableau IV 11: Représente la construction de la chaussée.	81
Tableau IV 12: Tableau représente les épaisseurs calculées.....	82
Tableau IV 13: valeur de $t=f(r\%)$	83
Tableau IV 14: les données spéciales de la structure insérées dans ALIZE III.....	84
Tableau IV 15: Les résultats des déformations admissibles	86
Tableau IV 16: les données spéciales de la structure insérées dans ALIZE III.....	86

Tableau IV 17: des résultats de calcul par Alize.....	88
Tableau IV 18: Les paramètres physiques et mécaniques	91
Tableau IV 19: Propriétés mécaniques et physiques des différentes couches du sol fondation	97
Tableau IV 20: Caractéristiques géométriques et contraintes admissibles de fondation et comparaison ELU/ELS	99
Tableau IV 21: Propriétés du terrain naturel au niveau d'ancrage de fondation	99
Tableau IV 22: Coefficients des actions aux états limites ultimes (ELU) selon l'Eurocode 099	
Tableau IV 23: Coefficients de sécurité pour les pieux selon la norme NF P94-262.....	99
Tableau IV 24: Paramètres géotechniques et géométriques de la fondation superficielle....	100
Tableau IV 25: Résultat de tassement admissible de la fondation superficielle.....	101
Tableau IV 26: Classification des ouvrages d'art selon leur importance structurale	101
Tableau IV 27: Caractéristiques géométriques et contraintes admissibles de fondation et comparaison ELU/ELS	102
Tableau IV 28: Propriétés du terrain naturel au niveau d'ancrage de fondation	102
Tableau IV 29: Paramètres géotechniques et géométriques de la fondation superficielle....	103
Tableau IV 30: Résultat de tassement admissibles de la fondation filante pile.....	104
Tableau IV 31: Synthèse des vérifications de stabilité des appuis.	104

Liste des symboles

symboles	Significations	Unités
IP	indice de plasticité	(%)
VBS	valeur au bleu de méthylène	(%)
LA	Los angles.	(%)
MDE	micro Deval en présence d'eau.	(%)
F_s	friabilité des sables	(%)
I_c	indice de consistance	-
IPI	indice de portance immédiat	-
W_n	teneur en eau naturelle	(%)
W_{opn}	teneur en eau optimum proctor normal	(%)
W_l	limite de liquidité	(%)
D_{max}	diamètre de plus gros granulat	mm
P_d	masse volumique (densité).	kg/m ³
D_G	coefficient de dégradabilité.	-
T_{éq}	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 a 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	(%)
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'essai de référence de 13t	-
T_{éq}	température équivalente.	°C

r(%)	pourcentage de risque.	(%)
,6 (10°C, 25HZ)	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	-
(ε t, adm)	déformation admissible de traction	-
B	pente de la droite de fatigue (b<0)	-
E (10°C)	module complexe du matériau bitumineux à 10°C	Mpa
E (θ_{eq})	module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée	Mpa
T	fractile de la loi normale qui est en fonction du risque adopté (r %).	-
Δ	La dispersion	cm ²
S_N	dispersion sur la loi de fatigue.	-
S_h	dispersion sur les épaisseurs	cm
C	coefficient égal à 0.02	-
K_d	facteur lié aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique	-
E	module de Young	Mpa
σ(t,adm)	contrainte admissible de traction	Kpa
σt	contrainte de traction	Kpa
εt	déformation horizontale (traction)	-
εz	déformation verticale (compression)	-
FR	Coefficient de fragmentation	-
H	hauteur de talus	M

σ	résistance au cisaillement	KPa
C	la cohésion	kPa
φ	angle de frottement	°
U	pression interstitielle d'eau	kPa
$\bar{b}'$	contrainte normale effective	kPa
S_i	tassement instantané	cm
S_c	tassement de consolidation primaire	cm
S_f	tassement de consolidation secondaire	cm
S_r	degré de saturation	(%)
q_0	contrainte verticale initiale à la base de la fondation après travaux de fondation	kPa
K_p	facteur de portance pressiométrique, fonction de la nature du sol juste sous la base de la fondation, et des dimensions de la fondation	-
Q	la charge de l'ouvrage appliquée sur le pieu	kN
I_v	facteur de tassement	-
$E(D)$	module de Young en tête du pieu	mPa
W	Teneur en eau	(%)
w_p	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	résistance a la compression	bars
P_l	Pression limite	kPa
P_f	Pression de fluage	kPa
D	La fiche du pieu	m
Θ_{eq}	Température équivalente	°C
TCi	Trafic cumulé	PL/j/sens

TCEi	Trafic cumulé équivalent	essieu 13t/ durée vie
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

Liste des abréviations

BB : Béton bitumineux

GB : Grave bitumineux

SB : Sable bitumineux

BBUM : Béton bitumineux ultra mince

BBTM : Béton bitumineux très mince

BBM : Béton bitumineux mince

BBSG : Béton bitumineux semi-grenu

GC : Grave ciment.

GL : Grave laitier.

CBR : California Bearing Ratio.

CTTP : Contrôle technique des
travaux publics.

GNT : Granulats non-traités.

GTR : Guide de terrassement routier.

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.

RPA : Règlement parasismique Algérien.

SC : Sondage carotté.

SPT : Pénétration au carottier.

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

Table des matières

Résumé

Remerciement

Dédicace

Introduction Générale..... 17

CHAPITRE I : Généralités sur les routes..... 19

I.1 Introduction 20

I.2 La chaussée routière 20

I.2.1 Structure de chaussée..... 20

I.2.2 Matériaux de chaussée 22

I.2.3 Les types des chaussées 26

I.3 Dimensionnement du corps de chaussées 28

I.3.1 Les modèles de calcul..... 29

I.4 Étude de la stabilité d'un talus 40

I.4.1 Types de glissement : 42

I.4.2 Facteurs provoquant les glissements : 43

I.4.3 Méthodes de calcul de stabilité des talus : 43

I.5 Le franchissement de zones d'obstacles..... 45

I.5.1 Fondation et ouvrages d'art 46

I.5.2 Calcul de la capacité portante des fondations profondes..... 49

I.6 Conclusion..... 51

CHAPITRE II : Situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité 52

II.1 Introduction..... 53

II.2 Situation géographique 53

II.3 La géologie..... 54

II.4. Géomorphologie 54

II.5. Climat..... 55

II.5.1. Température..... 55

II.5.2 Pluviométrie 55

II.5.3 Evaporation 56

II.6 Hydrogéologie..... 56

II.6.1 Hydrogéologie local 57

II.7 Sismicité..... 58

II.8 Conclusion 58

CHAPITRE III : Synthèse géotechnique..... 59

III.1 Introduction 60

III.2. Compagne de reconnaissance in situ	60
III.2.1 Puits de reconnaissance.....	60
III.2.2 Sondages carottés.....	60
III.2.3 Niveaux piézométriques.....	63
III.2.4 Essais de pénétration au carottier (S.P.T.)	63
III.3 Essai de laboratoire.....	65
III.3.1 Essai physiques	65
III.3.2 Les essais mécaniques.....	66
III.4 Classifications des sols des gites selon le guide technique de terrassement Routier (GTR).....	68
III.5 CONCLUSION	72
CHAPITRE IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes.....	73
IV.1 Introduction	74
Partie A : Dimensionnement du corps de chaussée	74
A.1 Dimensionnement utilisant la méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves « CTP ».....	74
A.2 Dimensionnement utilisant la Méthode de dimensionnement « CBR »	80
A.3 Modélisation des structures types sur le logiciel ALIZE III	84
A.4 Conclusion	88
PARTIE B : Etude de stabilité des talus.....	89
B.1 Etude de stabilité des talus	89
B.2 Présentation du logiciel Plaxis 2D	89
B.3 La démarche de modélisation 2D.....	89
B.4 Conclusion.....	94
Parti C : calcul des fondations	95
C.1 Introduction	95
C.2 Calcul de fondation.....	97
C.3 Calcul de capacité portante charge verticale et tassement de la fondation de culée ..	98
C.4 Calcul de capacité portante charge verticale et tassement de la fondation pile	101
C.5 Conclusion.....	104
Conclusion Générale	105
Référence.....	107
Annexe	108

Introduction Générale

Introduction Générale

La modernisation des infrastructures de transport en Algérie, notamment dans le secteur routier, représente un pilier crucial pour répondre aux besoins croissants de la population et soutenir le développement économique. Le transport routier joue un rôle majeur en Algérie, avec plus de 80% du trafic de marchandises et de voyageurs.

Au vu de la croissance démographique et économique des wilayas notamment la wilaya d'AIN TIMOUCHENT, avec population enregistrée ainsi qu'un taux d'évolution annuel moyen de 1,75%, entre les deux derniers recensements généraux de la population effectués par l'ONS en 1998 et 2008, et compte tenu de toutes les difficultés enregistrées sur place, il devient nécessaire de construire des nouvelles routes, tout en considérant l'intégration stratégique entre infrastructures portuaires et routières.

Rentrant dans cette perspective, ce projet de fin d'étude concerne la réalisation d'un tronçon de route situé dans la wilaya d'Ain Timouchent, long de 6.0 km (PK 13+314.8 au PK 19+984.570), au niveau du contournement reliant le port de Beni Saf à l'autoroute Est-Ouest sidi bel abbes avec une linéarité total de 62 km. Le long de son axe, le tronçon routier, dispose d'un talus en déblai étalant entre le (PK17+450 et PK 18+800), et d'un viaduc long de 50 m débutant au PK 15 +725 et finissant au PK19+650.

L'étude porte principalement sur le dimensionnement de corps chaussée du tronçon routier étudié par le biais des deux méthodes (CTTP et CBR), avec la vérification de déformation de la structure utilisant le logiciel (Alize III), une étude de stabilité du talus en déblai vis-à-vis au glissement utilisant le logiciel (Plaxis 2D), et le calcul des fondations pour l'ouvrage d'art.

Pour ce faire :

- Introduction générale ;
- Chapitre 1 : Généralité sur les routes ;
- Chapitre 2 : Situation du projet, géomorphologie, géologie, hydrogéologie et sismicité
- Chapitre 3 : synthèse géotechnique ;
- Chapitre 4 : Dimensionnement du corps de la chaussée, étude de stabilité du talus et calcul des fondations de l'ouvrage d'art.
- Conclusion générale.

CHAPITRE I : Généralités

sur les routes

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

I.1 Introduction

La conception d'une route durable repose sur des propriétés géométriques et mécaniques adaptées, nécessitant une étude approfondie du sol et une sélection rigoureuse des matériaux pour résister aux contraintes externes et aux éventuels obstacles naturels d'où la construction d'ouvrages d'art tels que des ponts et des viaducs est souvent la solution adoptée.

Ce chapitre décrit le type de la structure, les classifications et les types des matériaux constitutifs, les différentes méthodes de dimensionnement de la chaussée, les types des mouvements de terrain qui induisent l'instabilité des pentes, ainsi que les fondations et les calculs utilisés pour les structures courantes d'une façon générale.

I.2 La chaussée routière

La chaussée est l'espace de circulation réservé aux véhicules, aménagé et délimité pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic. Structurellement, c'est un ensemble de plusieurs couches de matériaux, conçues pour supporter les charges et assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation, tout en supportant les charges climatiques auxquelles elles seront soumises tout au long de leur vie.

I.2.1 Structure de chaussée

La structure de la chaussée est de type composite, constituée par un empilement stratifié de couches superposées, **Figure (I.1)**.

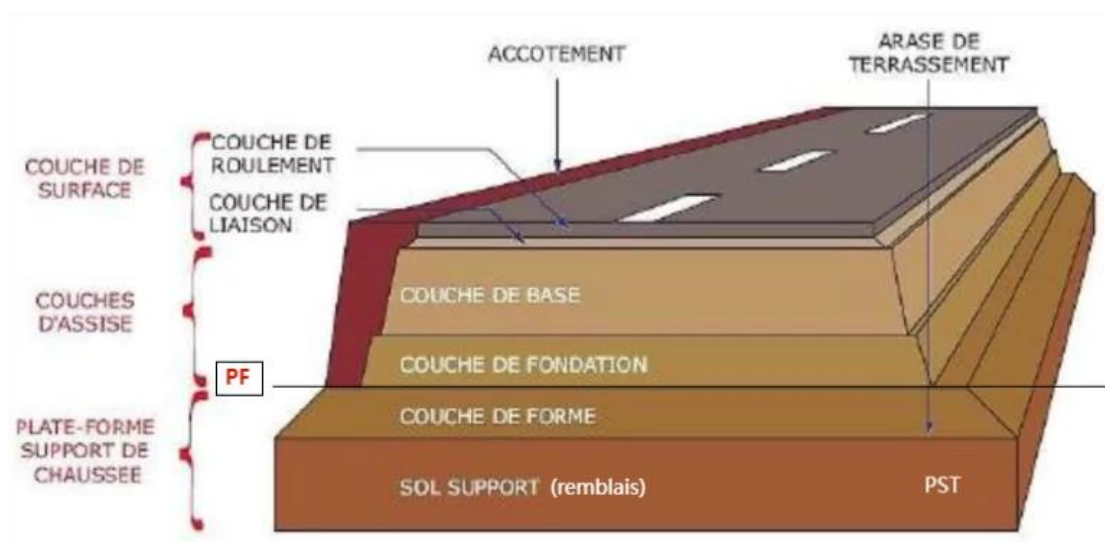


Figure I. 1: Structure de la chaussée

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Grâce à son épaisseur, la pression verticale transmise au sol est suffisamment réduite pour éviter toute déformation excessive et préserver l'intégrité de l'infrastructure. Son rôle est de transmettre les efforts dus au trafic au sol tout en assurant une répartition optimale.

La structure de la chaussée, constituée de plusieurs couches, est détaillée ci-après.

❖ Plate-forme support de chaussée

Comporte le sol support ou la partie supérieure de terrassement (PST), d'une épaisseur d'environ 1 mètre, et correspond au sol support de la chaussée qui est généralement surmonté d'une couche de forme pouvant atteindre des épaisseurs allant de 40 cm à 70 cm, interposée entre la partie supérieure de terrassement et la couche d'assise, pour permettre une meilleure mise en œuvre de la couche de fondation et à améliorer la capacité portante du sol support lorsque ce dernier présente une faible portance.

❖ Couche d'assise :

La couche d'assise, élément clé de la chaussée, généralement constituées d'une couche de fondation surmontée d'une couche de base. Elles apportent à la structure de chaussée l'essentiel de sa rigidité et répartissent (par diffusion latérale) les sollicitations, induites par le trafic, sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

A) La couche de fondation : La couche de fondation a pour fonction principale de répartir uniformément les pressions appliquées sur le sol support, tout en limitant les déformations verticales à des valeurs compatibles avec les critères de service de la chaussée.

B) La couche de base : cette couche supporte l'action des véhicules en atténuant en grande partie, les pressions élevées dus à leurs actions, avant d'être transmises à la couche de fondation.

❖ Couche de surface :

Cette couche est formée d'une couche de roulement surmontant éventuellement une couche de liaison intermédiaire :

A) Couche de roulement : La couche de roulement constitue la partie supérieure de la chaussée, directement exposée aux sollicitations du trafic et aux conditions climatiques. Elle

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

joue un rôle essentiel en assurant l'adhérence, la résistance mécanique, et la protection contre les agents extérieurs, garantissant ainsi la sécurité et le confort des usagers.

B) Couche de liaison La couche de liaison est une couche intermédiaire assurant la transition entre la couche de roulement et la couche de base

I.2.2 Matériaux de chaussée

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

❖ Nature et classification des matériaux constituant la chaussée

La structure de la chaussée peut contenir divers matériaux, des sols naturels, des matériaux rocheux, certains sols organiques et sous-produits industriels, asphaltes et liants hydrauliques. Leur utilisation est régie par des normes techniques, notamment celles définies dans le Guide des terrassements, remblais et couches de forme (LCPC, SETRA, GTR). Ce guide propose une classification des matériaux adaptés aux remblais et aux couches de forme, basée principalement sur des essais d'identification, d'état et de comportement mécanique.

❖ Sols naturels

Ils présentent une diversité géologique, comprenant des alluvions, des colluvions et des matériaux meubles sédimentaires, avec une teneur en matière organique inférieure à 3 %. Ces sols correspondent aux classes A, B, C et D. Les paramètres utilisés pour la classification se divisent en trois catégories, les paramètres de nature, le comportement mécanique, et les paramètres d'état.

- **Paramètres de nature** : Ils se rapportent à des caractéristiques intrinsèques stables dans le temps et peu sensibles aux manipulations lors de la mise en œuvre. Ils incluent par la dimension maximale du plus gros élément ($D \geq 50$ mm). L'argilosité, caractérisée par l'indice de plasticité (I_p) et la valeur au bleu de méthylène (VBS).

- **Paramètre de comportement mécanique** : Critères évaluant la résistance et la dégradabilité des matériaux, tels que :

Le coefficient Los Angeles (LA),

Le coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE),

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Le coefficient de friabilité des sables (FS).

- Les paramètres d'état :

Variables dépendantes de l'environnement du sol, non inhérentes à sa nature. Pour les sols meubles sensibles à l'eau, l'état hydrique est le paramètre clé, défini par cinq classes (très humide, humide, moyen, sec, très sec). Ce critère est déterminant pour les problématiques de remblai et de couches de forme.

❖ Sols organiques et sous-produits industriels

L'accumulation de matériaux hautement organiques, résultant de la pétrification de débris végétaux sous l'effet de processus physico-chimiques et biologiques, se caractérise par une couleur ocre et une odeur de décomposition. Ces matériaux, ainsi que les sous-produits industriels issus de l'activité humaine, peuvent être utilisés en remblais et en couche de forme lorsque leur emploi présente un intérêt technique et économique, à condition qu'ils ne nuisent pas à l'environnement. Ils appartiennent à la classe F. Une classification des sols est présentée en annexe

❖ Matériaux rocheux

Les matériaux rocheux, issus de roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques, nécessitent une désagrégation mécanique avant leur utilisation en génie civil. Leur haute résistance mécanique, leur faible déformabilité et leur durabilité face aux contraintes climatiques et mécaniques les rendent adaptés aux remblais et aux couches de forme. Classés dans la Classe R selon la norme GTR (LCPC/SETRA, 1992), leur qualification repose sur des propriétés mécaniques telles que les coefficients Los Angeles (LA), l'usure (MDE), ainsi que leur fragmentabilité (DG) et fragilité (FR). Leurs caractéristiques physiques incluent la masse volumique et la granulométrie (D/d).

❖ Les granulats

Ce sont des fragments de minéraux naturels ou bien artificiels et grosseurs différentes comprise entre 0mm et 80 um. Destinés aux travaux de construction, de BTP, ils s'utilisent selon les cas en mélange avec d'autres matériaux ou tels quels. Ils proviennent principalement de l'extraction terrestre. Les carrières de roches meubles alluvionnaires fournissent les sables et les graviers « roulés ».

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

❖ Matériaux traités aux bitumes (liant hydrocarboné)

Les liants hydrocarbonés, communément appelés (bitumes) sont des substances composées de mélange d'hydrocarbonés très visqueux de couleur noire. En construction routière, ils servent souvent de liant pour la réalisation de matériaux à chaud (BB ou GB).

A) Béton bitume (BB) : Les bétons bitumineux sont des enrobés au bitume destiné pour la couche de roulement. Son épaisseur varie entre 5 et 8 cm, il est composé de sable, de gravillons, de particules fines, et de bitume comme liant hydrocarboné.

B) Grave bitume (GB) : La grave-bitume est un matériau utilisé principalement pour la réalisation des assises de chaussées, son épaisseur varie de (6 à 16 cm). Elle est composée d'un mélange de granulats (sable et gravier). Typiquement de 0/14 ou 0/20 et de bitume, généralement fabriqué dans un poste d'enrobage. La teneur en bitume varie généralement entre 5% et 7%, selon l'application et la norme utilisée.

C) Sable bitume (SB) : Le sable bitume est un matériau utilisé dans l'extraction pétrolière et la construction routière, notamment pour la couche de base des chaussées RP2. Il est composé de granulats mélangés à des fines issues du concassage ou de pulvérulents industriels (chaux, ciment). Le bitume utilisé est de classe 40/50 ou 20/30 pour garantir rigidité et résistance sous charge. Sa formulation prend en compte la granulométrie, la teneur en fines et les propriétés rhéologiques du bitume afin d'optimiser sa durabilité et sa performance.

D) Grave Concassée : Le grave concassé ou non traité est un matériau granulaire à granulométrie continue, composé de graviers et de sables avec une proportion de fines. Sa dimension maximale est généralement de 31,5 mm. Il est utilisé dans les couches d'assise des chaussées souples pour assurer la transmission des charges et garantir la stabilité de la structure. Sa composition et ses caractéristiques mécaniques influencent sa performance à long terme sous sollicitations dynamiques.

❖ Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Ces liants, qui durcissent en présence d'eau par réaction chimique, améliorent la résistance et la durabilité des structures. Ils sont utilisés pour le traitement des sols, la fabrication des couches d'assise et le retraitement des chaussées existantes. Parmi ces matériaux, on trouve grave laitier (GL), grave ciment (GC) et le béton de ciment.

A) Grave laitier GL : Issue de la valorisation des laitiers sidérurgiques, elle présente de bonnes caractéristiques mécaniques et une excellente durabilité. La grave laitier est un matériau utilisé dans les couches d'assise des chaussées, notamment les chaussées neuves de type RP1. Elle est

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

obtenue par malaxage en centrale continue d'une grave 0/D avec un laitier sidérurgique et des désactivant tels que le gypse. La teneur en eau est ajustée pour se rapprocher de l'Optimum Proctor Modifié (OPM), garantissant une bonne compacité et résistance mécanique. Ce matériau offre une alternative durable et performante aux matériaux traditionnels.

B) Grave ciment GC : Le liant est un ciment, un matériau utilisé dans les fondations de chaussées en béton de ciment et les chaussées neuves de type RP1. Elle résulte du mélange de granulats, de ciment, d'eau, et éventuellement d'un retardateur de prise pour ajuster le durcissement. Ce matériau offre une rigidité élevée et une excellente résistance mécanique, garantissant la durabilité des infrastructures routières.

❖ Les matériaux non traités :

A) Grave non-traitée (GNT) :

Le grave non-traité est un matériau granulaire défini par une granulométrie 0/D, ne contenant aucun liant. Ce type de matériau est fréquemment utilisé dans les couches d'assise des chaussées, où il offre une bonne portance et stabilité grâce à l'inter verrouillage des particules. Sa performance dépend de la nature des granulats, de leur répartition granulométrique et du compactage lors de la mise en œuvre.

B) TUFs Calcaires (TUF) « encroûtements calcaires » :

Les tufs calcaires sont des formations géologiques constituées principalement de carbonate de calcium, résultant de processus de cimentation d'accumulation ou de remplacement de matériaux rocheux ou altérés. Ils se forment généralement dans des bassins plats, irrigués par les eaux de ruissellement issues des massifs calcaires adjacents. On distingue deux catégories

TUF1 : caractérisé par une structure plus compacte et une faible porosité.

TUF2 : présentant une porosité plus élevée et une texture plus irrégulière.

Ces matériaux sont souvent exploités pour leur stabilité mécanique et leur résistance aux conditions climatiques, notamment dans les infrastructures routières et le génie civil.

C) Sable gypseux SG :

Le sable gypseux (SG) est utilisé dans les couches de base des fondations de chaussées. Il est composé de gypse, qui se forme dans les zones arides ou semi-arides (climatique IV) par évaporation de l'eau, entraînant la précipitation du minéral. Ce matériau nécessite une

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

adaptation aux conditions climatiques et hydrogéologiques pour une performance optimale dans les infrastructures routières.

I.2.3 Les types des chaussées

Le réseau routier et autoroutier est composé de plusieurs types de structures de chaussée. On distingue trois grandes catégories (classes) de chaussées routières :

- Chaussée souple.
- Chaussée semi-rigide.
- Chaussée rigide.

❖ Chaussée souple :

Les chaussées souples sont des structures routières dont l'épaisseur globale varie généralement entre 30 et 60 cm. Elles sont constituées de plusieurs couches successives. Une couverture bitumineuse mince (environ 15 cm), qui assure la protection contre l'usure et les sollicitations du trafic. Une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités (GNT), dont l'épaisseur varie de 20 à 50 cm, garantissant la portance et la répartition des charges. Une couche de forme, qui permet l'adaptation aux irrégularités du sol et optimise le comportement de la structure et un substratum. (Figure I.2)

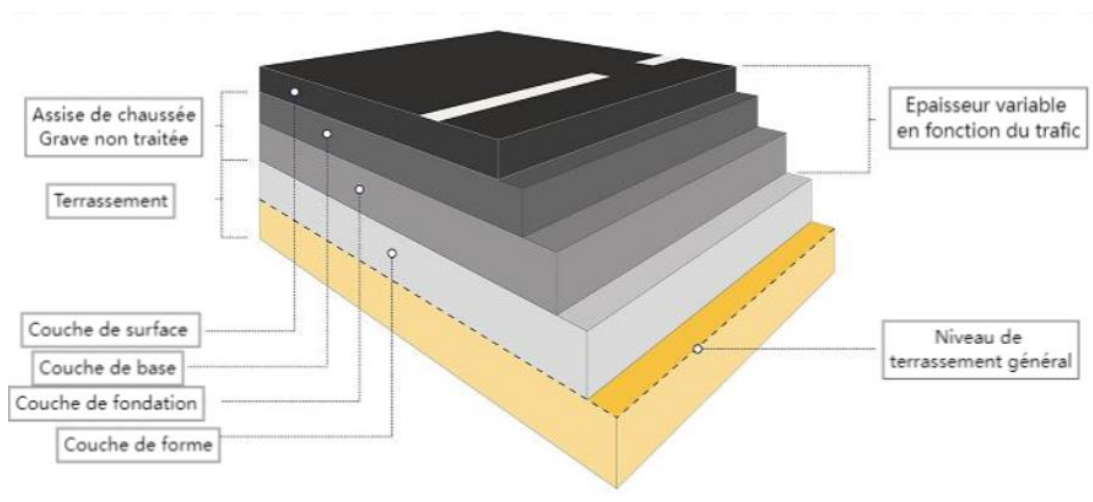


Figure I. 2 : Chaussée souple.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

❖ Chaussée semi-rigide :

La chaussée semi-rigide a une épaisseur totale de 20 à 50 cm, comprenant une couche de surface bitumineuse de 6 à 14 cm reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques, disposée en une ou deux couches, elle-même installée sur une plate-forme. Cette structure garantit une bonne rigidité et une résistance élevée aux charges de trafic. (Figure I.3)

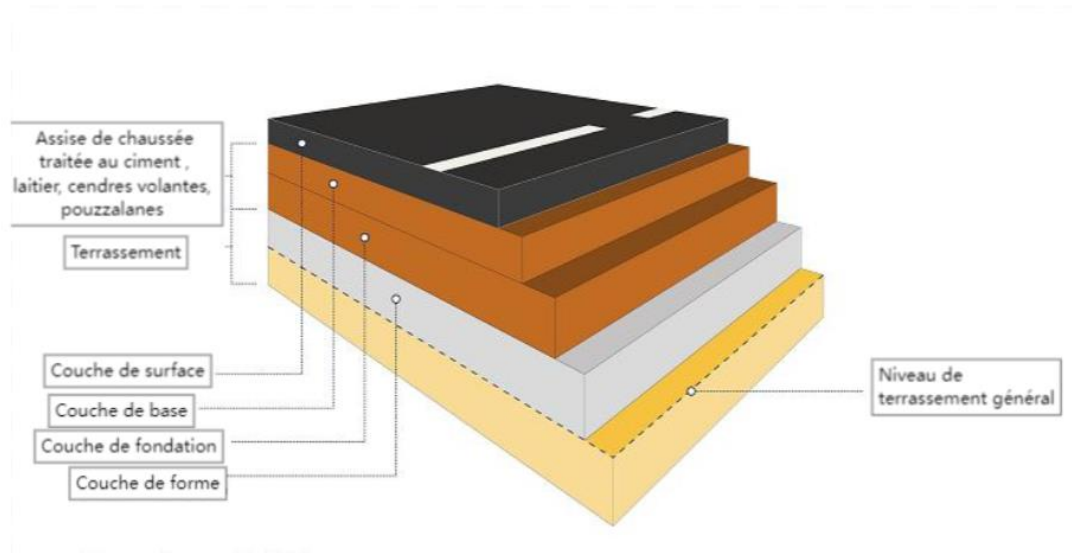


Figure I. 3 : Chaussée semi rigide.

❖ Chaussée rigide :

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment. En règle générale, une chaussée rigide comporte, à partir du sol.

Une dalle en béton de ciment (15 à 40 cm), pouvant être réalisée directement sur l'arase du terrassement ou sur la plate-forme support de chaussée. (Figure I.4)

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

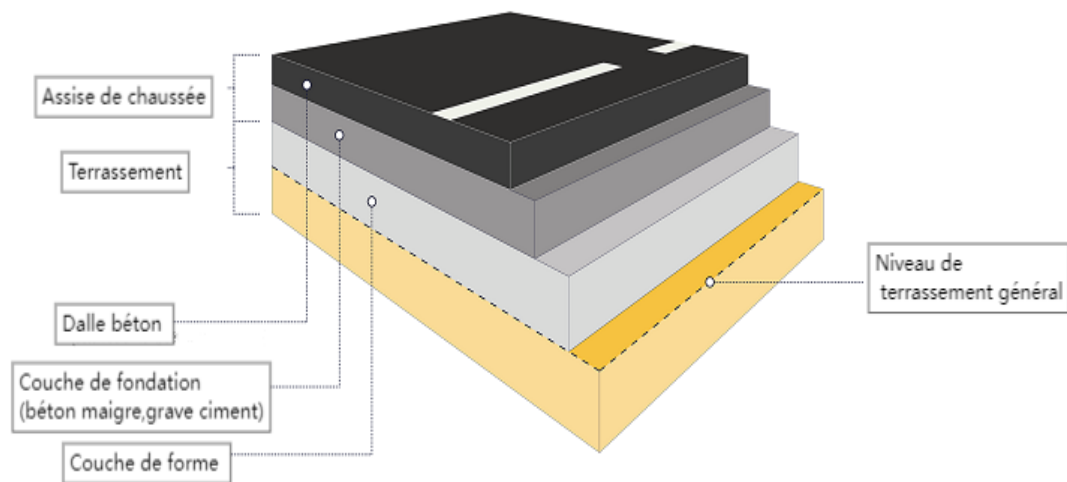


Figure I. 4 : Chaussée rigide

I.3 Dimensionnement du corps de chaussées

Le dimensionnement d'une chaussée consiste à déterminer les épaisseurs et matériaux de chaque couche, pour garantir sa stabilité structurelle face aux charges du trafic et aux contraintes climatiques tout au long de sa durée de service. Il vise à calculer l'épaisseur optimale des différentes couches, afin qu'elle puisse supporter les sollicitations mécaniques et climatiques.

Le dimensionnement d'une chaussée repose sur plusieurs paramètres clés :

- ❖ **Débit de trafic** : Nombre de véhicules (équivalent poids lourds 3.6T) empruntant la chaussée par unité de temps.
- ❖ **Environnement routier** : Facteurs climatiques (température, humidité) influençant le comportement de la chaussée.
- ❖ **Sol support** : Qualité du matériau constituant la plate-forme, influençant la stabilité et la résistance de la chaussée.

Ces paramètres déterminent la **durée de vie de la chaussée**, estimée entre **15 et 20 ans**, période durant laquelle la structure reste performante sans nécessiter d'entretien majeur.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

I.3.1 Les modèles de calcul

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement adaptées aux différents contextes d'utilisation. Ceux reposant sur des modèles mathématiques et ceux, reposant sur les méthodes rationnelles (fondées sur l'analyse théorique du comportement des chaussées) et les méthodes empiriques (basées sur des études expérimentales sur les performances des chaussées), permettant d'évaluer les contraintes, déformations et les performances des structures multicouches sous l'effet du trafic et des conditions climatiques

A) Modèles Analytiques Classiques :

Le dimensionnement des chaussées reposant sur des modèles mathématiques permet d'évaluer les contraintes, déformations et les performances des structures multicouches sous l'effet du trafic et des conditions climatiques. Les principaux modèles utilisés sont donnés dans ce qui suit :

• **Modèle de Boussinesq (1885) :**

Créé et utilisé initialement en mécanique des sols, ce modèle analyse la répartition des contraintes sous une charge appliquée sur un sol élastique, homogène et isotrope. Il permet de calculer la diffusion des contraintes verticales et horizontales, essentiel pour le dimensionnement des chaussées sous charges roulantes et des fondations.

• **Modèle bicouche de Westergaard (1926) :**

Ce modèle analyse les contraintes et déformations dans une structure où une plaque repose sur un sol assimilé à un ensemble de ressorts verticaux, sans connexions horizontales. Il est particulièrement utile pour le dimensionnement des chaussées rigides, ce modèle est très théorique et tend à surestimer les contraintes, ce qui peut limiter son applicabilité aux conditions réelles.

• **Modèle bicouche de Hogg (1938) :**

Ce modèle analyse les contraintes et déformations des chaussées rigides en considérant une plaque reposant sur un massif élastique semi-indéfini. Il permet une meilleure estimation des contraintes et des déformations en prenant en compte les interactions entre la dalle et le sol sous-jacent, améliorant ainsi le dimensionnement des chaussées rigides.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

• Modèle de Burmister (1943) :

Le modèle de Burmister (1943) est une avancée majeure dans l'analyse des chaussées souples, apparu près de 20 ans après les premiers modèles de chaussées rigides. Il est utilisé pour le dimensionnement des chaussées multicouches, assimilant la chaussée à une dalle reposant sur un massif élastique semi-indéfini. Ce modèle permet de calculer la répartition des contraintes et des déformations sous charge, optimisant ainsi la conception des infrastructures routières.

• Modèle de Jeuffroy (1955) :

Ce modèle est une approche utilisée pour le dimensionnement des chaussées, notamment dans l'analyse des contraintes et des déformations sous charge. Il repose sur des abaques empiriques, permettant d'évaluer la répartition des efforts dans les différentes couches de la chaussée. Ce modèle est particulièrement utile pour les chaussées souples et semi-rigides, où il facilite l'optimisation des structures en fonction des sollicitations mécaniques.

B) Méthodes Numériques Modernes :

La Méthode Numérique Moderne (Cesar-LCPC) s'impose chaque fois qu'il est nécessaire de modéliser des structures multicouches continues, en intégrant des géométries complexes et des comportements non linéaires des matériaux, tels que la plasticité et la viscoélasticité. Elle permet également la simulation de fissuration, d'orniérage et d'effets dynamiques.

Aujourd'hui, plusieurs logiciels de calcul par la Méthode des Éléments Finis (MEF) sont largement utilisés, parmi lesquels ABAQUS et PLAXIS, offrant des outils avancés pour l'analyse et l'optimisation des infrastructures.

C) Méthodes Empiriques :

• Méthode d'AASHO :

La méthode (American Association of State Highway Officials) est une approche empirique développée à partir d'essais routiers à grandeur réelle menés aux États-Unis dans les années 1950. Elle permet de dimensionner les chaussées en fonction du trafic et des conditions environnementales. Cette méthode repose sur l'analyse de la capacité portante des chaussées et l'évaluation de leur durabilité face aux sollicitations mécaniques. Elle est largement utilisée pour les chaussées souples et rigides et constitue une référence dans le domaine du génie routier.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

I.3.1.1 Méthode de C.B.R

Cette méthode est couramment employée dans le dimensionnement des chaussées, garantissant leur stabilité et limitant les déformations excessives. Selon la théorie de Boussinesq, la contrainte verticale répartie doit rester inférieure à une limite proportionnelle à l'indice CBR (ICBR) pour assurer la fiabilité de la structure.

En Algérie, les méthodes les plus couramment appliquées sont la méthode C.B.R et la méthode CTPP pour le dimensionnement du corps de chaussée.

L'objet de cette mesure est de déterminer un indice CBR permettant de calculer grâce à des abaques, l'épaisseur des couches de fondation et concevoir des chaussées stables et durables.

L'indice CBR est la plus grande valeur ci-dessous :

$$ICBR = \max (I_1 ; I_2)$$

$$I_1 = \frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm (KN)}}{13.35\text{KN}} \times 100$$

$$I_2 = \frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm (KN)}}{19.93\text{KN}} \times 100$$

L'épaisseur est donnée par la formule suivante :

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

Avec :

- e: épaisseur équivalente ;
- ICBR : indice CBR (sol support).
- P : charge par roue égale à 6.5t (essieu 13t).
- Log : logarithme décimale.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

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

$$N = TJMA * PL\%$$

TJMA : trafic prévu pour une durée de vie de 20 ans.

PL% : pourcentage de poids lourds.

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

a_1, a_2, a_3 : coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

$a_1 e_1$: couche de roulement.

$a_2 e_2$: couche de base.

$a_3 e_3$: couche de fondation.

Tableau I. 1 : Coefficients d'équivalence pour chaque matériau

Matériaux utilisés	Coefficients d'équivalences (a)	Épaisseurs des couches (e)(cm)
Béton bitumineux ou enrobe dense.	2	6-8
Grave ciment – grave laitier.	1,5	15-25
Grave concasse ou gravier	1	15-25
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	0.75	25 en plus
Grave bitume (GB)	1,60 à 1,70	-
Grave non traité(GNT)	1	-
TUF	0,60	-

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

I.3.1.2 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)

La méthode du Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, élaborée par le CTTP Algérie (Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics), est une approche normative et recalculée pour la conception des structures de chaussées routières en Algérie. Elle s'adresse principalement aux ingénieurs routiers en leur offrant un outil normatif basé sur des hypothèses de paramètres caractéristiques prédéfinis, tels que (Niveaux de service, trafic, stratégies de conception, Propriétés du sol support, Conditions climatiques, Disponibilité des matériaux).

La méthode catalogue pour déterminer les dimensions des chaussées neuves est une approche rationnelle basée sur deux méthodes :

➤ **Méthode rationnelle** : basés sur l'étude théorique du comportement des chaussées.

Méthodes empiriques : dérivées des études expérimentales sur performances des chaussées.

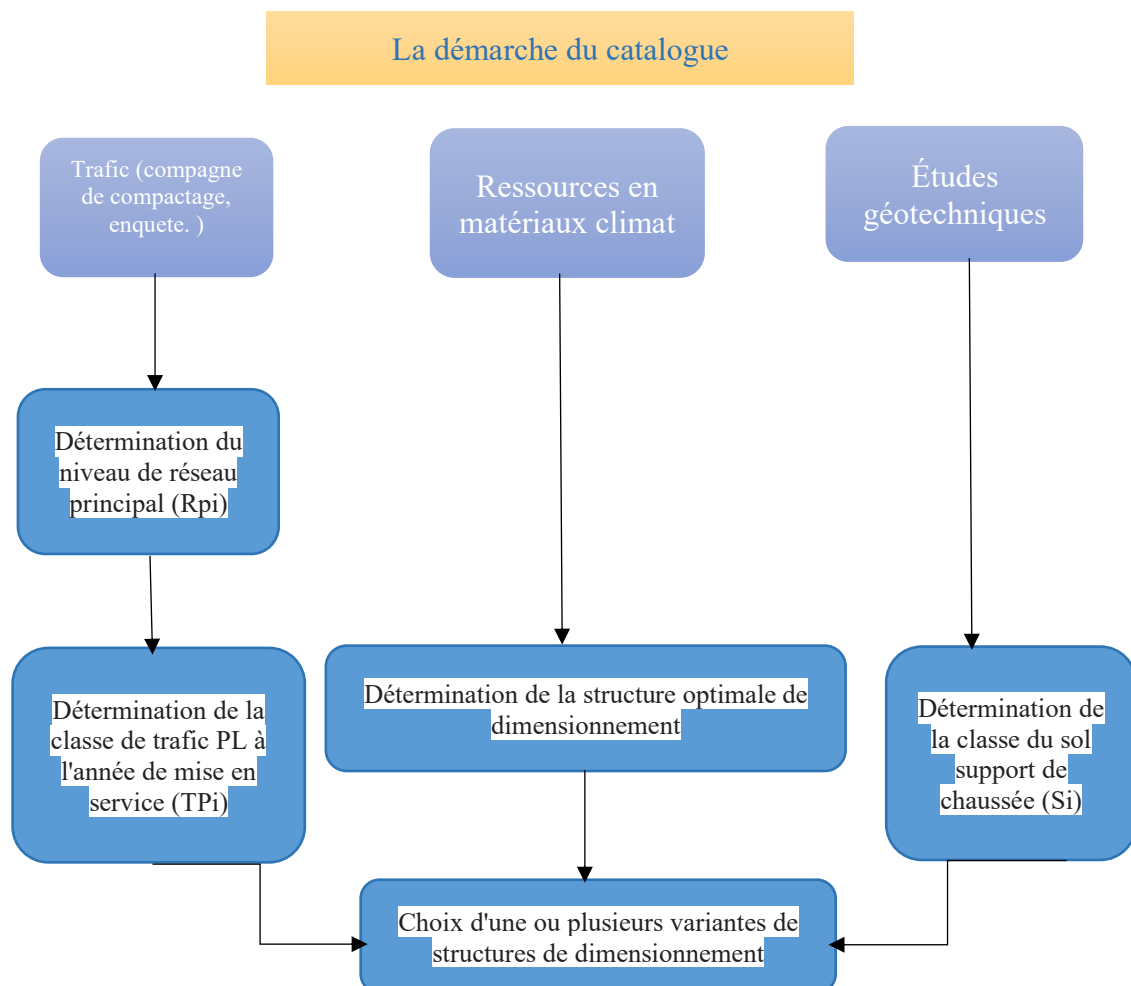


Diagramme de la démarche de catalogue

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

A) Le trafic :

❖ Choix du niveau de réseau principal :

La détermination de la catégorie du niveau de réseau principal se fait à partir des critères donnés ci-dessous.

❖ Réseau principal de niveau 1 (RP1) :

Dans ce niveau, tombent les liaisons supportant un trafic supérieur à 1500 véhicules 1 jour, les liaisons reliant deux chefs-lieux de wilaya et liaisons présentant un intérêt économique et /ou stratégique. Il s'agit essentiellement d'un réseau composé de routes nationales (RN).

❖ Réseau principal de niveau 2 (RP2) :

Il est constitué de liaisons supportant un trafic inférieur à 1500 véhicules/jours. Ce réseau est composé de routes nationales (RN), de chemins de wilaya (CW) et de liaisons reliant l'Algérie aux pays riverains.

- Choix des structures types par niveau de réseau principal : Ce choix est fait en relation avec le type de réseau retenu (RP 1 ou RP2).

Tableau I. 2: Type de réseau

Réseaux principal	Trafic (véhicule/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

Choix des structures type par niveau de réseau principal :

Ce choix est fait en relation avec le type de réseau retenu (RP1 ou RP2)

Tableau I. 3: Schématisation de l'éventail des structures types disponibles dans le dimensionnement.

Niveau de réseau	Matériaux types	Structures	La durée de vie
RP1	Matériaux traités au Bitume (MTB)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF, GB/SG, GB/AG	20
	Matériaux traités aux liants hydrauliques(MTLH)	GL/GL/BCg/GC	20

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

RP2	Matériaux non traités (MNT)	GNT/GNT, TUF/TUF AG/AG, SG/SG	15
	Matériaux traités au Bitume (MTB)	SB/SG	15

- ◆ Détermination de la classe de trafic (TPLi) : Les classes de trafic (TPLi) adoptées dans les fiches structures de dimensionnement sont données, pour chaque niveau de réseau principal (RP 1 et RP2), en nombre de PL par jour et par sens à l'année de mise en service.

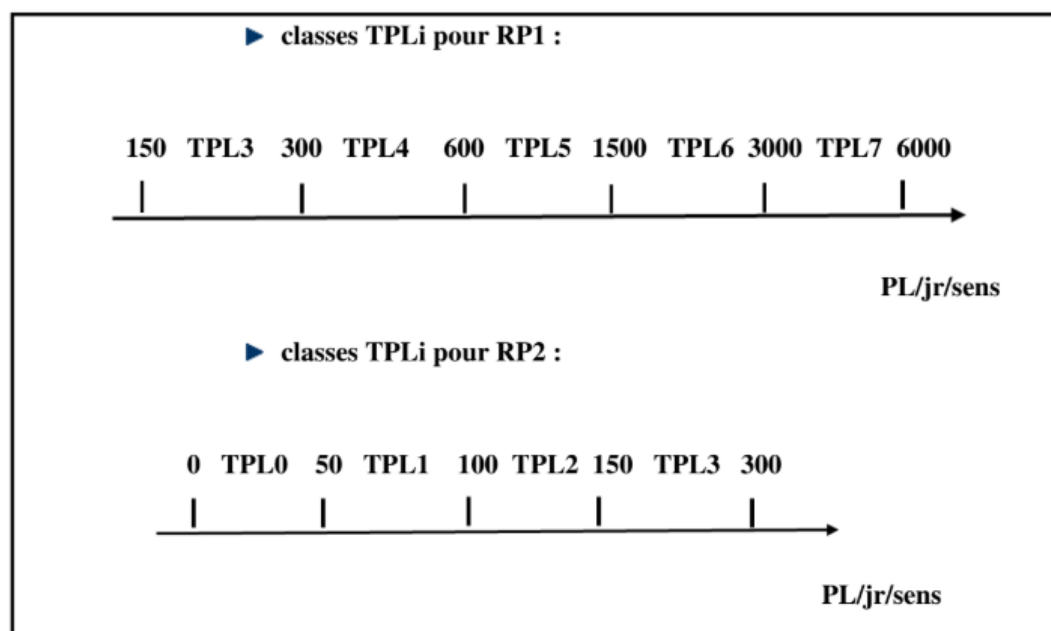


Figure I. 5: Classes TPLi pour RP1 et RP2

- ◆ Détermination de trafic cumulé de PL (TCi) :

Le TCi est le trafic cumulé de PL sur la période considérée pour le dimensionnement (durée de vie). Il est donné par la formule suivant

$$T_{ci} = TPL_i \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Avec :

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

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

n : durée de vie considérée.

Détermination de trafic cumulé équivalent TCEi :

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

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

Avec :

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

A) La zone climatique :

Les données directement utilisées dans le calcul de dimensionnement des chaussées se rapportent :

- A l'état hydrique du sol support pris en compte à travers le calcul de la portance du sol support et qui évaluée à partir d'essai CBR.

Tableau I. 4: Zones climatiques de l'Algérie.

Zone climatique	Région	Climat	Pluviométrie
I	Nord	Très humide	600
II	Nord / Hauts plateaux	Humide	350-600
III	Hauts plateaux	Semi-Aride	100-350
IV	Sud	Aride	100

- Aux cycles saisonniers de température, les caractéristiques des matériaux bitumineux sont affectées par les cycles de variations de température. Cet effet est pris en compte d'après la notion de température équivalente θ_{eq} qui est une température constante déterminée par une loi de cumul des dommages. On retient dans le tableau suivant les valeurs de température équivalente (θ_{eq}) pour le calcul du dimensionnement des chaussées.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Tableau I. 5: Température équivalente avec la zone climatique.

Zone climatique	I et II	III	IV
Température équivalente(θ_{eq}) C0	20	25	30

B) La durée de vie :

Elle correspond à un investissement initial moyen à élever et des durées de vie allant de 15 à 20 ans en fonction du niveau de réseau principal considéré.

C) La température équivalente T_{eq} :

La température est déterminée en fonction de la zone climatique du terrain afin de dimensionner la chaussée.

D) Classes de portances du sol support pour le dimensionnement :

Pour le dimensionnement des structures, on distingue 4 classes de portance de sols supports à savoir S4, S3, S2 S1 S0.

Les valeurs des modules indiquées sur le tableau (I.6) ci-dessous, à partir de relation empirique suivante :

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

Tableau I. 6: Classe de portance du sol.

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

E) Calcul des déformations admissibles sur le sol support :

Les sollicitations admissibles pour chaque type de matériaux sont calculées à partir de ces relations

1- Calcul des sollicitations admissibles :

➤ Matériaux traités au bitume :

Le calcul de la déformation admissible de traction (ϵ_t , a_d) à la base de la couche bitumineuse est donné par la relation suivante :

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

$$\epsilon_{t, adm} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25 \text{ HZ}) \times K_{ne} \times K_{\theta} \times K_r \times K_c \quad (I.8)$$

Avec :

$\epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{HZ})$: déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).

K_{θ} : facteur lié à la température.

K_{ne} : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supportés 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.

Tableau I. 7: Formules de la déformation admissible de traction.

Paramètres	Formules
$\epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25 \text{ HZ})$	/
K_{ne}	$(\frac{10^6}{TCE_i})^b$
K_{θ}	$\sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}}$
K_r	$10^{-tb\delta}$
K_c	1.3

Avec :

$$\delta : (\text{dispersion}) = \sqrt{S_n^2 + (\frac{c}{b} Sh)^2}$$

TCEi : trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée

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

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

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

- $E(\theta_{eq})$: 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 ($r\%$) ;
- SN : dispersion sur la loi de fatigue ;
- Sh : dispersion sur les épaisseurs (en cm) ;
- C : coefficient égal à 0.02.

➤ Matériaux traités au liant hydraulique :

Le calcul de la contrainte de traction admissible (σ_r) à la base des couches traitées avec des liants hydrauliques montre la relation :

$$\sigma(t,adm)=\sigma_6(10^{\circ}C, 25Hz).K_{ne} K_r.K_c.K_d \quad (I.10)$$

Avec :

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

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

K_{ne} , k_r , k_c : idem matériaux traités au bitume.

➤ Matériaux non traités (MNT) :

Il ya aucun calcul spécifique des contraintes admissibles n'est réalisé pour ces matériaux. Il est essentiel de choisir des matériaux résistants à l'orniérage afin de garantir la durabilité de la chaussée. Son Sol porteur : Il doit présenter une déformabilité limitée pour éviter les tassements excessifs et assurer une stabilité suffisante. L'usage de MNT nécessite une analyse rigoureuse des propriétés géotechniques pour assurer une bonne tenue mécanique et une longue durée de vie des chaussées.

2- Vérification en fatigue des structures est de la déformation du sol support

La déformation verticale ϵ_z calculée par le modèle Alize III doit être limitée à une valeur acceptable, qui résulte de la relation empirique déduite de la recherche statistique le comportement des chaussées algériennes est déterminé par la formule suivante

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

$$\varepsilon(z, \text{adm}) = 22 \times 10^{-3} \times (\text{TCEi})^{-0.235}$$

(I.11)

Matériaux non traités (MNT) :

Pour matériaux non traités, la seule inspection doit être effectuée sur le sol porteur est :

$$\varepsilon_z < \varepsilon(z, \text{adm})$$

(I.12)

➤ Matériaux traités au liant hydraulique (MTLH) :

Matériaux traités avec des liants hydrauliques (MTLH), dans ce cas, il faudra également vérifier si les contraintes et déformations calculées par Alize III sont inférieures aux contraintes et déformations admissibles calculées :

$$\sigma_t < \sigma(t, \text{adm}) \text{ et } \varepsilon_z < \varepsilon(z, \text{adm})$$

(I.13)

➤ Matériaux traités au bitume (MTB) :

Il faudra vérifier que ε_t et ε_z calculées à l'aide d'Alize III, sont inférieures aux valeurs admissibles calculées, c'est à dire respectivement à $\varepsilon_{t, \text{adm}}$ et $\varepsilon_{z, \text{adm}}$.

$$\varepsilon_t < \varepsilon_{t, \text{adm}} \text{ et } \varepsilon_z < \varepsilon_{z, \text{adm}}$$

(I.14)

Le dimensionnement des chaussées et l'étude de stabilité des talus sont liés dans l'ingénierie routière. La nature du sol influence la conception des chaussées, et un talus instable peut provoquer des déformations ou des affaissements. L'analyse de stabilité permet d'identifier les risques et de proposer des solutions de renforcement, dans ce contexte on fait une adaptation des structures est essentielle pour assurer la durabilité et la sécurité des infrastructures routières.

I.4 Étude de la stabilité d'un talus

Dans le cadre de la réalisation d'un projet routier, la phase de terrassement est une étape essentielle. Elle consiste à excaver des matériaux (déblais) ou à en déposer (remblais), ce qui conduit à la formation de pentes appelées talus. Ces derniers peuvent présenter des

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

déséquilibres dus à des mouvements de terrain, susceptibles de compromettre la stabilité de l'infrastructure.

Les mouvements de terrain désignent des déplacements relatifs d'un volume de sol, pouvant être d'origine naturelle ou anthropique. Parmi les facteurs déclencheurs figurent notamment le surcharge ponctuelle (souvent liée aux activités humaines), les séismes, les précipitations abondantes, ainsi que la présence de nappes phréatiques. Ces mouvements se manifestent principalement dans des terrains meubles, des sols saturés ou encore des massifs rocheux fracturés ou altérés.

On distingue généralement trois grandes catégories de mouvements de terrain : les affaissements et effondrements, les éboulements rocheux, les glissements de terrain.

Dans le cadre de notre étude, les terrains rencontrés en talus sont principalement meubles (déblais), ce qui oriente notre analyse vers le phénomène de glissements de terrain.

Les glissements représentent l'un des risques les plus fréquents en géotechnique. Ils peuvent être classés selon deux critères principaux : la profondeur de la surface de rupture et la vitesse moyenne du déplacement, qui est illustrés dans les tableaux suivants Tableau I.8 Tableau I.9.

Tableau I. 8: Surface de chaque type de glissement

Type de Glissement	Surface de Glissement
Superficiel	0-2m
Semi-profond	2-10m
Profond	10-30m
Très profond	>30m

Tableau I. 9: Vitesse de chaque type de glissement

Type de Glissement	Vitesse de Glissement
Substituabilité, très lent	0-2 cm/an
Peu actif, lent	2-10 cm/an
Actif ou lent avec phases rapides	> 10 cm/an

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

La méthode des éléments finis est une méthode numérique qui prend de plus en plus d'importance dans les calculs automatiques.

Certains logiciels très utilisés prennent base sur cette méthode (PLAXIS ; GEO5 ; GEOSTUDIO ; etc....)

Selon la nature des couches de sol rencontré sur le terrain, il est primordial de connaître les modes éventuels de rupture des sols.

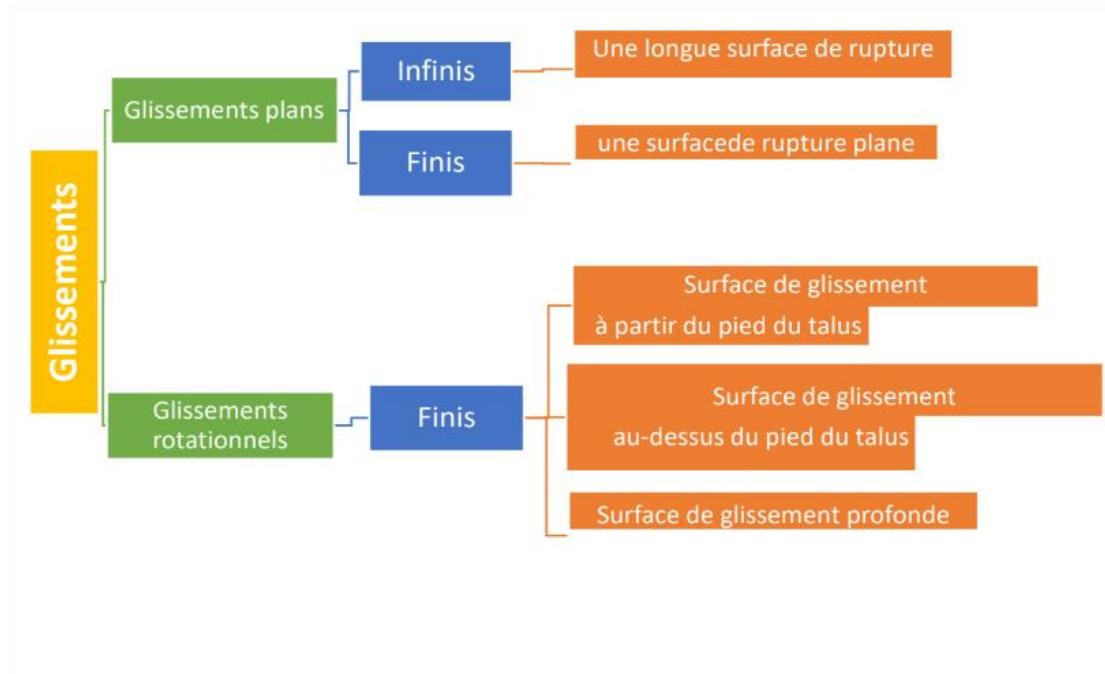


Figure I. 6 Schéma des types de glissements

I.4.1 Types de glissement :

Différents types de glissements peuvent affecter les pentes naturelles ou artificielles, selon la géométrie du terrain et la nature des sols :

Glissement plan : se produit le long d'un plan incliné, souvent en présence d'une couche de faible résistance.

Glissement rotationnel : la surface de rupture est circulaire. Il peut être :

Simple : rupture uniforme autour d'un centre.

Complexe : glissements emboîtés, initiés à la base de la pente.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Éboulement : chute brutale de masses rocheuses sous l'effet de la gravité.

Fluage : déplacement lent de sols saturés ou plastiques sous leur propre poids.

Solifluxion : déplacement lent lié au gel-dégel saisonnier des sols

I.4.2 Facteurs provoquant les glissements :

Les glissements de terrain sont dus à plusieurs types de facteurs :

Facteurs géométriques : modification de la hauteur et de l'inclinaison des talus (terrassements, excavations, etc.) influence la stabilité.

Facteurs mécaniques : variation des propriétés du sol (augmentation de la teneur en eau, diminution de la cohésion ou augmentation des pressions interstitielles). Les séismes peuvent aussi déclencher des glissements par liquéfaction ou force inertielle.

Facteurs climatiques et hydrauliques : précipitations, fonte des neiges ou montée de la nappe phréatique réduisent la résistance au cisaillement du sol, modélisée par la formule :

$$\tau = C + b' \operatorname{tg} \varphi = C + (b - U) \operatorname{tg} \varphi$$

(I.15)

τ : la résistance au cisaillement ;

C : la cohésion ;

Φ : angle de frottement ;

U : pression inertielle de l'eau.

I.4.3 Méthodes de calcul de stabilité des talus :

L'analyse de la stabilité des talus constitue une étape essentielle en ingénierie géotechnique, car leur déstabilisation peut entraîner des conséquences graves sur les ouvrages voisins. Les méthodes d'évaluation de la stabilité peuvent être regroupées en trois grandes catégories :

Les méthodes d'équilibre limite,

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Les méthodes d'analyse limite,

Les méthodes numériques, notamment la méthode des éléments finis.

Le coefficient de sécurité (FS) est un indicateur de la stabilité d'un talus. Il exprime le rapport entre la résistance disponible du sol et les sollicitations exercées :

Définition du coefficient de sécurité FS

Le coefficient de sécurité (FS) est un indicateur de la stabilité d'un talus. Il exprime le rapport entre la résistance disponible du sol et les sollicitations exercées :

$$F_s = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$

Avec :

- **F_s** : coefficient de sécurité ;
- **τ_{max}** : résistance au cisaillement du sol ;
- **τ** : Contraintes de cisaillement s'exerçant le long de la surface.

Tableau I. 10: Différents exemples de définition d'un facteur de sécurité.

Définition	Formule
Rapport de contraintes	$F_s = \tau_{max} / \tau$
Rapport de moments	$F_s = M_{résist} / M_{moteur}$
Rapport de cohésion non drainée	$F_s = C / C_{min}$
Rapport de grandeurs	H / H_{max}

i. Méthodes d'équilibre limite :

Très utilisées en pratique, ces méthodes consistent à diviser le sol en tranches et à établir l'équilibre entre les forces agissantes. Elles permettent d'estimer le facteur de sécurité pour des surfaces de rupture supposées.

Parmi les plus connues :

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Fellenius (1927)

Bishop simplifiée (1955)

Janbu (1954)

Spencer, Morgenstern et Price, méthode de perturbation, etc.

ii. Méthodes d'analyse limite :

Ces méthodes supposent que la rupture est atteinte simultanément dans toute la masse glissante. Elles permettent d'évaluer la surcharge critique ou la géométrie de rupture, principalement pour les surfaces planes. Développée notamment par Sokolovski (1960), cette approche est peu répandue car elle ne fournit pas de coefficient de sécurité explicite et nécessite un traitement numérique.

iii. Méthodes numériques – Méthode des Éléments Finis (MEF) :

La Méthode des Éléments Finis (MEF) repose sur la discrétisation du terrain en mailles reliées par des nœuds. Elle permet de modéliser précisément : les déformations, les contraintes internes, les interactions sol-structure. Elle s'applique aussi bien à des cas simples qu'à des problématiques complexes impliquant des sols hétérogènes, des effets hydrauliques, ou des chargements non linéaires.

Logiciels courants utilisant cette méthode : Plaxis, Geo5, GEOSTUDIO, CESAR-LCPC, etc.

En ingénierie géotechnique, la stabilité des talus est étroitement liée à celle des fondations des ouvrages d'art. Un sol instable peut compromettre l'intégrité de la structure. Des phénomènes d'érosion, d'infiltration ou de surcharge nécessitent des mesures de stabilisation spécifiques : drainage, renforcement par clouage ou ancrage, amélioration de sol.

La prise en compte conjointe du comportement du talus et de la fondation est donc indispensable pour assurer la durabilité des infrastructures implantées sur terrain en pente.

I.5 Le franchissement de zones d'obstacles

Lors de la conception d'une voie de communication routière, plusieurs obstacles peuvent apparaître, nécessitant la mise en place de solutions adaptées comme les remblais ou les ouvrages d'art tels que les ponts. Un remblai est un volume de matériaux variés assemblé en

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

couches successives, chacune devant être correctement compactée pour assurer une bonne stabilité. Cet ouvrage en terre peut servir de support aux infrastructures linéaires comme les routes ou aux culées de ponts, tout en garantissant une résistance aux sollicitations sans tassement ni rupture. Quant aux ponts, ils permettent de franchir des obstacles naturels, comme les oueds et les vallées, ou artificiels, tels que les routes et les lignes ferroviaires. Ils sont classés selon leur matériau de construction (béton armé, charpente métallique, mixte), leur géométrie (droit, courbe, biais) ou encore leur usage et l'obstacle à franchir. Un pont se compose de trois parties principales : la superstructure comprenant le tablier et la structure porteuse, la partie intermédiaire formée des piles et des culées, et enfin l'infrastructure regroupant les fondations, qui assurent la stabilité de l'ensemble et transmettent les charges au sol. Selon les caractéristiques du terrain, les fondations peuvent être superficielles, semi-profondes ou profondes afin de garantir la fiabilité et la durabilité de l'ouvrage.

I.5.1 Fondation et ouvrages d'art

Les fondations sont les structures essentielles qui assurent la stabilité d'un ouvrage d'art, comme les ponts, tunnels et viaducs, en transmettant ses charges au sol.

I.5.1.1 Ouvrage D'Art (Viaduc) :

Un viaduc est un type spécifique de pont qui est généralement utilisé pour franchir de larges vallées ou zones accidentées. Il se distingue par une série de travées (sections de pont) reposant sur des piliers ou des piles, permettant ainsi le passage d'une route ou d'une voie ferrée à une hauteur considérable. Contrairement à un pont classique qui peut être court, un viaduc est souvent long et conçu pour assurer une transition fluide sur des terrains difficiles.



Figure I. 7 Viaduc traversant un barrage

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Un pont comporte généralement quatre catégories d'éléments, figure .1.3 :

Éléments principaux d'un pont :

- les appuis.
- le tablier.
- les appareils d'appuis.
- les fondations.

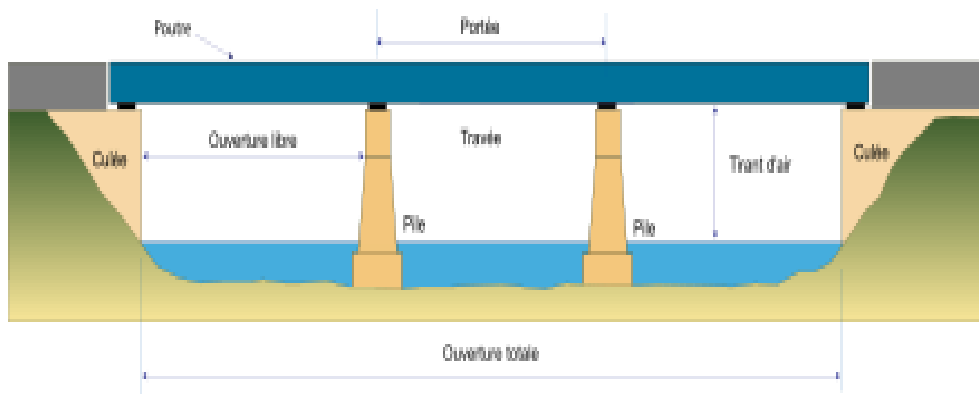


Figure I. 8 : Schéma d'un Pont (vue longitudinale)

1. Appuis :

Ils soutiennent le travail au niveau des fondations. Il existe deux types de supports : les culées (supports extrêmes) et les piles (supports intermédiaires). Le support peut être constitué d'une ou plusieurs voiles ou par des colonnes surmontées par un chevêtre.

2. Tablier :

C'est l'élément de superstructure où se situent les voies de circulation. Il est constitué du revêtement (la couverture) et de la partie du cadre horizontal de base qui se trouve sous les rails porteurs. Le tablier comporte essentiellement des dalles. De plus, il peut comprendre des poutres primaires et des éléments secondaires (entretoises ou, pour les ponts plus anciens, poutres longitudinales).

Le tablier du pont comprend également tous les équipements nécessaires au fonctionnement et à la pérennité du pont. Joints de chaussée, systèmes d'étanchéité, couches d'usure, trottoirs, corniches, systèmes de drainage, panneaux de transition, etc.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

3. Les appareils d'appui :

Le tablier est placé sur les supports par des dispositifs de support qui permettent au pont de se déplacer horizontalement et verticalement sous charge. Les roulements les plus couramment utilisés aujourd'hui sont constitués d'élastomères laminés.

4. Fondation :

C'est un système au moyen duquel l'ouvrage repose sur le sol, et lui transmet les charges qu'il reçoit. Suivant la nature du sol, les fondations sont superficielles (semelles isolées ou filantes) ou semi-profond ou profondes (pieux ou barrettes).

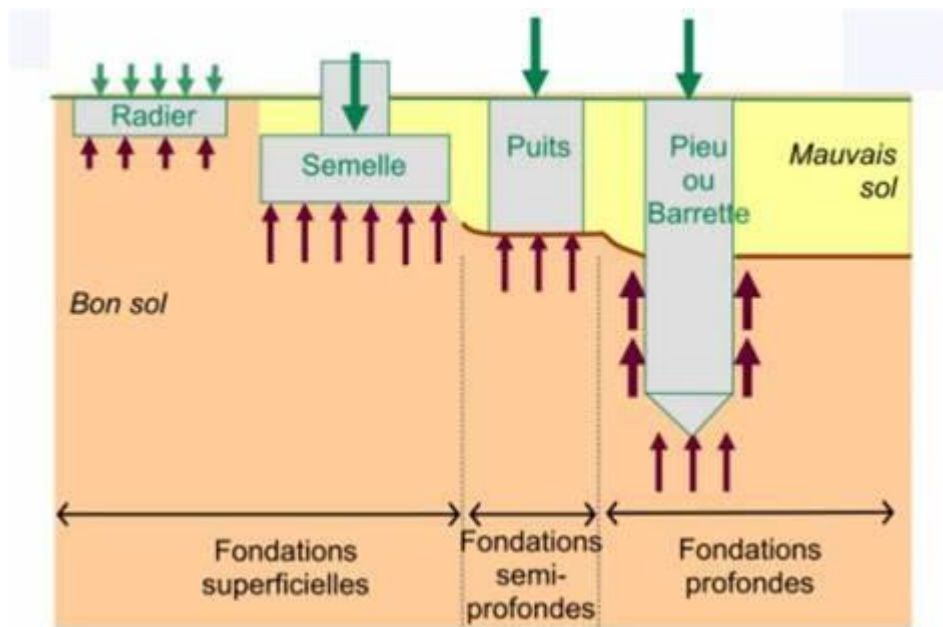


Figure I. 9 Type des fondations

→ Fondation superficiel :

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 semi-profonde :

Une fondation semi-profonde est un ouvrage, qui permet de transmettre les charges d'une structure vers le sol, à une profondeur d'environ 3 à 6 m. ce type de fondation est utilisé lorsque les fondations superficielles ne peuvent être réalisées et les fondations profondes ne sont pas nécessaires.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

→ Fondation profonde :

Ce type de fondation est utilisé lorsque la structure transfère de lourdes charges au sol ou lorsque le sol présente de mauvaises performances. Il est conçu pour transmettre une force sur des profondeurs considérables. Ces fondations comprennent des pieux, des caissons et parfois des parois moulées souterraines (barrettes). Nous présenterons ensuite en détail les fondations sur pieux.

Pieu : est une colonne élancée, généralement en béton armé, en acier ou en bois, installée au sol et formée en groupe, recouverte par une plaque de base ou une plaque de liaison, assurant la fonction de dispersion des efforts sur le pieu et ne participant pas à la reprise des charges de travail. Les pieux sont classés selon le matériau dont ils sont constitués ou selon leur mode d'installation dans le sol. Il existe généralement deux méthodes d'installation : Inhibé ou non inhibé par le sol.

I.5.2 Calcul de la capacité portante des fondations profondes

Il existe deux méthodes pour déterminer la capacité portante des fondations : une méthode basée sur les résultats d'essais en laboratoire, c'est-à-dire basée sur la cohésion « C » et l'angle de frottement « ϕ » (méthode de la théorie de la plasticité) .

La particularité la plus notable de la méthode piézométrique LCPC est qu'elle est applicable à tous les sols et à tous les types de pieux. La méthode piézométrique prend en compte l'hétérogénéité du massif de sol en s'appuyant sur la notion de sol homogène équivalent, caractérisé par une pression ultime équivalente et entourant des pieux de tôles équivalentes.

Sert à classer les fondations comme suit :

- Fondation profonde pour $D/B > 10$
- Fondations semi- profondes pour $4 < D/B < 10$
- Fondations superficielles pour $D/B < 4$

La capacité portante sous une fondation profonde soumise à une charge verticale est donné par :

$$Ql = K_p \cdot Pl$$

Avec :

K_p : facteur de portance en fonction de la nature du sol et du type de pieu.

CHAPITRE I : Généralités sur les routes

Pl : pression limite .

Les étapes de calcul de la capacité portante liées à cette méthode sont données dans le chapitre 4

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 :

$$S = S_i + S_c + S_f \quad (I.18)$$

Avec :

Le tassement en tête du pieu est donné en général par :

S : tassement de la fondation

S_i : tassement instantané

S_c : tassement causé par une consolidation primaire

S_f : tassement causé par une consolidation secondaire ou fluage.

Tassement des pieux

Il existe de nombreuses méthodes pour calculer le tassement des pieux, il peut être déterminé expérimentalement sur la base d'un essai de charge statique, et il peut également être évalué par d'autres méthodes telles que : méthodes empiriques, théorie de l'élasticité, méthode de la théorie du transfert de charge ainsi que la méthode numérique. Dans ce qui suit, nous nous concentrerons sur la méthode de la théorie de l'élasticité.

Cette méthode suppose que le système pieu / sol a des propriétés élastiques isotropes. Les approches les plus couramment utilisées sont celles de Poulos (1968), Banerjee et Butterfield (1978) et Randolph (1978). Ces méthodes sont basées sur la solution fondamentale de Mindlin (1936) sur le problème de la force verticale entrant dans une masse élastique semi-infinie.

$$V_0 = \frac{Q \cdot I_p}{E(D) \cdot B}$$

Avec :

V_0 : tassement en tête du pieu.

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

I_v : facteur de tassement.

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

I.6 Conclusion

Ce chapitre introductif nous a permis d'appréhender les principes fondamentaux de la conception d'un projet routier, en mettant en lumière les différentes étapes clés de sa réalisation. La conception d'une infrastructure routière repose sur une approche rigoureuse et méthodique, essentielle pour assurer sa durabilité, sa sécurité et sa conformité aux normes en vigueur.

L'étude géotechnique du sol constitue une première étape cruciale, permettant d'évaluer la capacité portante du terrain et d'anticiper les déformations potentielles. Sur cette base, le choix des matériaux et le dimensionnement de la chaussée, selon des méthodes telles que le CTTP ou le CBR, assurent une résistance adaptée aux contraintes climatiques et au trafic routier.

En parallèle, l'analyse de la stabilité des talus ainsi que des fondations des ouvrages d'art permet de prévenir les risques de glissements et de tassements différentiels. Cette démarche globale et anticipative garantit la fiabilité, la sécurité et la pérennité des infrastructures tout au long de leur cycle de vie, tout en répondant aux exigences environnementales.

CHAPITRE II : Situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité

Chapitre II : situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité

II.1 Introduction

Avant de commencer la construction d'une route, il est crucial de déterminer la géomorphologie, l'hydrogéologie, l'activité sismique, les caractéristiques géologiques et les attributs géotechniques des sols présents sur le lieu. Ce chapitre traite la géologie, la géomorphologie, l'hydrogéologie et des activités sismiques de la zone traversée par le tronçon routier étudié dans ce projet.

II.2 Situation géographique

Ain Temouchent est une wilaya située dans le nord-ouest de l'Algérie, à environ 520 kilomètres de la capitale Alger. S'étendant sur une superficie de 2 376,89 km², elle occupe une position géographique stratégique et dispose d'un accès direct à la mer Méditerranée qui borde sa partie septentrionale. La wilaya est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la wilaya d'Oran, à l'ouest par la wilaya de Tlemcen et au sud par la wilaya de Sidi Bel Abbés. Le projet concerne l'étude d'un tronçon de 6,33km, du PK 13+314,8 au PK 19+650 de la liaison autoroutière reliant l'Autoroute Est-Ouest au nouveau pôle industriel à BENI SAF, (Figure II.1)



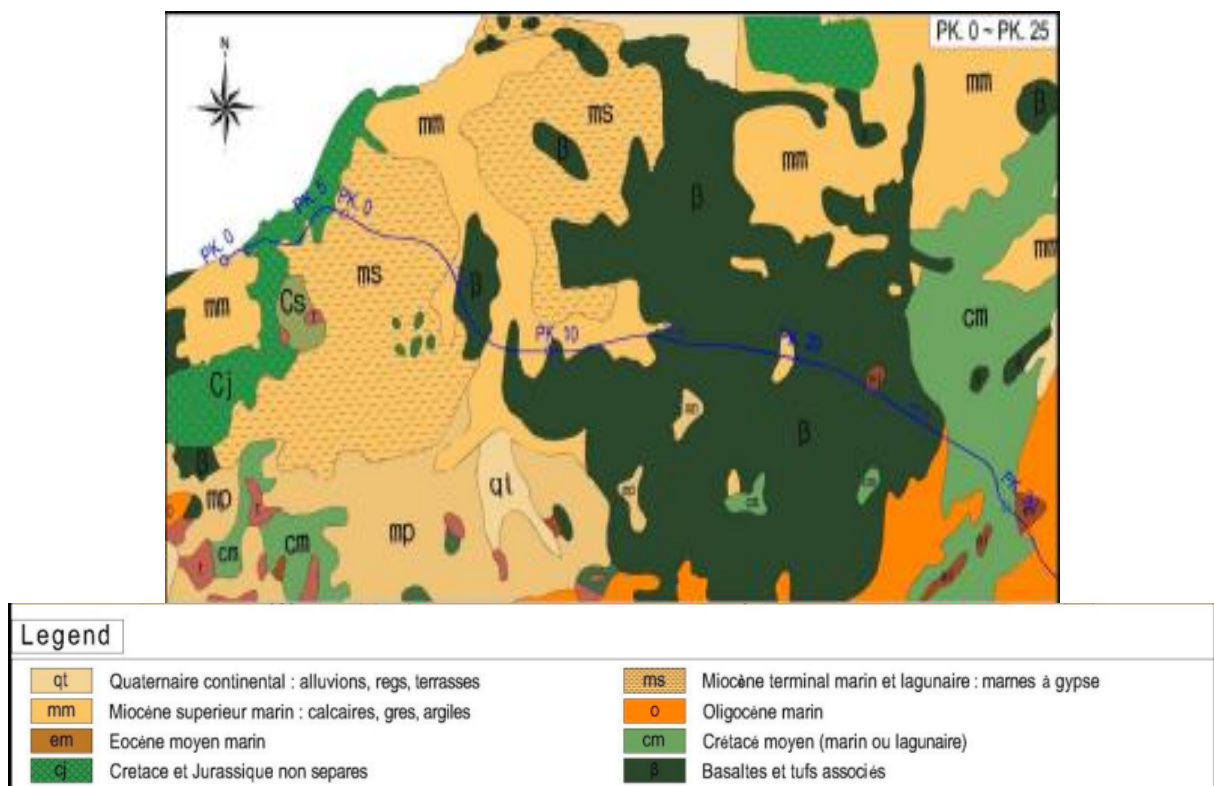
Figure II 1: Carte de situation géographique de projet

Chapitre II : situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité

II.3 La géologie

La zone d'étude est constituée de lithologie datant principalement du Cénozoïque et partiellement du Mésozoïque. Ce tronçon est représenté dans la carte géologique au 1:500 000 tant qu'unité volcanique de l'époque Plio-Quaternaire, constituée de basaltes et de tufs volcaniques ou volcano-sédimentaires, que l'on peut observer en surimposition dans la zone d'El Aricha. Le Miocène supérieur post-nappes se compose principalement de dépôts argilo-gréseux.

Cette unité englobe les terrains telliens allochtone, correspondant à l'unité Sénonienne, le complexe chaotique aux éléments triasiques, l'unité Chouala de terrains Crétacés et enfin, l'unité Oligo-Miocène. Le socle ou substrat autochtone Jurassique qui se révèle parfois à environ 5 km au sud de la cité de Béni-Saf. Il s'agit des unités de Skouna et d'El Haouariya. Les expositions de terrains plus jeunes : grès du Pliocène inférieur, glais anciennement encroûtés du Quaternaire et déblais ou dépôts alluviaux de la rivière Tafna, (Figure II.2)



II.4. Géomorphologie

La wilaya d'Ain-Temouchent, qui se situe dans le nord-ouest de l'Algérie, est marquée par différentes particularités géomorphologiques comme une plaine à pente douce, des zones montagneuses vallonnées, des plaines agricoles et des collines douces qui sont le résultat de

Chapitre II : situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité

son emplacement topographique, de la nature de son climat méditerranéen et de sa formation géologique. La géomorphologie du tronçon étudié montre une géomorphologie caractérisée par des collines douces (PK 4 ~ PK 22).

II.5. Climat

Le climat de wilaya d'Ain-Temouchent est de type méditerranéen, caractérisé par un été sec et chaud et un hiver humide pluvieux

II.5.1. Température

La zone d'étude est caractérisée par une température moyenne annuelle de 17°C. La répartition des températures mensuelles est donnée dans le tableau II.1 et est présentée dans la Figure II.3.

Tableau II. 1: Répartition mensuelle de la température (c°)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout
T(c°)	22,04	18,24	13,17	10,35	9,27	9,96	12,72	14,3	18,64	23,27	26,27	25,83

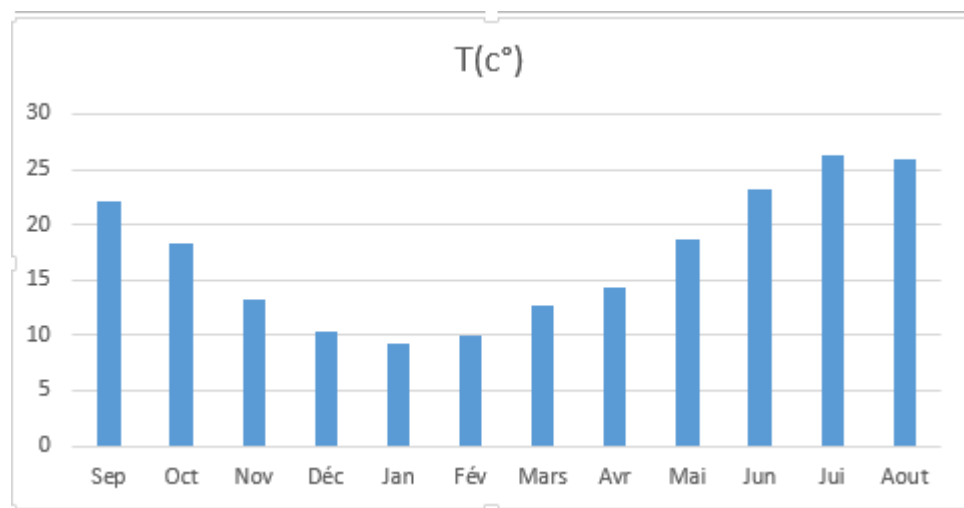


Figure II 3 : Présentation de répartition mensuelle de la température (°c)

II.5.2 Pluviométrie

En se basant sur des données fournies par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H., 1989), une pluviométrie annuelle moyenne de 536 mm est relevée à la station d'Ain-Temouchent. La distribution des pluies est très contrastée entre les saisons, avec une concentration nettement marquée pendant la période humide qui s'étend de décembre à mars et représentant plus de 50 % du cumul annuel des pluies, et tout particulièrement durant les

Chapitre II : situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité

mois d'hiver que sont principalement janvier et février. Ces deux mois d'hiver constituent en effet les mois les plus pluvieux, parce qu'étant caractérisés par le climat méditerranéen, ils ne font pas dépasser 5 % de l'ensemble annuel des pluies de la période sèche qui s'étend de juin à août, confirmant ainsi le caractère semi-aride à subhumide de la région et ce climat méditerranéen tout à fait caractéristique succédant à une saison humide plutôt qu'au schéma froid sec de l'été.

II.5.3 Evaporation

La distribution mensuelle de l'évaporation dans la zone d'étude est donnée dans le tableau II.2 et est présentée dans le tableau la Figure II.4

Tableau II 2: Répartition mensuelle de l'évaporation en (mm)

MOIS	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	l'année
EV (mm)	146	98	88	90	88	120	130	204,7	280,7	312,3	292	187	2036,7
EV (%)	9,02	7,12	4,87	4,32	4,53	4,38	6,03	7,14	9,88	13,55	15,07	14,09	100

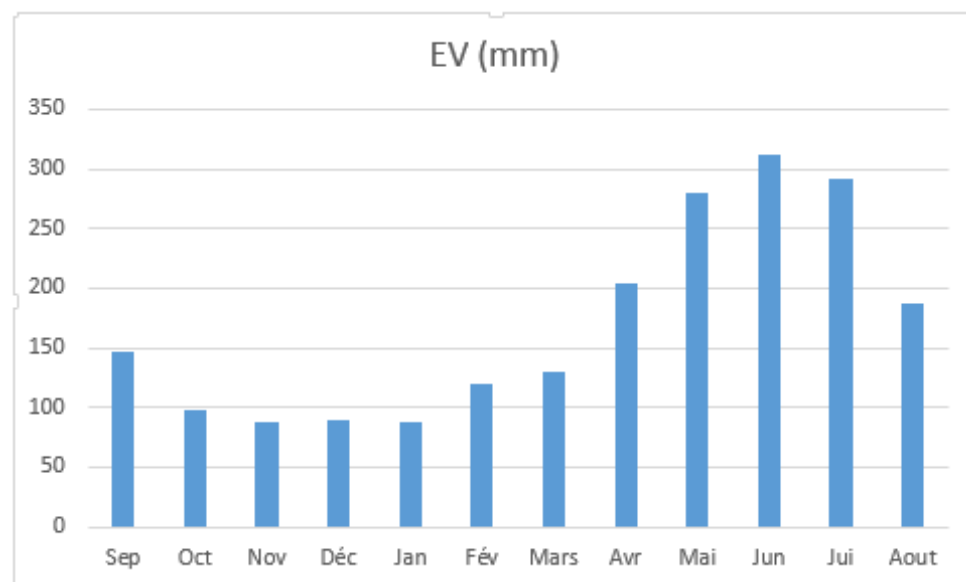


Figure II 4: Présentation de Répartition mensuelle de l'évaporation en (mm)

II.6 Hydrogéologie

L'étude hydrogéologique représente une dimension fondamentale et complémentaire à l'analyse géologique d'une région. Elle est essentielle pour approfondir la compréhension de l'origine des eaux souterraines, de leur distribution et des mécanismes de leur déplacement dans le sous-sol. Le tronçon autoroutier qui connecte l'Autoroute Est-Ouest au nouveau centre industriel à BENI SAF passe par une série d'oueds

- **Les eaux de surface :** On compte 11 infrastructures dédiées aux ressources d'eau superficielles, composées de 08 petits barrages et de 03 retenues collinaires.
- **Les ressources souterraines :** On compte 404 forages, 800 puits et 23 sources parmi les ressources souterraines.
- **Les eaux non conventionnelles :** Les ressources non conventionnelles sont organisées en :
 - Six (06) lagunes : Emir AEK, A. Larbaa, Sidi Safi, El Amria, Hassi El Ghella et El Maleh, ayant une capacité globale de 9 215 m³/j.
 - Trois (03) stations de traitement des eaux usées : Ain Temouchent, Ain Tolba et Bouzedjar, dotées d'une capacité de 11 354 m³/j.
 - Station de dessalement de Chatt el Hilal qui possède une capacité de 65 217 m³/j.



Le niveau piézométrique varie en fonction des saisons, de la distance par rapport au point d'origine, des phases de sécheresse ou d'inondation, du niveau piézométrique des environnements voisins ainsi que des potentielles fuites provenant d'autres sites de construction.

57

Chapitre II : situation de projet, géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismicité

II.7 Sismicité

Selon le RPA 2024(règles parasismiques algérienne) la wilaya d'Ain-Temouchent et classe donne la zone V correspond une sismicité élevée avec un coefficient d'accélération 0,25

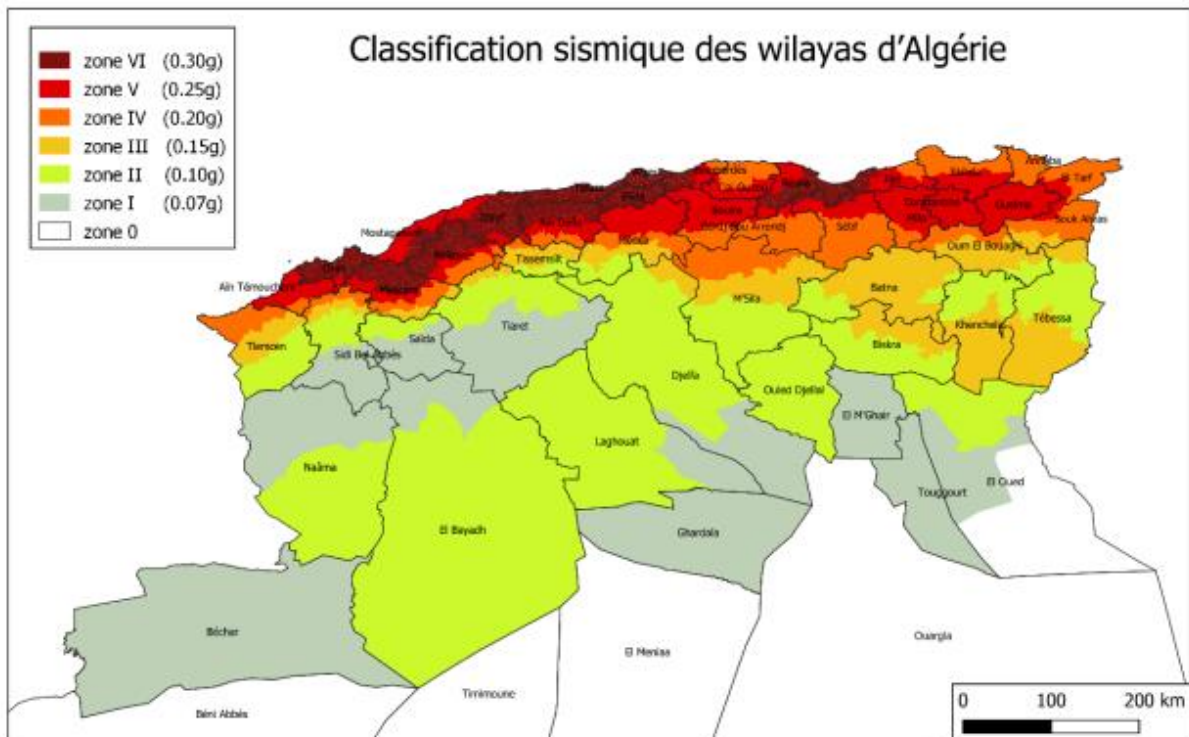


Figure II 6 : Classification sismique des wilayas d'Algérie.

II.8 Conclusion

D'après l'analyse des données géologie, géomorphologie, hydrogéologie et sismique, il en ressort que :

- La géomorphologie du tronçon étudié de la liaison autoroutière montre des collines douces.
- région d'Ain-Temouchent se caractérise par un climat de type méditerranéen, caractérisé par un hiver humide pluvieux et un été sec et chaud.
- L'étude hydrogéologique montre que le niveau piézométrique n'a pas été détecté dans la zone d'étude.
- La zone d'étude est classé en zone V correspond une sismicité élevée, avec un coefficient d'accélération égale à $A=0.25$.

CHAPITRE III : Synthèse géotechnique

Chapitre III : synthèse géotechnique

III.1 Introduction

Ce chapitre sera traité des données collectées pour identifier les caractéristiques et la classification des sols rencontrés le long du tracé et déterminer les propriétés physiques et mécaniques lors de la campagne de reconnaissance géotechnique in situ et en laboratoire.

III.2. Campagne de reconnaissance in situ

Dans le cadre de l'étude géotechnique, une campagne de reconnaissance in situ a été réalisée par CTTP afin d'identifier les sols et réalisée les essais en laboratoire le long du tracé routier et à l'emplacement du futur ouvrage d'art. Cette campagne a permis la réalisation sept sondages carottés (7), un puits de reconnaissance(1) et sept essais de pénétration au carottier (7)

III.2.1 Puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance réalisés à 3 m de profondeur dans la zone étudiée, les sols rencontrés sont donnés dans le tableau III.2.ci dessous.

Tableau III 1: résultante de puits de reconnaissance

No	P.K.	Prof. (m)	Prof. (m)
TP-05	17+912	0,0~0,4 0,4~3,0	· Terre végétale · Gravier sableux

III.2.2 Sondages carottés

Afin de déterminer la lithologie détaillée du sol, des sondages carottés ont été réalisés. Le secteur du tronçon routier a été couvert par sept sondages carottés (BH-04, BH-05, BB-27, BB-28, BB-29, BB-30, BB-31). Des échantillons de carottes de terrains recouvertes par les sondages, sont représentés dans la figure III.1 et III.2. La profondeur de prélèvement ainsi que la description lithologique sont données dans le tableau III.1

Chapitre III : synthèse géotechnique



Figure III 1: Sondage carottés BH-04



Figure III. 2: sondage carottés BH-05

Le tableau III.1 illustre les épaisseurs et la nature des couches.

Chapitre III : synthèse géotechnique

Tableau III 2: résultantes des sondages carottés

NO	Pk	Prof. (m)	Description
BH-04	15+113	0,0~0,9 0,9~2,6 2,6~8,6 8,6~10,0	· Argiles limoneuses · Argiles limoneuses · Limons argileux · Sable, Limon graveleux
BH-05	17+993	0,0~0,3 0,3~3,5 3,5~5,2 5,2~6,3 6,3~10,5 10,5~21,0	· Limons argileux · Limons calcaires sableux · Sables limoneux · Argiles limoneuses · Limon sableux · Sables limono-graveleux
BB-27	13+440	0,0~0,6 0,6~2,5 2,5~15,0	· Limons sableux · Limons sableux · Sables limoneux
BB-28	13+399	0,0~0,5 0,5~13,0 13,0~15,0	· Argiles limoneuses · Sables limono-graveleux · Sables graveleux
BB-29	18+912	0,0~0,5 0,5~3,2 3,2~6,8 6,8~14,0 14,0~15,0	· Argile limono-sableuse · Limons argilo-sableux · Graviers limono-sableux · Conglomérat · Limons sableux
BB-30	19+071	0,0~1,3 1,3~3,0 3,0~7,5 7,5~9,7 9,7~10,7 10,7~12,2 12,2~17,2 17,2~18,0	· Argile limono-graveleuse · Limon argileux · Limons argilo-graveleux · Sables limoneux · Graviers sableux · Limon · Conglomérat · Limon
BB-31	19+650	0,0~0,5 0,5~3,3 3,3~12,8 12,8~14,0 14,0~14,7 14,7~17,0	· Argile limono-sableuse · Argiles limoneuses · Limons argilo-sableux · Sables limono-graveleux · Conglomérat · Basaltes

D'après les résultats présents dans le tableau III.1 des sondages carottés (BH-04, BH-05, BB-27, BB-28, BB-29, BB-30, BB-31), les sols retrouvés le long du tracé routier sont principalement des formations meubles de type argiles, limons et des sables, intercalant parfois de formations rocheuses tel que des conglomérats et des basaltes

Chapitre III : synthèse géotechnique

III.2.3 Niveaux piézométriques

Le niveau piézométrique diffère selon les saisons, selon la distance du point de source, selon les périodes de sécheresse ou d'inondation, selon le niveau piézométrique des milieux de proximité et ainsi que les fuites envisageables des autres sites de constructions. La détection du niveau piézométrique au niveau des différents sondages exécutés sur site est donnée dans le tableau III.3.

Tableau III 3: les niveaux piézométriques.

NO	P.K	X	Y	Elévation (m)	Niveau de La nappe (m)
BH-04	15+113	664514	3905460	290,5	Non détecté
BB-28	13+399	662670	3906471	238,5	Non détecté
BH-05	17+992	667383	3905246	333,4	Non détecté
BB-29	18+912	668289	3905098	243,5	Non détecté
BB-30	19+071	668445	3905065	251,5	Non détecté
BB-31	9+650	669015	3904960	281,0	Non détecté

Le niveau piézométrique n'a pas été détecté dans le tronçon routier de la zone d'études et celle des forages.

III.2.4 Essais de pénétration au carottier (S.P.T.)

Sept essais de pénétration standard (BB-27, BB-28, BH-04, BH-05, BB-29, BB-30 et BB-31) sont effectués le long du tracé routier. Les résultats présentés dans le tableau III.4 :

Tableau III 4: résultat de l'essai de pénétration au carottier (SPT)

Sondage	PK	Prof. (m)	Coups à 15cm N0	Nombre de coups			Etat de compacité relative
				N ₁	N ₂	N ₁ +N ₂	
BB-27	13+440	3,0	3	4	7	11	Compact
		6,0	16	22	28	50	Très dense
		9,0	34	>50	-	>50	Très dense
		12,0	>50	-	-	-	-
		15,0	>50	-	-	-	-

Chapitre III : synthèse géotechnique

BB-28	13+399	3,0	8	9	15	24	Compact Dense Très dense - -
		6,0	16	17	19	36	
		9,0	19	23	27	50	
		12,0	>50	-	-	-	
		15,0	>50	-	-	-	
BH-04	15+113	3,0	13	20	12	22	Compact
		7,0	4	7	11	18	Compact
		10,0	15	32	18	>50	Très dense
BH-05	17+992	3,0	10	12	12	24	Compact
		6,0	8	14	24	38	Dense
		10,0	22	26	24	>50	Très dense
		13,0	22	>50	-	>50	Très dense
		16,0	>50	-	-	-	-
		21,0	>50	-	-	-	-
BB-29	18+912	3,0	5	7	10	17	Compact
		6,0	12	18	19	37	Dense
		15,0	21	26	24	>50	Très dense
BB-30	19+071	3,0	12	15	19	34	Compact
		6,0	7	12	15	27	Compact
		9,0	15	16	20	36	dense
		12,0	>50	-	-	-	-
		18,0	21	26	24	>50	Très dense
BB-31	19+650	3,0	3	4	5	9	Lâche
		6,0	8	12	15	27	Compact
		9,0	10	14	12	26	Compact
		12,0	16	30	20	>50	Très dense

Les sondages réalisés sur ces points montrent une grande variabilité des sols, avec des valeurs SPT (N) allant de 3 à plus de 50, traduisant des états de compacité allant de «lâche » à « très dense ».

De 0 à 6 m, les sols sont majoritairement compacts à denses (N = 7 à 36).

Au-delà de 6 m, ils deviennent généralement très denses (N>50), sauf en quelques zones localisées.

Un point critique a été identifié au niveau du sondage BB-31 (PK 19+650, à 3 m de profondeur) avec un sol lâche (N = 9).

Les sols denses à très denses sont favorables aux fondations superficielles. En revanche, les zones à sols lâches – notamment à BB-31 – doivent faire l’objet de traitements spécifiques (compactage ou substitution). L’adaptation des solutions de fondation selon la compacité des

Chapitre III : synthèse géotechnique

sols, ainsi que la vérification des tassements différentiels, est indispensable pour garantir la stabilité de l'ouvrage. (Voir Annexe tableau A.1)

III.3 Essai de laboratoire

Les essais de laboratoire sur échantillons prélevés par sondage carotte et puits ont été effectués en vue d'une détermination des caractéristiques physiques (granulométrie, teneur en eau) et mécaniques (cohésion, angle de frottement) des sols.

III.3.1 Essai physiques

Les essais physiques réalisés sur les échantillons obtenus à partir des sondages carottés et des puits de reconnaissance sont : la granulométrie et les limites d'Atterberg

III.3.1.1 La granulométrie

Les résultats obtenus à partir de l'analyse granulométrique effectués sur les échantillons Prélévés (BH-04, BH-05, TO-05, BB-27, BB-28, BB-29, BB-30, BB-31) sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III 5: La granulométrie

No	Prof (m)	D _{max} (mm)	2mm	0,08mm	0,002mm
BH-04	7,0	6,3	98,44	96,04	19,19
BH-05	10,0	16	62,96	35,68	7,36
TP-05	2,5~3,0	63	39,57	0,99	0,01
BB-27	9,0	25	48,20	26,26	0,11
BB-28	6,0	6,3	88,40	43,50	0,18
BB-29	1,25~1,50	8	92	68,56	1,27
BB-30	2,50~2,90	6,3	93,52	77,44	5,66
BB-31	6,0	6,3	95,12	65,76	8,32

Chapitre III : synthèse géotechnique

D'après l'analyse des résultats d'analyse granulométrique des sondages carottés en peut avoir

- Le pourcentage des passants à 80 μm des sondages (BH-04, BB-29, BB-30, BB-31) varie entre (96,04~ 68,56~ 77,44~ 65,76)% est supérieur à 35% classant le sol comme étant sol fin. (Voir Annexe, figure A.2).
- Le pourcentage des passants à 80 μm des sondages (BH-05, BB-27) varie entre (35,68 et 26,26)% valeur qui est inférieur et égale 35% classant le sol comme sol sableux et graveleux avec fines. (Voir Annexe, figure A.2).
- Le pourcentage des passants à 80 μm de puit TP-05 est 0,99% valeur qui inférieur à 12% donc le sol classant comme sol comportant des gros éléments avec fines. (Voir Annexe, figure A.2).

III.3.1.2 Limite d'artterbage :

Les résultats obtenus de cet essai effectué sur les échantillons prélevés des sondages carottés BB-29et BB-30 sont représentés dans le tableau ci-contre :

Tableau III 6: résultat de Limite d'artterbage

NO	Profondeur (m)	I _p (%)	W _I (%)	W _p (%)
BB-29	1,25~1,50	9,73	51,95	42,22
BB-30	2,50~2,90	21,28	52,95	31,67

Selon la norme NFP94-011 et les résultats des sondages carottés (BB-29) montrent un indice de plasticité I_p à la profondeur (1.25-1.5m) de 9,73% valeur qui est inférieur à 12% classant le sol comme étant non plastique. Pour le sondage carotté BB-30 à profondeur (2,50 à 2,90 m) l'indice plasticité I_p est égale 21,28% valeur qui est supérieur à 12% classant le sol comme étant plastique. (Voir Annexe A, tableau A.2)

III.3.2 Les essais mécaniques

Les essais mécaniques réalisés sur les échantillons obtenus à partir des sondages carottés et des puits de reconnaissance sont :

III.3.2.1 Essai de cisaillement à la boîte

Les essais de cisaillement direct à la boîte, ont été effectués sur les échantillons en vue d'identifier les caractéristiques mécaniques des sols (la cohésion et l'angle de frottement). Les résultats des essais sont donnés dans le tableau III.7 ci- dessous :

Chapitre III : synthèse géotechnique

Tableau III 7: Les résultats des essais de cisaillement

NO	Prof (m)	Cisaillement	
		C (KPa)	$\phi(^{\circ})$
BB-27	14,3~14,5	40	25,1
BB-28	12,0~12,15	18	27,3

Le sondage BB-27, à une profondeur de 14,3 à 14,5 m, présente une cohésion élevée ($C = 40$ kPa) et un angle de frottement modéré ($\phi = 25,1^{\circ}$). Ce comportement indique un sol cohésif de bonne tenue, typique d'un matériau argileux ou limoneux consolidé.

Le sondage BB-28, à une profondeur de 12,0 à 12,15 m, montre une cohésion plus faible ($C = 18$ kPa) mais un angle de frottement plus élevé ($\phi = 27,3^{\circ}$). Ce profil suggère un sol à comportement intermédiaire, probablement un limon sableux ou un sol légèrement plastifié, présentant à la fois un frottement et une certaine cohésion.

Ces résultats soulignent la variabilité des caractéristiques mécaniques selon la profondeur et la nature lithologique des terrains traversés.

III.3.2.2 Résistance à la compression simple

Des essais de compression simple ont été réalisés sur deux échantillons prélevés par carottage aux sondages BB-27 et BB-30, afin d'évaluer leur résistance mécanique en compression uniaxiale. Les résultats sont synthétisés dans le tableau III.8.

Tableau III 8: Les résultats à la compression simple

NO	Prof (m)	Rc (bar)	Remarque
BB-27	11,6~11,8	37,70	Craie
BB-30	12,9~13,3	117,78	Conglomérat

Selon l'AFTES (association française des travaux en souterrain) et les résultats de L'essai à la compression simple, les roches trouvées sont des roches sédimentaires :

- La roche représentée dans le sondage BB-27 est identifiée comme étant une craie très faible à la résistance à la compression.
- La roche représentée dans le sondage BB-30 est identifiée comme étant un conglomérat de faible résistance à la compression.

Chapitre III : synthèse géotechnique

III.4 Classifications des sols des gites selon le guide technique de terrassement

Routier (GTR)

Les matériaux susceptibles d'être utilisés en remblai et couche de forme sont classés selon le Guide des Terrassements Routiers (GTR – SETRA/LCPC-Fascicule I et II Sept.1992).

L'utilisation d'un matériau en couche de chaussée nécessite la connaissance de ses propriétés physiques et géotechniques. La classification peut se faire selon différentes approches ;

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 prélevés des sondages carottés et puits

1/Paramètre de nature premier niveau de classification :

On a profondeur (2.5-3.0) m

$D_{max} \geq 50\text{mm}$ $\longrightarrow$ $63\text{ mm} \geq 50\text{mm}$

Avec $39,57 < 2\text{ mm } \%$

Tamisé à 80 $< 35\%$ $\longrightarrow$ $0,99 < 35\%$

2/Classe :

Classe C sols comportant des fins et des gros éléments cette classe contient deux sous classes c_1 , c_2 qui associer la fonction 0-50mm aux classes.

3/ Paramètre de nature deuxième niveau de classification :

$0,1 \leq VBS < 0,6$ $\longrightarrow$ $VBS = 0,34$

Matériaux légèrement argileux, avec une sensibilité modérée à l'eau

4/Sous classe fonction de la nature : C_1B_4th

Ces sols sont utilisables après leur reclassement en C_1B_4th à la suite de la diminution de leur teneur en eau. Les sols B_4h sont plus ou moins sensibles à la teneur en eau.

1/Paramètre de nature premier niveau de classification :

On a profondeur (18.0) m

$D_{max} \leq 50\text{mm}$ $\longrightarrow$ $16\text{ mm} \leq 50\text{mm}$

Avec $78,08 < 2\text{ mm } \%$

Tamisé à 80 $\mu\text{m} > 35\%$ $\longrightarrow$ $75,6 > 35\%$

Alors le sol classe A un sol fin

$12 \leq IP < 25$ $\longrightarrow$ $12 \leq 24,03 < 25$

Sols plastiques, nécessitant une attention particulière pour leur mise en œuvre

Sous classe fonction de la nature : A_2ts

Ces sols sont présents sous forme d'argile, de limon, de sable argileux.

Chapitre III : synthèse géotechnique

Tableau III 9: Les résultats à la compression simple

NO	Profondeur (m)	Classification G.T.R	VBS	Dmax	2mm	80µm	WL%	IP%
TP-05	2.5-3.0	C1B4th	0.34	63	39.57	0.99	-	-
BH-03	18.0	A2ts	-	16	78.08	75.6	67.43	24.03

Propriétés des matériaux de gite :

Les travaux de terrassement sont des opérations nécessaires à la réalisation d'ouvrages tels que les remblais, les déblais, le décapage de la terre végétale, ainsi que la mise en place du matériel adapté. Ils visent à adapter la topographie du site selon les plans et spécifications techniques du projet. Le tronçon étudié dans notre projet traverse principalement des zones plates, mais certaines contraintes topographiques et géologiques imposent des travaux importants dans des terrains accidentés ou meubles. Les deux opérations principales sont :

Le déblai : consistant à retirer et transporter les terres excavées ;

Le remblai : implique d'apporter des matériaux conformes aux normes du projet, prélevés sur site ou depuis des bancs d'emprunt extérieurs.

Sur le tronçon concerné par l'étude, il y a un déblai de hauteur 21,6 m (PK 17+450 au PK 18+800) sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III 10: Hauteurs de déblais supérieurs à 10m

Zone de Déblai	Longueur (m)	Hauteur (m)
PK (17+450~18+800)	1350	21,6

Chapitre III : synthèse géotechnique



Figure III 3: Image satellite et photos panoramique sur la localisation des gites

Description :

Tableau III 11: situation et géologie

Gite	Union Miloudi djebel toumite	Ain Temouchent (chabat)
Situation	30S671005, E3914177	Côté gauche du PK19 du tracé
Accès	En passant par la RN2, prendre sur moins de 350m	
Nature	Cailloux et graviers	

Reserve :

La qualité supérieure de nos granulats (graviers et cailloux) en fait des matériaux particulièrement adaptés et économiquement avantageux pour les applications constructives. Selon les estimations du responsable, ce gisement dispose de réserves totales évaluées à 11,7 millions de tonnes, avec une capacité de production annuelle de 1,44 million de tonnes.

Chapitre III : synthèse géotechnique

Tableau III 12: Résultats récapitulatifs de laboratoire des gites d'emprunts des puits de reconnaissance

Les puits	Prof (m)	Essai CBR		Essai Proctor		Tamisage (%)		Limites d'atterberg			Teneur En CaCO_3	VBS
		γ_{opt} (t/m^3)	W_{opt} (%)	95% L'OPM	98% L'OPM	2mm	80um	W_L	I_p	W_p		
Tp-04	1.0-1.8	2.31	4.91	55	78	24	10	27	9	18	70	0.2
BH-03	1.0-1.8	2.13	4.68	64	94	28	7	25	8	18	98	0.17

1/Paramètre de nature premier niveau de classification :

Puit TP-04 a profondeur (1.0-1.8) m

Tamisât à 80 μm < 35% $\longrightarrow$ (10 < 35)%

Tamisât à 2 mm $\longrightarrow$ (24 < 70) %

Avec ($\text{CaCO}_3 = 70\%$) un ($\text{CaCO}_3 > 30\%$) une teneur en calcaire très élevée.

2/Classe :

La Classe **B** sols comportant des fins et des gros éléments cette classe contient deux sous classes

3/ Paramètre de nature deuxième niveau de classification :

$0,1 \leq \text{VBS} < 0,6$ $\longrightarrow$ $\text{VBS} = 0,2$

Matériaux légèrement argileux, avec une sensibilité modérée à l'eau.

$(7 \leq \text{IP} < 15)\%$ $\longrightarrow$ $(7 \leq 9 < 15)\%$

Sous classe fonction de la nature : B_h

1/Paramètre de nature premier niveau de classification :

Puit BH-03 a profondeur (1.0-1.8) m

Tamisât à 80 μm < 35% $\longrightarrow$ (7 < 35)%

Tamisât à 2 mm $\longrightarrow$ (28 < 70) %

Avec ($\text{CaCO}_3 = 90\%$) un ($\text{CaCO}_3 > 30\%$) une teneur en calcaire très élevée.

2/Classe :

La Classe **B** sols comportant des fins et des gros éléments cette classe contient deux sous classes

3/ Paramètre de nature deuxième niveau de classification :

$0,1 \leq \text{VBS}$ $\longrightarrow$ $0,6 \text{ VBS} = 0,17$

Chapitre III : synthèse géotechnique

Matériaux légèrement argileux, avec une sensibilité modérée à l'eau.

$(7 \leq IP < 15)\%$  $(7 \leq 8 < 15)\%$

Sous classe fonction de la nature : B₄h

Après l'analyse, ces sols sont utilisables après leur reclassement en B₄h.

Tableau III 13: Résultats récapitulatifs de laboratoire des gites d'emprunts des puits de reconnaissance

N° Echantillon	MVR T/m ³	Porosité	W(%)	Micro deval	Los angles	Résistance (Kg/cm ²)
N° 1	2.75	1.52	0.3	18	23	1215
N° 2	2.72	1.47	0.32	22	25	1352

Selon les résultats essais on classe les roches avec GTR :

Échantillon N°1 :

MDE=18 % $(18 \leq 45)\%$

LA=23% $(23 \leq 35)\%$

La Résistance mécanique (haute qualité) > 100 MPa 119.2 MPa

Échantillon N°2 :

MDE=22% $(18 \leq 45)\%$

LA=25% $(23 \leq 35)\%$

La Résistance mécanique (haute qualité) > 100 MPa 132.6MPa

Les roches est roche ignée dure magmatiques et état métamorphiques, sous classe R61.

III.5 CONCLUSION

Les essais réalisés sur les sondages carottés et les puits de reconnaissance ont permis de caractériser les sols rencontrés le long du tracé du projet routier. Les résultats montrent que ces sols sont principalement composés de limons et des sables, classés selon la classification GTR en sols fins (classe A) et en sols mixtes comportant à la fois des éléments fins et grossiers (classe C), les matériaux rocheux rencontrés sont de classe R3. Par ailleurs, l'analyse piézométrique n'a révélé aucune présence de nappe phréatique dans la zone étudiée, confirmant ainsi des conditions favorables à la réalisation du projet.

CHAPITRE IV :

**Dimensionnement du corps de
chaussée avec calcul des fondations
de l'ouvrage d'art et étude de
stabilité des pentes**

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

IV.1 Introduction

Ce chapitre va présenter le dimensionnement du corps de chaussée du tronçon routier étudié par les deux méthodes CTTP et CBR, une analyse de stabilité des talus en déblai de 21,6 m de hauteur par la méthode des éléments finis utilisant le logiciel Plexis, et le calcul des fondations de l'ouvrage d'Art.

Partie A : Dimensionnement du corps de chaussée

A.1 Dimensionnement utilisant la méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves « CTTP »

La méthode de dimensionnement de structure de chaussée neuve CTTP est la méthode de dimensionnement adaptée en Algérie, définie par le catalogue de dimensionnement de chaussée neuve de la CTTP, repose sur une approche semi-empirique basée sur l'expérience nationale et les conditions locales, trafic, sol, climat, matériaux. Cette méthode propose des structures types adaptées à diverses combinaisons de trafic et de portance de sol.

A.1.1 Trafic

Le trafic des véhicules poids lourds (la masse est supérieure à 3,5 tonnes), constitue un paramètre essentiel d'entrée.

Les données de site sont :

- ❖ **Trafic journalier à l'année 2015 : 7285 v/j/sens**
- ❖ **Le taux d'accroissement annuel du trafic : 2,9%**
- ❖ **Le pourcentage de poids lourds : 20%**
- ❖ **La durée de vie : 20 ans**
- ❖ **Indice CBR : 3**

Détermination de la classe de trafic TPLI :

La classe de trafic (TPLi) est déterminée à partir le trafic journalier de poids lourds par direction dans l'année de mise en service.

$$TPLi_{2020} = r \times TJMA_{2015} \times PL \times (1 + i)^n$$

Avec :

r : la répartition des poids lourds de la chaussée à 1 voie est de 90%.

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

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

PL (%) : Le pourcentage des poids lourds.

$$TPLi_{2020} = 0.9 \times 7285 \times 0.2 \times (1 + 0.029)^5 = 1513 \text{ PL/j/sens}$$

La route classée en TPL₆ d'après le catalogue de dimensionnements des chaussées neuves, tableau IV.1.

Tableau IV 1 : Classe de trafic

Classe	Trafic moyen journalier des poids lourds (TMJA)	Classe	Trafic moyen journalier des poids lourds (TMJA)
TPL ₀	0-50	TPL ₄	300-600
TPL ₁	50-100	TPL ₅	600-1500
TPL ₂	100-150	TPL ₆	1500-3000
TPL ₃	150-300	TPL ₇	3000-6000

donc :

$$1500 < 1513 < 3000$$



classe TPL₆

❖ Détermination de trafic cumulé équivalent TCEi :

Le trafic cumulé d'essieux(TCi) : Total du trafic du poids lourds passé dans une chaussée pendant la durée de vie notée n

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

Avec :

n : la durée de vie

$$TCi = 1513 \times \frac{(1 + 0.04)^{20} - 1}{0.04} \times 365 = 16.4 \times 10^6 \text{ PL/j/sens}$$

Pour déterminer le trafic cumulé équivalent TCEi, il faut multiplier TCi par le coefficient d'agressivité A.

$$TCEi = TCi \times A$$

A : Coefficient d'agressivité des PL par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes Les coefficients d'agressivité A ont été calculés à partir des histogrammes de charges obtenues lors de différentes campagnes nationales de pesages des poids lourds.

Les résultats de calculs sont donnés dans le tableau IV.2 ci-dessous :

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 2 valeur de coefficient d'agressivité A

Réseau national	Structures de chaussées	Coefficient d'agressivité (A)
RP1	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GB, GB/Tuf, GB/SG	0,6
	Chaussées à matériaux traités aux liants : GL/GL, BCg/GV	1,0
RP2	Chaussées à matériaux non traités : GNT/GNT, Tuf/Tuf, SG/SG, AG/AG	0,6
	Chaussées à matériaux traités au bitume : SB/SG	0,4

Le choix entre les réseaux RP1 et RP2 base sur le trafic journalier

Donc pour $A=0.6$:

$$TCEi = 14.7 \times 10^6 \times 0.6 = 9.8 \times 10^6 \text{ essieu } 13t / \text{durée vie.}$$

A.1.2 Détermination de la structure type du corps de chaussée par niveau de réseau principal

Le réseau principal RP1 ou RP2 contrôle le choix de la structure type, tableau IV.3 ci-dessous :

Tableau IV 3 : Structure disponible dans le catalogue

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

Le réseau principal étant de niveau 1 (RP 1), la structure de type **GB/GNT** a été choisie en se basant sur les recommandations du **CTTP** et en fonction de la nature des matériaux disponibles localement.

La durée de vie :

La durée de vie est déterminée en fonction du réseau principal et des matériaux utilisés dans la construction de la chaussée.

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 4 : durée de vie adoptée

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures	Durée de vie (années)
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, Bcg/GC	20
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, AG/AG, SG/SG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

Donc d'après le tableau IV.4 la durée de vie est de 20 ans et les matériaux choisis dans notre cas sont du type GB/GNT

A.1.3 Détermination de la portance du sol support de chaussée

La détermination de la portance du sol support de chaussée est basée sur l'indice de CBR, il faut prendre la valeur la plus défavorable pour la sécurité.

Note : Dans le tronçon routier étudié, le test CBR n'a pas été effectué. Pour cette raison, nous allons prendre une valeur inférieure à 5 (faible capacité portante du sol), ce qui représente le cas le plus défavorable.

L'indice CBR choisi est égal à 3. La portance représentée dans le tableau IV.5 suivant :

Tableau IV 5 : classes de portance des sols

Portance	CBR	Interprétation
S4	<5	Très mauvaise portance
S3	5 à 10	mauvaise portance
S2	10 à 25	Portance moyenne
S1	35 à 40	Bonne portance
S0	>40	Très bonne portance

Les valeurs des modules de déformation, de ces classes sont indiquées sur le tableau IV.6 ci-dessous

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 6 : Classes de portance des sols supports

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

Donc : $E(MPA) = 3 \times 5 = 15 MPA$

A.1.4 Choix de structure finale de chaussée par la classe de sol support

En raison de la mauvaise portance constatée du sol terrassé, il est nécessaire de mettre en œuvre une couche de forme afin d'améliorer la portance. Cette couche joue un rôle essentiel dans la répartition des charges et peut être constituée d'une ou de plusieurs assises, selon l'épaisseur retenue. Le tableau IV.7 propose une orientation sur le type de matériaux à utiliser ainsi que l'épaisseur recommandée.

Tableau IV 7 : Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité

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

A.1.5 Données climatiques

La division du territoire algérien en zones climatiques de I à IV est effectuée selon l'hydrométrie afin de déterminer la température équivalente. Celle-ci est définie par l'état hydrique influencée par la pluviosité et le changement saisonnier (Source : Catalogue de Dimensionnement des Chaussées Neuves publié par le CTTTP).

❖ Classification des zones climatiques selon hydrométrie :

Le tronçon étudié est située dans le nord de l'Algérie avec une pluviométrie variant de 600 à 350 mm/an, d'après le tableau le tronçon étudié classe dans : **La Zone climatique II** indique dans le tableau IV.8

Tableau IV 8 : zone climatique de l'Algérie

Zone climatique	Pluviométrie (mm/ans)	Climat	Région
I	600	Très humide	Nord
II	350à600	Humide	Nord hautes plateaux
III	100à350	Semi-aride	Hautes plateaux
IV	<100	Aride	Sud

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

A.1.6 La température équivalente

La somme des dommages subis par la chaussée pendant une année sous l'influence des températures variantes, doit être égale au dommage que subirait la chaussée soumise au même trafic mais à la température constante dite température équivalente (θ_{eq}), sont représentés dans le tableau IV.9

Tableau IV 9: Les valeurs de la température équivalente adoptée

θ_{eq}	Zone	Zone Climatiques		
		I, II	III	IV
Température équivalente (θ_{eq})		20	25	30

La zone d'étude est classée dans la zone climatique II, donc on prendre une température équivalente égale à 20°C, comme montré le tableau ci- dessus.

A.1.7 Caractéristiques des matériaux de chaussée

Les matériaux de construction routière considérés dans le cadre du dimensionnement structural de chaussée sont béton bitumineux (BB), béton bitumineux semi grenus (BBSG), enrobés à module élevé (BBME), béton bitumineux très mince (BBTM), grave bitume (GB), enduit superficiel bicouche (ES), matériaux non traités de la base et de la fondation de la chaussée (grave non traitée GNT et TUF) ainsi que matériaux de construction de la couche de forme. Les caractéristiques de chaque matériau représenté dans le tableau

Tableau IV 10: Caractéristiques des matériaux de chaussée

	E (20°C, 10HZ) en (MPa)	E (10°C, 10HZ) En (MPa)	$e\sigma$ (10°C, 25HZ) 10-6	-1/b *	SN	Sh (cm)	Y	Kc
BB	4000	—	—	—	—	—	0,35	—
GB	7000	12500	100	6,84	0,45	3	0,35	1,3
BBSG	3600	7200	100	5	0,25	—	0,35	1,1
BBME	6000	12000	—	—	—	—	0,35	
GB3	6300	12300	90	5	0,3	2,5	0,35	1,3
EME2	11000	17000	130	5	0,25	2,5	0,35	1,0

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Structure finale :

Le catalogue algérienne de dimensionnement de chaussée propose des épissures minimale est maximale pour les différentes couche de chaussée

BB : min 6cm, max 8cm

GB : min 10cm, max 15cm

GNT : min 15cm, max 25cm

La structure proposée :

6cm BB
12cm GB
14cm GB
15cm Gnf
30cm Tuf
30cm Tuf

6 cm BB : couche de roulement

26 cm GB : couche de base (en 2 couches)

15 cm GNT : couche de fondation

60cm TUF : couche de forme (en 2 couches)

A.2 Dimensionnement utilisant la Méthode de dimensionnement « CBR »

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

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

La détermination de l'épaisseur équivalente doit être passée avec les étapes suivant :

1. Le trafic de l'année de mise en service 2020 est donné par la formule suivante :

$$TJMA_{2020} = TJMA_{2015} \times (1 + r)^n$$

Donc :

$$TJMA_{2020} = 7285 \times (1 + 0.029)^5 = 8404 \text{ v/j/sens}$$

2. Le trafic à l'année horizon c'est à dire à 20 ans année d'exploitation avec n=20ans et $\tau = 2,9 \%$ est donnée par la formule suivante :

$$TJMA_{2040} = TJMA_{2020} \times (1 + r)^n$$

Avec :

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

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Donc :

$$TJMA_{2040} = 8404 \times (1 + 0.029)^{20} = 9695 \text{ v/j/sens}$$

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

$$N = TJMA_{2040} \times PL\%$$

Donc :

$$N = 9696 \times 0.2 = 1939 \text{ PL/J/sens}$$

Donc l'épaisseur équivalente égale :

$$Eeq = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times (75 + 50 \log(\frac{1939}{10}))}{3 + 5}$$

$$Eeq = 73 \text{ cm}$$

Puisque l'épaisseur totale de la chaussée peut être répartie en plusieurs couches en fonction de la disponibilité des matériaux et de leurs caractéristiques mécaniques, on utilise les coefficients d'équivalence pour déterminer les épaisseurs correspondantes. La formule générale de calcul est :

$$E_{totale} = a1 \times e1 + a2 \times e2 + a3 \times e3$$

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

- Couche de roulement (béton bitumineux) avec : **a1 = 2**
- Couche de base (Grave bitume) avec : **a2 = 1.5**
- Couche de fondation (GNT) avec : **a3 = 1**

Généralement les épaisseurs adoptées sont :

BB = 6 à 8cm GB = 10 à 15cm GNT = 15 à 25 cm TUF = 15 à 25 cm.

Tableau IV 11: Représente la construction de la chaussée.

Nom de la couche	Epaisseur de la couche	Coefficients d'équivalences des matériaux
Roulement BB	8	2
Base GB	26	1.5
Fondation GNT	e ₃	1

Donc :

$$e^3 = \frac{Eeq - (e1 \times a1 + e2 \times a2)}{a3}$$

$$e^3 = \frac{73 - (8 \times 2 + 26 \times 1.5)}{1} = 18 \text{ cm}$$

Alors :

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 12: Tableau représente les épaisseurs calculées

Couches	Réelles (cm)	a_i	e (cm)
BB	8	2	16
GB	26	1.5	39
GNT	18	1	18
Totale	52	-	73

Donc d'après de la méthode de dimensionnement CBR la structure finale donnée par :

- Couche de roulement en BB de 8cm
- Couche de base en GB de 26cm
- Couche de fondation en GNT de 18cm
- Couche de forme en TUF de 60cm (en 2 couches).



Calcul de la déformation horizontale admissible ($\epsilon_{t,ad}$) à la base et de la déformation verticale admissible ($\epsilon_{z,ad}$) sur le sol support

Déformation verticale admissible sur sol support :

$$\epsilon_{z,ad} = 22, 10^{-3} \cdot (TCEi)^{(-0,235)}$$

Déformation horizontale admissible à la base des matériaux bitumineux :

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_{\sigma}(10^{\circ}C, 25HZ) \times kne \times k\theta \times kr \times kc$$

Avec

- $kne = (10^6 / TCEi)^{-b} = \left(\frac{10^6}{8.8 \times 10^6}\right)^{-0.146}$

→ $kne = 1.39$

- $k\theta = (E(10^{\circ}C) / E(\theta_{eq}))^{1/2} = \sqrt{\frac{12500}{7000}}$

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

→ $k\theta = 1.336$

• $kr = 10^{-tb\delta} = 10^{-(-1.645 \times 0.146 \times 0.609)}$

→ $kr = 0.714$

Avec :

ϵ_σ : déformation limitée à 10^6 cycles.

b : pente de la droite de fatigue (b)

t : fractale de la loi normale, qui est fonction du risque (r%) adopté

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

E (θ_{eq}) : module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente

d : en fonction de dispersion ;

SN : dispersion sur la loi de fatigue ;

Sh : dispersion sur les épaisseurs ;

c : coefficient égale à 0,02 ;

Kc : coefficient de calage (Kc=1,3)

Les valeurs de t en fonction du risque r% sont représentées dans le tableau ci-contre :

Tableau IV 13: valeur de $t=f(r\%)$

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

Le risque de calcul R= 5% donc d'après le catalogue de dimensionnement on a $t=-1.645$

Donc :

• $\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} SH\right)^2} = \sqrt{(0.45)^2 + \left(\frac{0.02}{-0.146} \times 3\right)^2}$

→ $\delta = 0.609 \text{ cm}^2$

Alors :

$$\begin{aligned}\epsilon_{t,ad} &= \epsilon_\sigma(10^\circ\text{C}, 25\text{HZ}) \times kne \times k\theta \times kr \times kc \\ &= 100 \times 10^6 \times 1.39 \times 1.336 \times 0.714 \times 1.3 \\ \epsilon_{t,ad} &= 172 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

Et :

$$\epsilon_{Z,ad} = 22 \times 10^{-3} \cdot (TCEI)^{(-0,235)} = \epsilon_{Z,ad} = 22 \times 10^{-3} \cdot (9.8 \times 10^6)^{(-0,235)}$$

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

$$\varepsilon_{z,ad} = 500 \times 10^{-6}$$

A.3 Modélisation des structures types sur le logiciel ALIZE III

A.3.1 Présentation de logiciel ALIZE III

Le logiciel ALIZE III est un outil de dimensionnement et d'analyse du comportement mécanique des chaussées, développé par le Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) en collaboration avec la SETRA. Basé sur la méthode rationnelle de dimensionnement, ce logiciel permet de calculer les contraintes et les déformations en fonction des matériaux et des trafics, quel que soit le type de la chaussée (souple, semi-rigide ou rigide).

L'utilisation du logiciel ALIZE III s'étend aux chaussées routières, aux plates-formes logistiques et aux chaussées aéronautiques.

A.3.2 Méthode de catalogue CTTT

Les données utilisées dans le logiciel afin de calculer les déformations présenté dans le tableau IV.14 ci-dessous :

Tableau IV 14: les données spéciales de la structure insérées dans ALIZE III.

MJA (PL/j /sens)	Duré de vie (ans)	Taux d'accroissement (%)	Risque de calcul (%)	Température (Degré)
1513	20	4	5	20

- a) **Etape 1** : ajouter les données de structure modélisée (MJA, dure de vie, taux d'accroissement et toutes les caractéristiques des matériaux de chaussée) présenté dans le tableau ci-dessus.

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Trafic PL cumulé : données

- ☒ Moyenne journalière annuelle (MJA) : 1513
- ☒ Taux accroissement géométrique (%) : 4
- ☐ Taux accroissement arithmétique (%) : 5.15
- ☒ Durée de service (années) : 20
- ☐ Trafic cumulé PL : 1.6445E+7

Valeurs admissibles : données

matériau type : gnt et sol
coefficient CAM : 1

trafic cumulé NE : 1.6445E+7
Coefficient A : 12000
pente b : -0.222

Calculer Epsiz admissible
Calcul inverse NE = f(Epsiz)

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94
CAM : Catalogue 1998
Risques : Guide lcpc-sétra 94
Risques : Catalogue 1998
Structures catalogue 98

EpsilonZ : 300.1 µdéf
Annotation libre : gnt et sol

Mémo ...
1 - EpsiT= 85.1 (bitumineux)
2 - Epsiz= 300.1 (gnt et sol)

Bibliothèque des matériaux **Imprimer** **Enregistrer** **Fermer**

Figure IV. 1 Calcul des valeurs admissibles (CTTP)

- b) **Etape 2** : entre les différentes couches de la structure ainsi que les modules et les coefficients de poisons

Alizé-Lcpc - Définition d'une Structure (Fichier/nouveau)

Structure de base

	épais. (m)	module (MPa)	nu	matériau type
collé	0.06	3600	0.350	bb
collé	0.26	5000	0.350	gb1
collé	0.15	600	0.350	gnt1
collé	0.6	120	0.35	autre
	infini	20	0.35	autre

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

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

Niveaux de calcul
Modifier les niveaux

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

Figure IV. 2: La définition de la structure de base (CTTP).

Les résultats des calculs les déformations à la base de la couche de base et au niveau du sol support

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

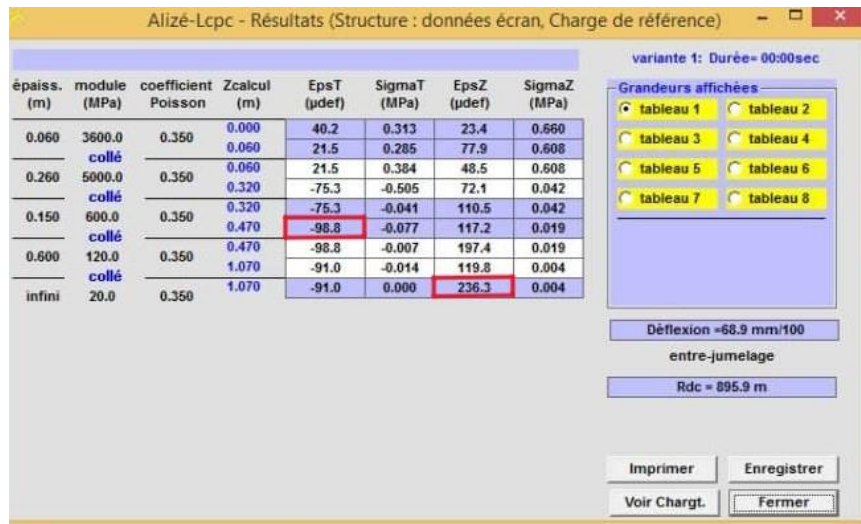


Figure IV. 3: Résultats des calculs (CTTP).

Les résultats des déformations admissibles et calculées représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV 15: Les résultats des déformations admissibles

	ϵ_t	ϵ_z
Valeurs admissibles	172×10^{-6}	500×10^{-6}
calculées		
Valeurs admissibles	98.8×10^{-6}	263.3×10^{-6}
données par Alizé		

Donc :

$\epsilon_{t,adm} = 172 \times 10^{-6} > \epsilon_t = 98.8 \times 10^{-6}$ $\longrightarrow$ condition vérifiée.

$\epsilon_{z,adm} = 500 \times 10^{-6} > \epsilon_z = 263.3 \times 10^{-6}$ $\longrightarrow$ condition vérifiée.

A.3.3 Méthode CBR

Pour cette méthode on va utiliser les mêmes étapes que la méthode CTTP :

- a) **Etape 1** : ajouter les données de structure modélisée (MJA, dure de vie, taux d'accroissement et toutes les caractéristiques des matériaux de chaussée) présenté dans le tableau IV.15 ci-dessous.

Tableau IV 16: les données spéciales de la structure insérées dans ALIZE III

MJA (PL/j /sens)	Durée de vie (ans)	Taux d'accroissement (%)	Risque de calcul (%)	Température (Degré)
1939	20	4	5	20

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Figure IV. 4: Calcul des valeurs admissibles (CBR).

- b) **Etape 2** : entre les différentes couches de la structure ainsi que les modules et les coefficients de poisons

Figure IV. 5 : La définition de la structure de base (CBR)

Les résultats des calculs les déformations à la base de la couche de base et au niveau du sol support

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

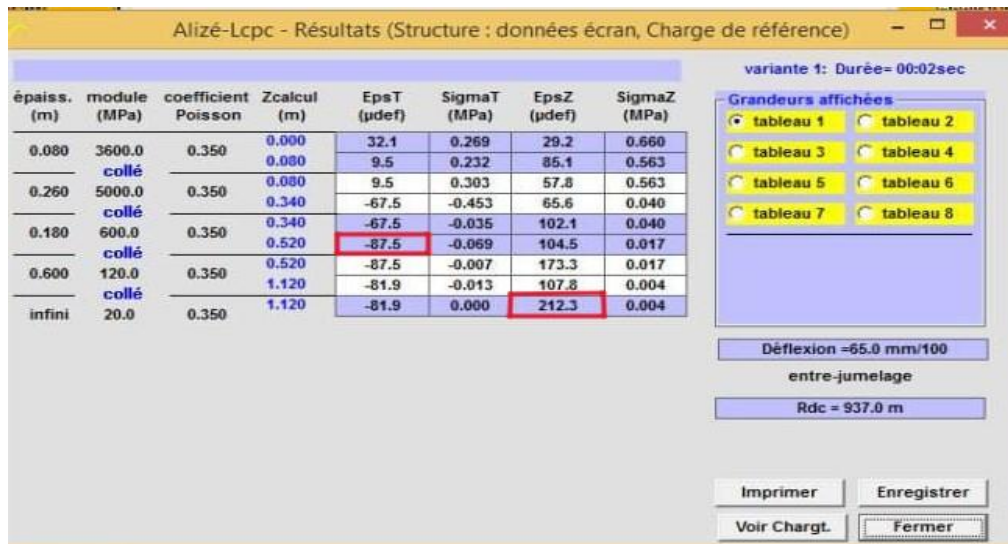


Figure IV. 6: Résultats des calculs (CBR).

Les résultats des déformations admissibles et calculées représenté dans le tableau ci-dessous

Tableau IV 17: des résultats de calcul par Alize.

	ϵ_t	ϵ_z
Valeurs admissibles	172×10^{-6}	500×10^{-6}
Valeurs admissibles		
calculées		
Valeurs admissibles	87.5×10^{-6}	212.3×10^{-6}
données par Alizé		

Donc :

$$\epsilon_{t,adm} = 172 \times 10^{-6} > \epsilon_t = 87.5 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 500 \times 10^{-6} > \epsilon_z = 212.3 \times 10^{-6} \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

A.4 Conclusion

D'après le dimensionnement du corps de chaussée avec la méthode « CBR » et la méthode « CTTP », et calcul de contraintes de déformation par le logiciel « Alize III », on peut remarquer qu'il n'y a pas une grande différence entre les deux méthodes. Donc on va choisir la structure la plus économique obtenu par la méthode « CTTP ».

- 6 cm BB : couche de roulement.
- 26 cm GB : couche de base (en 2 couches).
- 15 cm GNT : couche de fondation.
- 60cm TUF : couche de forme (en 2 couches)
-

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

PARTIE B : Etude de stabilité des talus

B.1 Etude de stabilité des talus

Pour construire une route dans un environnement naturel, l'étape du terrassement est essentielle. C'est une phase indispensable qui va conduire à la création des talus soit en remblai ou en déblai. Ces derniers doivent être stables.

Dans cette partie nous allons étudier un talus en déblai situé au niveau du PK17+450 à PK18+800, en utilisant la méthode des éléments finis on utilise le logiciel Plaxis 2D pour les calculs.

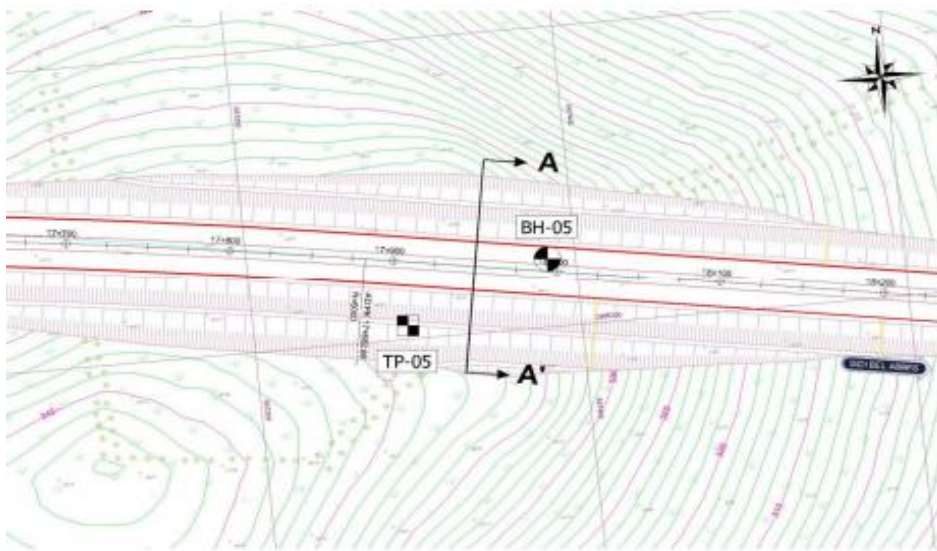


Figure IV. 7: vue en plan de profil étudié

B.2 Présentation du logiciel Plaxis 2D

Le code de calcul « PLAXIS » est un programme conçu pour analyser les déformations et la stabilité des ouvrages et des massifs, il permet d'analyser des problèmes élasto-plastique, en 2D. Dont les modèles réels peuvent être représentés par un modèle plan ou axisymétrique.

Le programme utilise une interface graphique permettant de générer un modèle géométrique et un maillage d'éléments finis basé sur la coupe verticale de l'ouvrage à étudier, donc le modèle est décomposé en éléments de forme géométrique simple ayant des côtés communs et dont les sommets ou nœuds sont les points d'articulation de plusieurs éléments entre eux. Ces nœuds seront les points d'application des forces intérieures ou extérieures. Les modèles de comportements utilisés dans Plaxis sont divers parmi ces modèles on note

B.3 La démarche de modélisation 2D

Le concept repose sur la représentation de la structure lithologique du talus en prenant en compte tous les facteurs physiques et mécaniques des diverses strates du sol. Cette modélisation

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

autorise l'analyse des mouvements et le calcul du facteur de sécurité (FS), en vue d'apprécier la stabilité globale du talus. Dans PLAXIS 2D, le calcul de la stabilité d'un talus ou d'un déblai est organisé en phases distinctes, qui vont de l'établissement de la géométrie et des caractéristiques du sol à l'analyse des résultats suite à la simulation.

Etape 1 : la géométrie

Cette phase implique l'intégration de la géométrie du terrain dans le logiciel, ainsi que la coupe lithologique du sol qui compose ce terrain avant les travaux de terrassement, autrement dit avant la construction de la route, et l'introduction des caractéristiques physiques et mécaniques de chaque couche de sol, la lithologie du sol formé de six couches. La première couche représente le limon argileux, la deuxième couche est de limons calcaires sableux, la troisième couche est de sable limoneux, la quatrième couche est d'argiles limoneuses, la cinquième couche est de limon sableux, la dernière couche est de sables limono-graveleux.

Comme première étape nous avons modélisé la géométrie du terrain par la commande «create soil polygon».

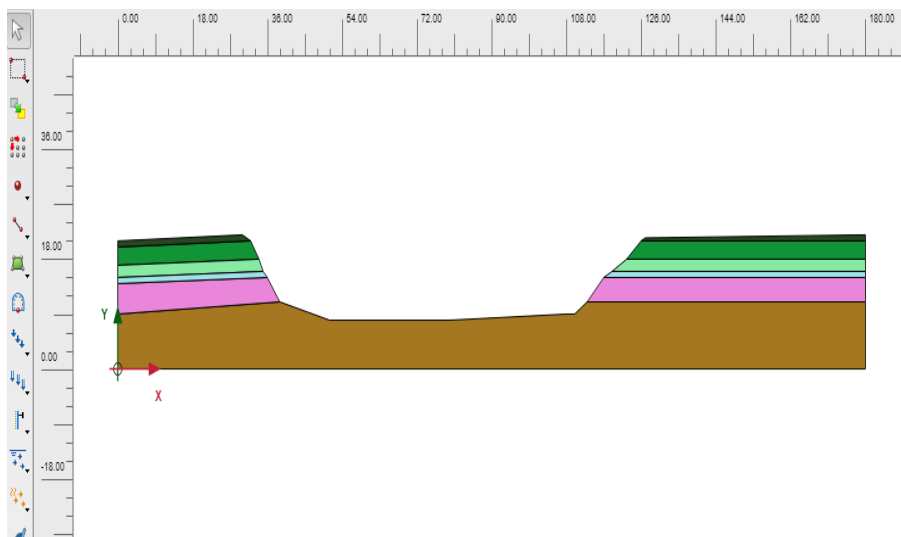


Figure IV. 8: géométrie du terrain avant travaux de terrassements

Les paramètres physiques et mécaniques sont représentés dans le **tableau IV.17**

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 18: Les paramètres physiques et mécaniques

Type de sol	γ_d (KN/m ³)	C	φ°	E (MPa)	ν
Limons argileux	17	30	15	40	0,38
Limons calcaires sableux	18	220	5	20	0,4
Sables limoneux	19	150	20	25	0,3
Argiles limoneuses	19	300	25	40	0,3
Limon sableux	18	10	32	25	0,28
Sables limono-graveleux	20	20	35	50	0,25

Etape 2 : phase initiale

Dans cette étape il faut aller à fenêtre « staged construction » est créé une phase initiale est activée tous les parties de déblai avant les travaux de terrassement, le calcul ici avec le coefficient des terres au repos K_0 , dans le but de déterminer les contraintes initiales dus au poids des terres.

Etape 3 : phase de terrassement

C'est la deuxième phase de calcul. Elle consiste à excaver un volume précis de terre pour aménager le terrain nécessaire à la construction de la route, il faut aller à fenêtre « staged construction » est créé une phase de terrassement cette phase relia avec la phase initiale et le type de calcul est « plastic », donc cette étape nous allons désactiver les polygones de la partie excavé

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

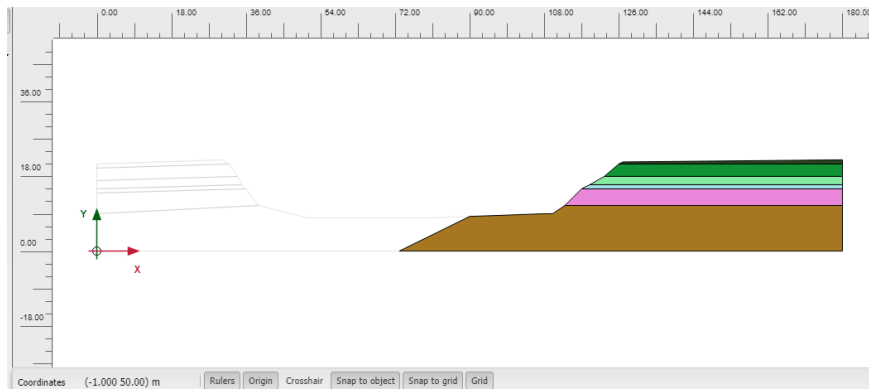


Figure IV. 9: terrassement et création d'un talus en délai

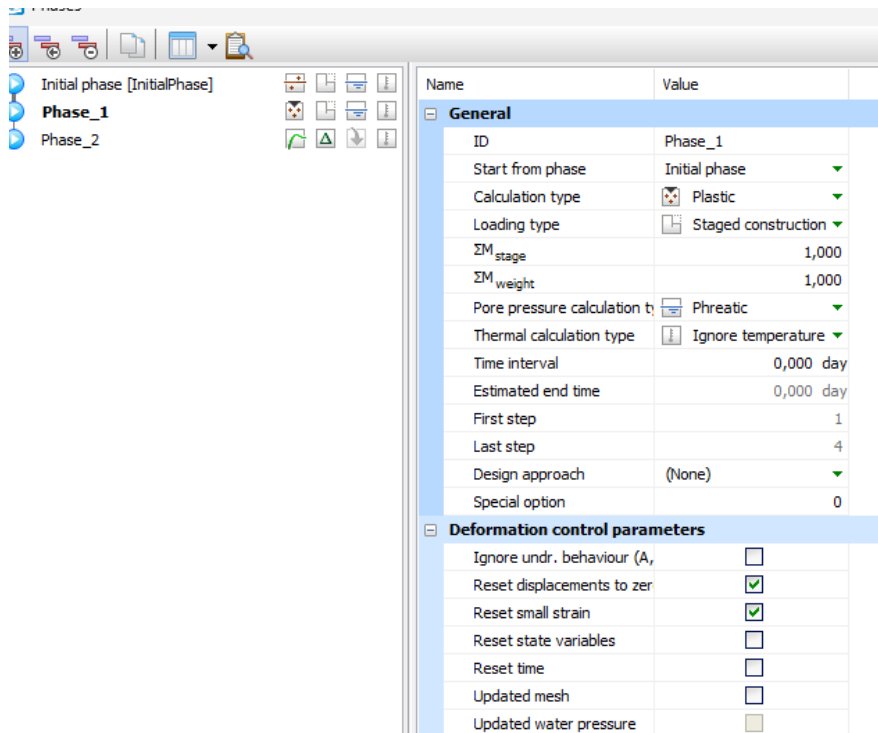


Figure IV. 10: définition de phase de calcul

✚ Etape 4 : phase de sécurité

Dans cette phase de calcul nous allons vérifier la stabilité de ce talus, par la détermination du coefficient de sécurité F_s en choisissant un type de calcul « C/phi reduction »

✚ Etape 5 : Génération du maillage

Cette étape consiste à générer le maillage de modèles avant de lancer les calculs, à l'aide de commandes Mesh. Le milieu étudié est discrétisé en éléments finis, Cela permet de représenter le comportement du sol et des structures de manière numérique. On utilise le maillage par une finesse moyenne, une fois le maillage a été généré on sélectionne un nœud dans le modèle

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

pour définir les conditions de chargement, de déplacement, ou pour observer les résultats, en un point précis.

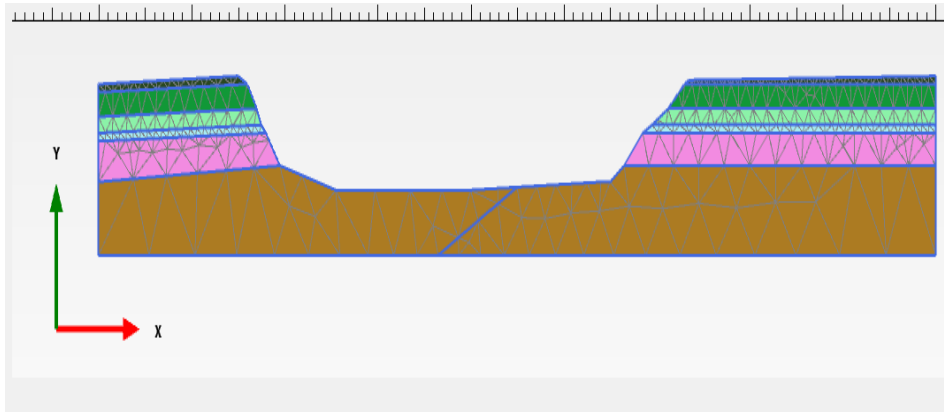


Figure IV. 11: maillage du modèle étudié.

Etape 6 : lancer le calcul

Une fois la géométrie définie, les sols assignés, les phases créées et les mailles générées en passent à l'étape de calcul. Il suffit alors de cliquer sur « Calculate » pour lancer l'analyse numérique de modèles selon les conditions définies.

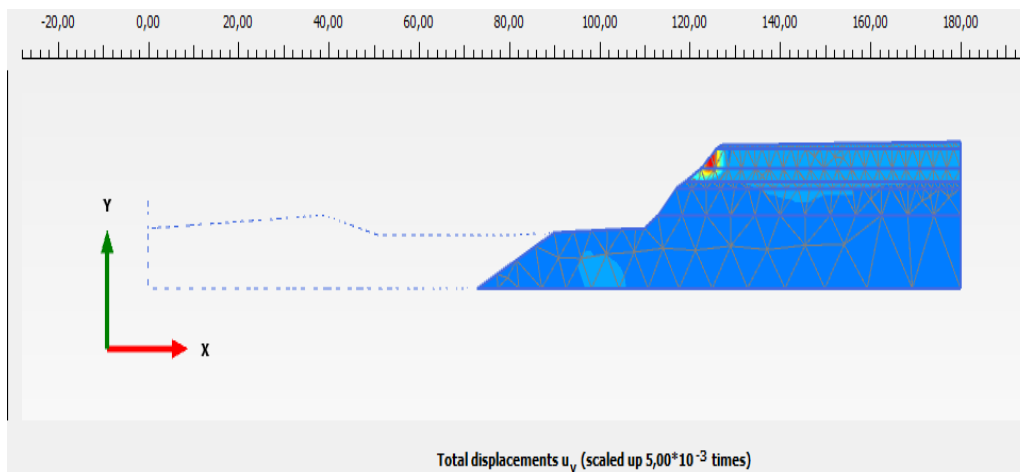


Figure IV. 12: déplacements totale

Le déblai à un déplacement total $u_y = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mm}$

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Phase_2 [Phase_2]			
Initial			
Classical mode			
Safety			
False			
Picos			
64 bit			
0,5000			
1,581E-9			
		ΣM_{Weight}	1,000
M_{sf}	0,8950E-3	ΣM_{sf}	2,593
Increment	0,000	End time	0,000

Figure IV. 13: coefficient de sécurité F_s

Le facteur de sécurité **FS=2,593**

B.4 Conclusion

D'après le résultat de modélisation d'un déblai de 21,6m de hauteur sur le logiciel Plaxis 2D qui basé sur la méthode des éléments finis le facteur de sécurité obtenu est **FS=2,593 > 1.50**, et le déplacement $u_y = 5,00 \times 10^{-3} \text{mm}$ à la partie supérieur de déblai donc le talus est stable.

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Parti C : calcul des fondations

C.1 Introduction

Le viaduc étudié est situé au niveau du tronçon routier PK19+949.200 au PK 19+984.750 de la liaison autoroutière reliant le port de Beni Saf à L'Autoroute Sidi bel Abbès. On représente dans la figure IV. 14 a vue en plan du Viaduc ainsi sa longueur d'une longueur de 850m. La charge transmise aux fondations de cet ouvrage est égale à 26410 KN

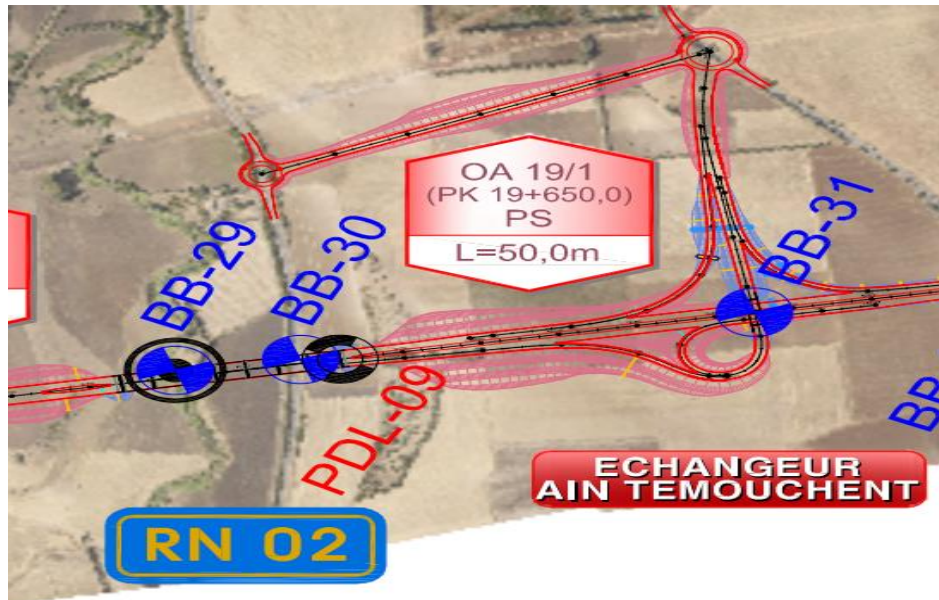


Figure IV. 14: Vue en plan du tracé du Viaduc

Le dimensionnement des fondations se base sur les deux critères suivants :

Les contraintes transmises au sol doivent être inférieures aux contraintes limites ultimes

- Les tassements de la fondation sont limités à ceux correspondant à l'état limite de l'ouvrage

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de cette capacité, nous allons utiliser la méthode pénétration standard (SPT)

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

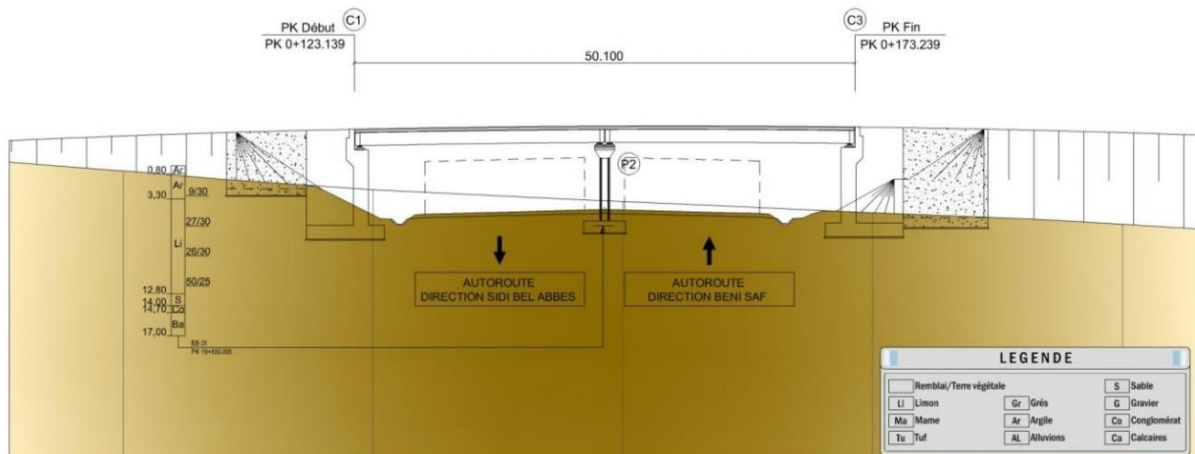


Figure IV. 15: plan de pont avec sa situation

La figure adjacente illustre la coupe lithologique du sol sur lequel repose le viaduc :

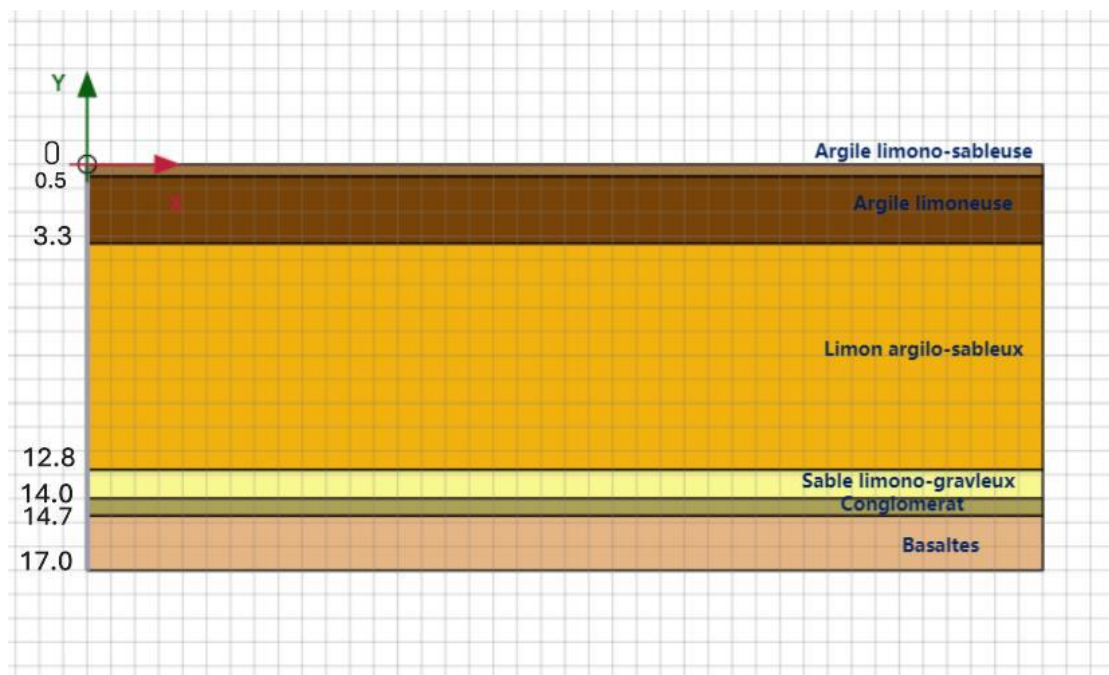


Figure IV. 16: schéma de la lithologie du sol dont les fondations sont ancrées

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 19: Propriétés mécaniques et physiques des différentes couches du sol fondation

Nature Géologique	Profondeur des couche(m)	Poids volumique γ (KN/m ³)	La cohésion C (KPa)	Angle de frottement interne ϕ°
Argile limono-sableuse	0-0.5	17	10	32
Argile limoneuse	0.5-3.3	18	55	21
Limon argilo-sableux	3.3-12.8	19	220	25
Sable limono-graveleux	12.8-14	18	10	30
Conglomérat	14-14.7	21	1250	43
Basaltes	14.7-17.0	24	5020	55



Figure IV. 17: Sondage BB-31/ caisse 01 de 0.00 à 17.0 m supportant le viaduc OA 19/1

C.2 Calcul de fondation

Une fondation rectangulaire superficielle se définit par un ensemble de paramètres géométriques essentiels, comme suit :

Semelle rectangulaire : $B < L < 5B$

$7.8 \text{ m} < L < 39 \text{ m}$

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Elle est aussi définie par le rapport D/B . Une semelle est considérée comme superficielle, si le rapport

D/B est faible et surtout si on ne considère que la résistance du sol sous le niveau d'assise.

On a : $D/B = 0.638$

(Ref. Fascicule 62- Titre V : Règles de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil)

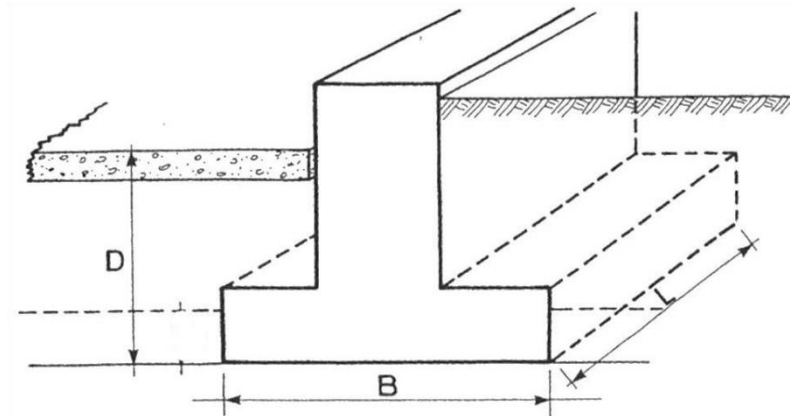


Figure IV. 18: Définition de la hauteur d'encastrement géométrique d'une semelle.

C.3 Calcul de capacité portante charge verticale et tassement de la fondation de culée

Calcul de la capacité portante des fondations par la méthode de pénétration standard :

Zone utile : $(D - \frac{B}{2} ; D + 2 \times B)$

$$Z_u = (4.98 - \frac{7.80}{2}, 4.98 + 2 \times 7.80)$$

$$Z_u = (1.08; 20.58) \text{ m}$$

$$Q_{adm} = 8 \times N_{spt} \times K_d \left(1 + \frac{0.3}{B}\right)^2 \text{ car } B \geq 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Avec } K_d : \frac{D}{B} = \frac{4.98}{7.80} = 0.638 = 0.64$$

Alors la formule sera :

$$K_d = 1 + 0.33 \times \frac{D}{B} \text{ car } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$K_d = 1 + 0.33 \times 0.64 = 1.2112$$

$N_{spt} = 27$ coups

$$Q_{adm} = 8 \times 27 \times 1.2112 \left(1 + \frac{0.3}{7.8}\right)^2 = 282.130 \text{ kpa}$$

$$Q_1 = Q_{adm} \times F_s - 2q_0$$

$$Q_1 = 282.13 \times 3 - 2(89.64) = 667.11 \text{ kpa}$$

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Vérification aux états limite :

- $q_{\text{calculé}} = 333.555 \text{ kPa}$

$$q_{\text{ser}} = q_0 + \gamma_b \times D$$

Avec :

Fs: coefficient de sécurité, $F_s=2$;

γ_b : Poids volumique de béton, $\gamma_b = 25 \text{ KN/m}^3$

D'après les résultats obtenus on a :

$$q_{\text{ser}} = 89.64 + 25 \times 4.98 = 214.14 \text{ KPa}$$

$$q_{\text{ser}} < q_{\text{calculé}}$$

Charge verticale et dimension de la fondation :

Tableau IV 20: Caractéristiques géométriques et contraintes admissibles de fondation et comparaison ELU/ELS

Type	Largeur de fondation	Longueur de la fondation	A'	Contrainte de référence
/	B(m)	L(m)	(m ²)	$Q'_{\text{ref}} \text{ (KN/m}^2\text{)}$
ELU	7.80	15.78	123.08	500.54
ELS	7.80	15.78	123.08	304.15

Calcul de q'_0 , N° :

Tableau IV 21: Propriétés du terrain naturel au niveau d'ancrage de fondation

D (m)	Poids volumique du sol sur la semelle	Charge verticale des terres	N°
La profondeur	$\gamma \text{ (KN/m}^2\text{)}$	$Q_0 \text{ (KN/m}^2\text{)}$	Valeur de l'essai SPT
4.98	18.0	89.64	27

Tableau IV 22: Coefficients des actions aux états limites ultimes (ELU) selon l'Eurocode 0

	Actions permanentes		Action variables	
	Défavorable	Favorable	Défavorable	Favorable
OA-A1	1.35	1.0	1.5	0.0

Tableau IV 23: Coefficients de sécurité pour les pieux selon la norme NF P94-262

Type	Etat limite ultime	Etat limite de service	$i_{\delta\beta}$
R2	2	3	1

$$q'_u = q_{\text{all}} \times F_s (=3)$$

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

$$q'_u = (19 \times N_{spt} \times K_d) \times F_s (=3) \quad B < 1.2m$$

$$q'_u = (12 \times N_{spt} \times K_d) \times \left(\frac{B+0.3}{B}\right)^2 \times F_s (=3) \quad B \geq 1.2m$$

Où

B : Largeur de la fondation (m)

Df : Profondeur d'encastrement (m)

Nspt : Valeur de l'essai SPT

Kd : Coefficient de profondeur

$$\text{- Si } B \geq Df \quad \text{alors} \quad K_d = 1 + \frac{(Df \times 0.33)}{B} \leq 1.33$$

$$\text{- Si } B < Df \quad \text{alors} \quad K_d = 1.3$$

$$K_d = 1 + \frac{(4.98 \times 0.33)}{7.8} = 1.208$$

$$q'_u = 1266.23 \text{ KN/m}^2$$

Résultat de capacité portante :

État limite ultime (ELU) :

$$q'_{ref} = 500.54 \text{ kN/m}^2$$

$$= (1 / \gamma_q) \cdot (q'_u - q'_0) \cdot i_{\delta\beta} + q'_0 ;$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times (1266.23 - 89.64) \times 1 + 89.64 = 677.935 \text{ KN/m}^2$$

$$677.935 \text{ Kpa}$$

$$\text{vérifie } 500.54 \leq 677.935$$

Etat limite service :

$$q'_{ref} = 304.15 \text{ kN/m}^2$$

$$= (1 / \gamma_q) \cdot (q'_u - q'_0) \cdot i_{\delta\beta} + q'_0 ;$$

$$\left(\frac{1}{3}\right) \times (1266.23 - 89.64) \times 1 + 89.64 = 481.836 \text{ KN/m}^2$$

$$481.836 \text{ Kpa}$$

$$\text{Vérifie car } 304.15 \leq 481.836$$

Tableau IV 24: Paramètres géotechniques et géométriques de la fondation superficielle

Profondeur d'encastrement	Largeur de la fondation	Longueur de la fondation	Contrainte de référence	Module de déformation	Coefficient de poisson
D(m)	B(m)	L(m)	Q' _{ref} (KN/m ²)	(KN/m ²)	Y
4.98	7.8	15.78	304.15	54705.00	0.3

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Pour une fondation superficielle isolée, posée sur un sol horizontal homogène d'épaisseur infinie et sollicitée par une charge verticale centrée, le tassement s_j est donné par la formule :

$$s_j = cf \times \frac{1-v^2}{E} \times B \times q$$

$$s_j = 1.21 \times \frac{1-0.3^2}{54705} \times 7.8 \times 212.38 = 0.03334 \text{ m}$$

33.34 mm

Où,

cf : (L/B=2)

Le tableau ci-contre donne quelques valeurs de cf tirées des tables de Giroud.

L/B		1	2	3	4	5
Fondation rigide		0.88	1.21	1.43	1.72	2.18
Fondation souple	bord	0.56	0.76	0.89	1.05	1.27
	centre	1.12	1.53	1.78	2.10	2.58

E, v : module d'Young et le coefficient de Poisson du sol.

Pour les sols fins, il convient de retenir, comme il a été dit, les valeurs non drainées E_u et ν_u

B : largeur de la fondation

q : contrainte moyenne appliquée au sol par la fondation

Elle est donnée par $q = Q/A$, Q étant la charge appliquée et A la surface de la fondation (kN/m²) :

Tableau IV 25: Résultat de tassement admissible de la fondation semelle filante

Type	S_c (mm)	S_{all} (mm)	Note
Résultat	33.34	50.00	Oui

Tableau IV 26: Classification des ouvrages d'art selon leur importance structurale

Groupe de pont	Importance
GROUPE 1	Pont stratégique
GROUPE 2	Pont important
GROUPE 3	Pont d'importance moyenne

C.4 Calcul de capacité portante charge verticale et tassement de la fondation pile

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 27: Caractéristiques géométriques et contraintes admissibles de fondation et comparaison ELU/ELS

Type	Largeur de fondation	Longueur de la fondation	A'	Contrainte de référence
/	B(m)	L(m)	(m ²)	Q' _{ref} (KN/m ²)
ELU	4.20	15.00	63.00	402.28
ELS	4.20	15.00	63.00	212.32

Tableau IV 28: Propriétés du terrain naturel au niveau d'ancrage de fondation

D (m)	Poids volumique du sol sur la semelle	Charge verticale des terres	N°
La profondeur	γ(KN/m ²)	Q ₀ (KN/m ²)	Valeur de l'essai SPT
3.22	18.0	57.96	27

Zone utile : $(D - \frac{B}{2}; D + 2 \times B)$

$$Z_u = (3.22 - \frac{4.20}{2}, 3.22 + 2 \times 4.20)$$

$$Z_u = (1.12; 11.62) \text{ m}$$

$$Q_{adm} = 8 \times N_{spt} \times K_d (1 + \frac{0.3}{B})^2 \text{ car } B \geq 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Avec } K_d : \frac{D}{B} = \frac{3.22}{4.20} = 0.7666 = 0.77$$

Alors la formule sera :

$$K_d = 1 + 0.33 \times \frac{D}{B} \text{ car } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$K_d = 1 + 0.33 \times 0.77 = 1.2541$$

$$Q_{adm} = 8 \times 27 \times 1.25 (1 + \frac{0.3}{4.20})^2 = 309.94 \text{ kpa}$$

$$Q_1 = Q_{adm} \times F_s - 2q_0$$

$$Q_1 = 309.94 \times 3 - 2(57.96) = 813.9 \text{ kpa}$$

$$q'_u = (12 \times N_{spt} \times K_d) \times (\frac{B+0.3}{B})^2 \times F_s (=3) \quad B \geq 1.2 \text{ m}$$

$$q'_u = (12 \times 27 \times 1.2541) \times (\frac{4.20+0.3}{4.20})^2 \times F_s (=3) \quad B \geq 1.2 \text{ m}$$

$$q'_u = 1399.345 \text{ KN/m}^2$$

Résultat de capacité portante :

État limite ultime (ELU) :

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

$$q'_{\text{ref}} = 402.28 \text{ kN/m}^2$$

$$= (1 / \gamma_q) \cdot (q'_u - q'_0) \cdot i_{\delta\beta} + q'_0 ;$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times (1399.345 - 57.96) \times 1 + 57.96 = 728.652 \text{ KN/m}^2$$

728.652 Kpa

$$\text{Vérifie } 402.28 \leq 728.652 \text{ KN/m}^2$$

Etat limite service :

$$q'_{\text{ref}} = 212.32 \text{ kN/m}^2$$

$$= (1 / \gamma_q) \cdot (q'_u - q'_0) \cdot i_{\delta\beta} + q'_0 ;$$

$$\left(\frac{1}{3}\right) \times (1399.345 - 57.96) \times 1 + 57.96 = 505.088 \text{ KN/m}^2$$

505.088 Kpa

$$\text{Vérifie car } 212.32 \leq 505.088 \text{ KN/m}^2$$

Tableau IV 29: Paramètres géotechniques et géométriques de la fondation superficielle

Profondeur d'encastrement	Largeur de la fondation	Longueur de la fondation	Contrainte de référence	Module de déformation	Coefficient de poisson
D(m)	B(m)	L(m)	Q'_{ref} (KN/m ²)	(KN/m ²)	Y
3.22	4.20	15.00	212.32	54705.00	0.3

Pour une fondation superficielle isolée, posée sur un sol horizontal homogène d'épaisseur infinie et sollicitée par une charge verticale centrée, le tassement s_j est donné par la formule :

$$S_j = 1.78 \times \frac{1 - 0.3^2}{54705} \times 4.2 \times 139.21 = 0.0174 \text{ m}$$

$$S_j = cf \times \frac{1 - \nu}{E} \times B \times q$$

17.4 mm

Où,

cf : (L/B = 3.6)

Le tableau ci-contre donne quelques valeurs de cf tirées des tables de Giroud.

L/B		1	2	3	4	5
Fondation rigide		0.88	1.21	1.43	1.72	2.18
Fondation souple	Bord	0.56	0.76	0.89	1.05	1.27
	Centre	1.12	1.53	1.78	2.10	2.58

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée avec calcul des fondations de l'ouvrage d'art et étude de stabilité des pentes

Tableau IV 30: Résultat de tassement admissible de la fondation isolé pile

Type	S _c (mm)	S _{all} (mm)	Note
Résultat	17.4	50.00	Oui

Tableau IV 31: Synthèse des vérifications de stabilité des appuis.

Culées Piles	Contrainte de rupture (KN/m ²)		Contrainte de référence (KN/m ²)		Tassement Produit(mm)	Tassement Admissible(m m)	verification
	ELU	ELS	ELU	ELS			
C1, C3	677.94	481.84	500.5	304.2	33.34	50	Vérifie
P2	728.65	505.08	402.3	212.3	17.4	50	vérifie

C.5 Conclusion

L'étude de la stabilité des fondations a mis en évidence la bonne qualité du sol support, permettant ainsi la mise en œuvre de fondations superficielles aux dimensions appropriées.

Les résultats obtenus montrent que pour la culée, une fondation rectangulaire (7,8 m × 15,78m), présente un tassement calculé de 3,3 cm . De même pour la pile, une fondation semelle (4,2 m × 15 m), présente un tassement évalué à 1,74 cm. Ces valeurs de tassement étant considérées comme admissibles, elles confirment la pertinence du choix des fondations et garantissent la stabilité et la durabilité de la structure. Ces conclusions valident donc l'adéquation des fondations aux exigences du projet et aux conditions géotechniques du site.

Conclusion Générale

Cette étude concerne le dimensionner un corps de chaussée d'un tronçon de 6.669 Km (du PK 13+314.8 au PK 19+984) de la pénétrante autoroutière reliant l'Autoroute Est-Ouest au nouveau pôle industriel à BENI SAF, ainsi que l'évaluation de stabilité d'un talus en déblais utilisant le logiciel PLAXIS 2D et le dimensionnement des fondations d'un viaduc situé sur le même axe routier.

Suite à une synthèse et une analyse approfondie des données issues des recherches géologiques, hydrogéologiques, géomorphologiques, sismiques et géotechniques collectées des divers rapports techniques liés au projet, les conclusions pouvant être tirées de l'étude, sont données dans ce qui suit :

- La géomorphologie du tronçon étudié de la liaison autoroutière n'est pas complexe dans les reliefs, elle est plus caractérisée par des collines douces.
- La région d'Ain-Temouchent se caractérise par un climat de type méditerranéen, présentant un hiver humide pluvieux et un été sec et chaud.
- L'étude hydrogéologique montre que le niveau piézométrique n'a pas été détecté dans la zone d'étude.
- La zone d'étude est classé en zone V correspond une sismicité élevée, avec un coefficient d'accélération égale à $A=0.25$
- L'ensemble des terrains longeant l'axe de la route tombe dans la classe des sols fins (classe A), des sols mixtes, comportant à la fois des éléments fins et grossiers (classe C), et des matériaux rocheux (classe R), selon la classification GTR.
- Le dimensionnement du corps de chaussée utilisant respectivement la méthode « CTTTP », « CBR » et calcul de contraintes de déformation par le logiciel « Alize III », ont aboutis aux structures de chaussée suivantes :

1. **BB** : couche de roulement, **6 cm**, **GB** : couche de base (en 2 couches), **26 cm**
GNT : couche de fondation **15 cm** **TUF** : couche de forme **60cm** (en 2 couches)
2. Rajouté de la même façon la structure donnée par la méthode CBR

- La structure adoptée dans cette étude est celle donnée par la méthode de dimensionnement « CTTP », pour raison économique.
- La modélisation numérique d'un déblai de 21,6 mètres de hauteur réalisée sur le logiciel Plaxis 2D, basé sur la méthode des éléments finis, a donné un facteur de sécurité FS égale à 2,593 (FS = 2,593), valeur, supérieur à 1.5 (Fs > 1.50), et un déplacement $u_y = 5,00 \times 10^{-3}$ mm, faible, à la partie supérieure de déblaie, classant donc le talus dans un état stable.
- Les fondations adoptées pour le viaduc sont des fondations superficielles, pour la culée une fondation semelle filante (7,8 m × 15,78 m), tandis que pour la pile, une fondation semelle isolée de (4,2 m × 15 m). présentent des tassements admissibles (3,3 cm pour la culée et 1,74 cm pour la pile), Ces valeurs admissibles valident le choix des dimensions et garantissant la stabilité de la structure.

Référence

- [1] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, fascicule 1 notice d'utilisation
- [2] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, Fascicule 2 hypothèse et données de dimensionnement.
- [3] Catalogue algérien de Dimensionnement des Chaussées neuves, CTTP Novembre 2001, Fascicule 3 fiches techniques de dimensionnement.
- [4] Conception Et Dimensionnement Des Structures De Chaussée guide technique (LCPC/SETRA).
- [5] DR.ALI BOUAFIA. Conception et calcul des ouvrages géotechniques
- [6] DR.ALI BOUAFIA. Calcul pratique des fondations et des soutènements
- [7] Assainissement Routier, Guide Technique SETRA- LCPC (2006). Bureau d'étude : groupement SAMAN-KYONG DONG
- [8] Règlement parasismique Algérien (RPA 2024)
- [9] BOUAFIA A. (1975), AIDE-MÉMOIRE DE MÉCANIQUE DES SOLS, 2ème édition, Édition office des publications universitaires, Ben-Aknoun, Alger.
- [10] Agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H., 1989)
- [11] CTTP Contrôle Technique des Travaux Publics kouba
- [12] Aide-mémoire CTTP, DTP d'Ain Temouchent
- [13] B40 : Normes techniques d'aménagement des routes. Algérie : ministre des travaux Publics, octobre 1977.
- [14] : Guide des terrassements routier GTR
- [15] : Pr : KHALED GRINE. Cours géotechnique routier.
- [16]- J.A Calgaro, Projet de construction des ponts, ponts et chaussées ; 1991.
- [17]- R.B.J. Brinkgreve Delft University of Technology & PLAXIS bv, Pays-Bas (2003), PLAXIS Version 8 Manuel de référence.

Annexe

A. Classification :

A.1 L'essai SPT :

Tableau A.1 : Etat de compacité relative en place en fonction d'Indice N

Etat de compacité relative en place	Indice N
Très lâche	0-4
Lâche	4-10
Compact	10-30
Dense	30-50
Très dense	30 et plus

A.2 Limite d'Atterberg :

Tableau A.2 : Qualification des sols rocheux en fonction d'indice de plasticité. (XP P94-011)

Etat	Indice de plasticité
Non plastique	$I_p \leq 12$
Peu plastique	$12 \leq I_p \leq 25$
Plastique	$25 \leq I_p \leq 40$
Très plastique	$I_p > 40$

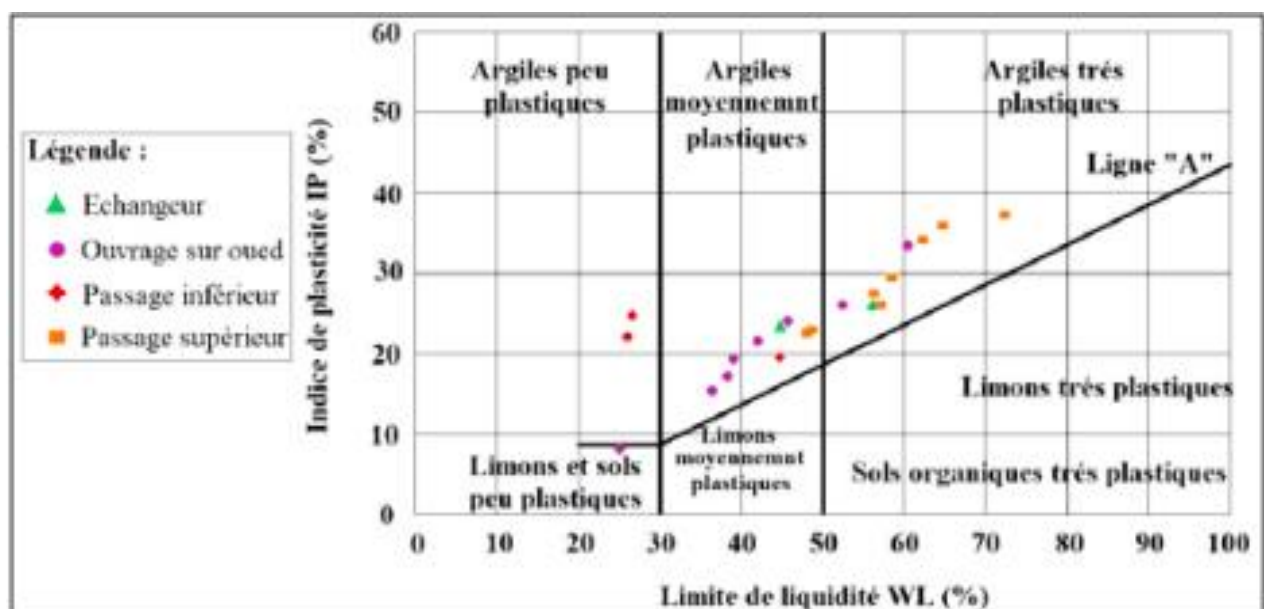


Figure A. 1 Diagramme de plasticité (d'après Casagrande 1948)

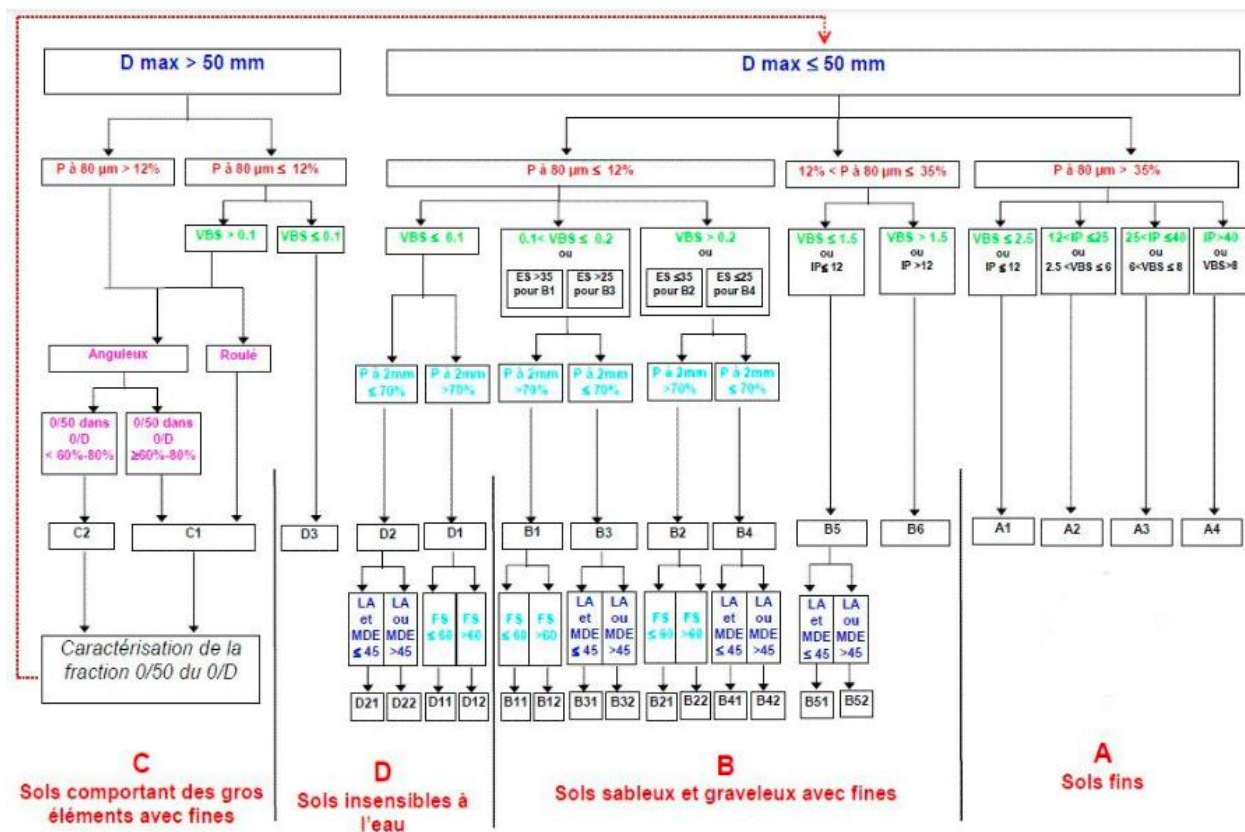


Figure A. 2 Classification GTR pour les sols A, B, C et D

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 sols fins	VBS ≤ 2,5 ou I _p ≤ 12	A ₁ Limos peu plastiques, loess, siltés alluvionnaires, sables fins peu collés, arènes peu plastiques...	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w _L est proche de w _{OPH} . 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 l'Ip.	IPI ≤ 3 ou w _L ≥ 1,25 w _{OPH}	A ₁ th
					3 < IPI ≤ 6 ou 1,10 w _{OPH} ≤ w _L < 1,25 w _{OPH}	A ₁ h
					6 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{OPH} ≤ w _L < 1,10 w _{OPH}	A ₁ m
					0,7 w _{OPH} ≤ w _L < 0,9 w _{OPH}	A ₁ s
					w _L < 0,7 w _{OPH}	A ₁ ts
		12 < I _p ≤ 25 ou 2,5 < VBS ≤ 6	A ₂ Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...	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 _L ≥ 1,3 w _{OPH}	A ₂ th
					2 < IPI ≤ 5 ou 0,9 < I _c ≤ 1,05 ou 1,1 w _{OPH} ≤ w _L < 1,3 w _{OPH}	A ₂ h
					5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 w _{OPH} ≤ w _L < 1,1 w _{OPH}	A ₂ m
					1,2 < I _c ≤ 1,4 ou 0,7 w _{OPH} ≤ w _L < 0,9 w _{OPH}	A ₂ s
					I _c > 1,4 ou w _L < 0,7 w _{OPH}	A ₂ ts
		25 < I _p ≤ 40 ou 6 < VBS ≤ 8	A ₃ Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...	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 ≤ 10 ou I _c ≤ 0,8 ou w _L ≥ 1,4 w _{OPH}	A ₃ th
					1 < IPI ≤ 3 ou 0,8 < I _c ≤ 1 ou 1,2 w _{OPH} ≤ w _L < 1,4 w _{OPH}	A ₃ h
					3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I _c ≤ 1,15 ou 0,9 w _{OPH} ≤ w _L < 1,2 w _{OPH}	A ₃ m
					1,15 < I _c ≤ 1,3 ou 0,7 w _{OPH} ≤ w _L < 0,9 w _{OPH}	A ₃ s
					I _c > 1,3 ou w _L < 0,7 w _{OPH}	A ₃ ts
		I _p > 40 ou VBS > 8	A ₄ Argiles et argiles marneuses, très plastiques...	Ces sols sont très cohérents et presque imperméables : s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retraits 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

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Figure A. 3 classification GTR pour les sols A

Classe C

SOLS COMPORTANT DES FINES ET DES GROS ELEMENTS

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique et le comportement								
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux									
D _{max} > 50 mm et tamisé à 80 µm > 12% ou si le tamisé à 80 µm ≤ 12% la VBS est > 0,1	C Sols comportant des fines et des gros éléments	Matériaux anguleux dont la proportion de la fraction 0/50 mm dépasse 60 à 80% et Matériaux roulés La fraction 0/50 mm est un sol de la classe A	C ₁ A ₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...	Le comportement des sols de cette classe peut être assez justement apprécié par celui de leur fraction 0/50 mm. L'évaluation de la proportion de la fraction 0/50 mm est cependant nécessaire dans le cas des sols constitués d'éléments anguleux. Celle-ci peut se faire visuellement par un géotechnicien expérimenté dès que le D _{max} du sol dépasse 200 mm. L'identification des sols de cette classe doit être précisée à l'aide d'un double symbole de type C ₁ (A ₁) ou C ₁ (B ₁), A ₁ ou B ₁ étant respectivement la classe de la fraction 0/50 mm du matériau considéré. On peut encore très utilement compléter cette identification en indiquant la valeur du D _{max} présent dans le sol. Ainsi, par exemple, un sol classé : C ₁ ⁴⁰⁰ (A ₁) correspond à un sol roulé ou anguleux ayant plus de 60 à 80% d'éléments < 50 mm, dont les plus gros éléments ont une dimension de 400 mm et dont la fraction 0/50 mm est de type A ₁ .									
		Matériaux anguleux dont la proportion de la fraction 0/50 mm dépasse 60 à 80% et Matériaux roulés La fraction 0/50 mm est un sol de la classe B	C ₁ B ₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...										
		Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%. La fraction 0/50 mm est un sol de la classe A.	C ₂ A ₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...	Le comportement des sols de cette classe dépend aussi de la fraction 50/D présente et ne peut plus être assimilé à celui de la seule fraction 0/50 mm. L'importance de cette influence est toujours difficile à évaluer (fonction de la continuité granulométrique et de l'angularité des éléments grenus) en raison des difficultés pratiques qu'il y a à réaliser des essais de laboratoire sur ces matériaux.									
		Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%. La fraction 0/50 mm est un sol de la classe B.	C ₂ B ₁ Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...	Il est néanmoins utile, comme pour les C ₁ , de préciser l'identification des sols de cette classe à l'aide d'un double symbole de type C ₂ (A ₁) ou C ₂ (B ₁), A ₁ ou B ₁ étant respectivement la classe de la fraction 0/50 mm du matériau considéré. De même cette identification pourra être très utilement complétée par l'indication du D _{max} présent dans le sol (Cf. classe C ₁). Des essais en semi ou vraie grandeur seront souvent nécessaires pour caler l'interprétation des mesures réalisées sur la fraction 0/50 mm.									
Le sous-classement, en fonction de l'état hydrique des sols de cette classe, s'établit en considérant celui de leur fraction 0/50 mm qui peut être un sol de la classe A ou de la classe B. Les différentes sous-classes composant la classe C sont :													
<table><tr><td>C₁A₁ C₁A₂ C₁A₃ C₁A₄</td><td>C₁B₁ C₁B₂ C₁B₃ C₁B₄</td><td>état th, h, m, s ou ts</td></tr><tr><td>C₂B₁₁ C₂B₁₂ C₂B₂₁ C₂B₂₂</td><td>C₂B₁₁ C₂B₁₂ C₂B₂₁ C₂B₂₂</td><td>Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique</td></tr><tr><td>C₂B₂₁ C₂B₂₂ C₂B₄₁ C₂B₄₂ C₂B₆₁ C₂B₆₂ C₂B₆</td><td>C₂B₂₁ C₂B₂₂ C₂B₄₁ C₂B₄₂ C₂B₆₁ C₂B₆₂ C₂B₆</td><td>état th, h, m, s ou ts</td></tr></table>					C ₁ A ₁ C ₁ A ₂ C ₁ A ₃ C ₁ A ₄	C ₁ B ₁ C ₁ B ₂ C ₁ B ₃ C ₁ B ₄	état th, h, m, s ou ts	C ₂ B ₁₁ C ₂ B ₁₂ C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂	C ₂ B ₁₁ C ₂ B ₁₂ C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique	C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂ C ₂ B ₄₁ C ₂ B ₄₂ C ₂ B ₆₁ C ₂ B ₆₂ C ₂ B ₆	C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂ C ₂ B ₄₁ C ₂ B ₄₂ C ₂ B ₆₁ C ₂ B ₆₂ C ₂ B ₆	état th, h, m, s ou ts
C ₁ A ₁ C ₁ A ₂ C ₁ A ₃ C ₁ A ₄	C ₁ B ₁ C ₁ B ₂ C ₁ B ₃ C ₁ B ₄	état th, h, m, s ou ts											
C ₂ B ₁₁ C ₂ B ₁₂ C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂	C ₂ B ₁₁ C ₂ B ₁₂ C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique											
C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂ C ₂ B ₄₁ C ₂ B ₄₂ C ₂ B ₆₁ C ₂ B ₆₂ C ₂ B ₆	C ₂ B ₂₁ C ₂ B ₂₂ C ₂ B ₄₁ C ₂ B ₄₂ C ₂ B ₆₁ C ₂ B ₆₂ C ₂ B ₆	état th, h, m, s ou ts											

Figure A. 4 Classification des sols C

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B₃ (B₄ (états th et h))

Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code							
				E	G	W	T	R	C	H	
B ₃	Ces sols sont insensibles à l'eau, et peu érodables. Pour certains d'entre eux (sol homométrique), la traficabilité peut être améliorée par un arrosage	++ + = -	toutes situations météorologiques C : compactage moyen	0	0	0	0	0	2	0	
B ₄ th	Sols normalement inutilisables en l'état Ces sols ont une très mauvaise portance. Une mise en dépôt provisoire, ou un drainage préalable pendant une période suffisante (plusieurs semaines) peuvent permettre de les reclasser en B ₄ h									NON	
B ₄ h	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique. Ils sont sujets au "matelassage", ce qui est à éviter au niveau des arases de terrassement. Le drainage préalable (plusieurs semaines) peut être efficace et permettre de reclasser certains d'entre-eux en B ₄ m	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes							NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen							0 0 0 1 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)							0 0 0 0 0 3 2
		-	évaporation importante	Solution 1 : aération E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)							1 0 1 0 1 2 2
				Solution 2 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen							0 0 0 1 0 2 0

Figure A. 5 classification GTR des Remblai

Classe R (suite)**MATERIAUX ROCHEUX (suite)**
(évolutifs et non évolutifs)

Classement selon la nature			Classement selon le comportement	
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs seuils retenus	Sous-classe
Roches magmatiques et métamorphiques	R ₀ Granite, basalte, trachyte, andésite... Gneiss, schistes métamorphiques, schistes ardoisiers...	Les matériaux entrant dans cette classe peuvent avoir des caractéristiques mécaniques très différentes ; en particulier, leur fragmentabilité et leur friabilité peuvent varier très largement (de faible à très élevée). Les matériaux de la classe R ₀ et la majorité de ceux de la classe R ₀₁ ne s'altèrent pas au sein des ouvrages, sous l'effet des contraintes mécaniques et de l'eau ; mais en revanche, ceux de la classe R ₀₂ ont un comportement voisin des classes R ₀₃ ou R ₀₄ .	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches magmatiques et métamorphiques dures R ₀₁
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne R ₀₂
			FR > 7	Roches magmatiques et métamorphiques fragmentables ou altérées R ₀₃

*Figure A. 6 Classification GTR des matériaux rocheux.***A.3 Cisaillement à la boîte :****Tableau A.3 :** Qualification d'un sol en fonction de la Cohésion non drainés.

Etat	Cohésion non drainée (KPa)
Liquide à très mou	<20
Mou	20 à 40
Plastique	40 à 75
Ferme	75 à 150
Très ferme	150 à 300
Dur	>300

A.4 Indice CBR et la portance du sol.**Tableau A.4 :** Classe de portance du sol.

Portance	CBR	Interprétation
S4	<5	Très mauvaise portance
S3	5 à 10	mauvaise portance

S2	10à25	Portance moyenne
S1	35à40	Bonne portance
S0	>fcu40	Très bonne portance

PROJET : La liaison Autoroutière reliant Autoroute Est Ouest au nouveau pole industriel à Bénj Saf(APD)						TP-05								
CLIENT : DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA D' AIN TEMOUCHEM						LIEU : Bénl Saf-Sidl Bel Abbas PK : 17+912 Coordonnées : X = 667294, Y = 3905209 Date d'exécution : 23 /02 / 2015								
Profondeur (m)	Coupe Lithologique	Description	Profondeur Echantillon	Granulometrie			Essais d'identification				Proctor		Indice CBR	Remarque
				< 2mm (%)	< 80µ (%)	< 2µ (%)	γ _d (kN/m³)	W _s (%)	W _L (%)	IP(%)	IC	W ₉₀ (%)		
		Terre végétale												
0,5		Graviers sableux												
		Présence de Limon												
1,0		Présence du tuf												
		Présence minime des graviers												
1,5		Gris clair--Brun clair												
2,0														
2,5			2,5											
			3,0	39,57	0,99			30,76				11,4	17,0	61,21
3,0		Fin de fouille à 3,00m												

Figure A.7 : résultats donne par les puits de reconnaissances TP-05

PROJET		La liaison Autoroutière reliant Autoroute Est Ouest au nouveau pôle Industriel à Béné Saf (APD)		SONDAGE N°		BH-04		TYPE D'ECHANTILLON							
LIEU		Bénissaf-Sidi Bel Abbès		COORDONNEES		E : 664514,00 m N : 3905460,00 m Z : 290,50 m		S.P.T							
DATE		2015.2.25 - 2015.2.25		NIVEAU NAPPE		- m		PARAFFINAGE							
				TYPE DE FORAGE		Carottage									
ECHELLE	ALTITUDE (m)	PROFON- DEUR(m)	EPAISSEUR (m)	LES OBSERVATIONS DE TERRAIN			S.P.T			RECUPERATION		ECHAN- TILLON			
				SYM- BOLE	LPC	COU- LEUR	DESCRIPTION	N	N° de Coups			Récup. (%)	ROD (%)	Prof. (m)	TYPE
									15cm	15cm	15cm				
0					Ap	Brun	■ 0,0-0,9m Argiles limoneuses Humide								
1	289,60	0,90	0,90		Ap	Brun- clair	■ 0,9-2,6m Argiles limoneuses Humide								
2								22/30	13	10	12	19			
3	287,90	2,60	1,70				■ 2,6-8,6m Limons argileux Couches calcaires par endroit Pau de graviers par endroit dans la partie supérieure d=0,5-1,0cm Alternances de la ceinture sableuse par endroit Très solide, Humide								
4					Lp	Brun- clair Gris- clair		18/30	4	7	11	7			
6															
7												65			
8	281,90	8,60	6,00		Lp	Brun- clair Brun	■ 8,6-10,0m Sable, Limon graveleux d=0,5-1,5cm Couches calcaires par endroit Dur, Humide								
9	280,50	10,00	1,40					50/22	15	32	18			10,0	
10							Fin de sondage BH-04 à 10,00m								
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															

Figure A.8 : Résultats donné par l'essai SPT BH-04

PROJET		La liaison Autoroutière reliant Autoroute Est Ouest au nouveau pôle Industriel à Béni Saf (APD)		SONDAGE N°		BH-05		TYPE D'ECHANTILLON							
LIEU		Bénisaf-Sidi Bel Abbès		COORDONNÉES		E : 867383,00 m N : 3905246,00 m Z : 333,40 m		S.P.T							
DATE		2015.2.24 – 2015.2.24		NIVEAU NAPPE		- m		PARAFFINAGE							
				TYPE DE FORAGE		Carottage									
Echelle	Altitude (m)	Profondeur (m)	Epaisseur (m)	LES OBSERVATIONS DE TERRAIN				S.P.T			RECUPERATION		ECHAN- TILLON		
				SYM- BOLE	LPC	COU- LEUR	DESCRIPTION	N	N° de Coups			Récup. (%)	ROD (%)	Prof. (m)	Type
									15cm	15cm	15cm				
0	338.00	0.30	0.30		Lp	Bun	■ 0,0-0,3m Limon argileux Humide								
1					Lp	Blanc- cassé Brun- clair	■ 0,3-3,5m Limon calcaires sableux Prédominance des sables par endroit Très solide, Humide					0			
2								24/30	10	12	12			3,0	
3	329.90	3.50	3.20		SL	Brun- clair Brun- foncé	■ 3,5-5,2m Sables limoneux Peu de graviers par endroit φ=0,5-1,0cm Intercalaire du limon calcaire par endroit Humide					43			
4					Ap	Brun	■ 5,2-6,3m Argile limoneuse Calcaire par endroit Prédominance du limon par endroit Dur, Humide	38/30	8	14	24			6,0	
5	328.20	5.20	1.70		Lp	Brun- clair Gris- clair	■ 6,3-10,5m Limon sableux Peu de calcaire par endroit Graviers et argile par endroit φ=0,5-1,0cm Dur, Humide					33			
6	327.10	6.30	1.10					50/25	22	26	24			10,0	
7					SL	Brun- clair Gris- clair Gris- foncé	■ 10,5-21,0m Sables limono-graveleux φ=0,5-10,0cm Conglomérat, et roche calcaire par endroit Répétition majeure du limon Très dense, Humide					29			
8								50/15	22	50				13,0	
9												34			
10	322.90	10.50	4.20					50/7	50					16,0	
11												30			
12												40			
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															

Figure A.9 : Résultats donné par l'essai SPT BH-05

RAPPORT DE FORAGE

Feuille N° : 1 / 1

PROJET		La Liaison Autoroutière reliant Autoroute Est-Ouest au nouveau pôle Industriel à Béni Saf (APD)		SONDAGE N°		BB-27		TYPE D'ECHANTILLON												
LIEU		Béni-Saf Béni Adhes		COORDONNEES		E : 660980,00m N : 3605940,00m Z : 270,50m		☒ S.P.T												
DATE		2014,12,21 – 2014,12,22		INDEAU NAPPE		- m		☐ PARAFFINAGE												
				TYPE DE FORAGE		Carottage														
E.C.H.E.L.L.E	A.L.T.I.T.U.D.E (m)	P.R.O.F.O.N- D.E.U.R.(m)	E.P.A.I.S.S.E.U.R (m)	L.E.S O.B.S.E.R.V.A.T.I.O.N.S D.E T.E.R.R.A.I.N			S.P.T			R.E.C.U.P.E.R.A.T.I.O.N		E.C.H.A.N.T.I.L.L.O.N								
				S.Y.M- B.O.L.E	L.P.C	C.O.U- L.E.U.R	D.E.S.C.R.I.P.T.I.O.N	N	N° d.e C.o.u.p.s			R.e.c.a.p. (%)	R.O.D (%)	P.r.o.f (m)	T.Y.P.E					
									15cm	15cm	15cm									
1	278.95	0.65	0.65		Lp	Brun	■ 0.0-0.0m L'incise sableuse Humide													
2			Lp		Brun- focail	■ 0.0-2.5m L'incise sableuse Présence en petite quantité des gravier calcaires ■ 0.2-3.5m Présence de couche calcaire Humide														
3	277.05	2.55	1.50		SL	Brun- focail Brun- gris	■ 2.5-15.0m Sables fins Interstratification des couches d'argile sableuses par endroit Présence des graviers en petite quantité ■ 0.2-4.5m Présence de couches calcaires 2.5-4.0m : Carotte de roche récupérée par endroit 6.0-15.0m : Carotte de roche récupérée 13.0-14.0m : Présence de grès par endroit Présence de couche calcaire de 3m Moyennement dense à très dense Humide	11/33	3	4	7			3.0						
4																	15			
5																				
6												50/33	16	22	28			6.0		
7																				
8																		48		
9												50/13	34	50				26	9.0	
10																				
11																		100		
12												50/12	50						12.0	
13																		68		
14																				
15	234.55	15.00	12.90								Fin de sondage BB-27 à 15.00m	50/10	50						15.0	
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				

Figure A.10 : Résultats donné par l'essai SPT BB-27

RAPPORT DE FORAGE

Failli N° : 1/1

PROJET				La Union Automobile reliant Autoroute Est-Ouest au nouveau pôle Industriel à Béni Saf (APD)				SONDAGE N°				BB-28				TYPE D'ÉCHANTILLON			
LIEU				Béni-Saf-Glad Bel Abbès				COORDONNÉES				E : <u>662670.88 m</u> N : <u>3906471.60 m</u> Z : <u>238.55 m</u>				☒ S.P.T			
DATE				2015.3.16 ~ 2015.3.16				NIVEAU MAPPE				- m				☒ PARAFFINAGE			
								TYPE DE FORAGE				<u>Carottage</u>							
ECHÈLES	ALTITUDE (m)	PROFON- DEUR(m)	ÉPAISSEUR (m)	LES OBSERVATIONS DE TERRAIN				S.P.T			RECUPERATION		ÉCHAN- TILLON						
				SYM- BOLE	LPC	COU- LEUR	DESCRIPTION	N	N° de Coupes			Récap. (%)	RDD (%)	Prof. (m)	Type				
									15cm	15cm	15cm								
0	238.55	0.55	0.55		Ap	Brun	■ 0,0-0,5m Argiles lucides Humide												
1							■ 0,5-13,0m Sables lucide-graveleux 4-6,5-20,8cm Prédominance du limon par endroit Présence minime de faible Présence des roches calcaires, gès, et conglomérat de 5-20cm par endroit Présence minime des cristaux de gypse 5,5-10,8m : intercalation d'argile lisseuse visiblement deux à très dense Humide	24/30	8	9	15			17		3,0	1-1		
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13	236.55	13.00	12.60																
14																			
15	223.55	15.00	2.00																
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			

Figure A.11 : Résultats donné par l'essai SPT BB-28

RAPPORT DE FORAGE

Feuille N° : 1 / 1

PROJET		Le Liaison Autoroutière reliant Autoroute Est Ouest au nouveau pôle Industriel à Béni Saf (APO)		SONDAGE N°		BB-29		TYPE D'ÉCHANTILLON																
LIEU		Bénissat-Sarf Ben Abbes		COORDONNÉES		E : 988000.00m N : 390000.00m Z : 243.50m		S.P.T																
DATE		2014.12.24 - 2014.12.24		NIVEAU NAPPE		3.70m		PARAFFINAGE																
				TYPE DE FORAGE		Carottage																		
ECHELLE	ALTITUDE (m)	PROFON-DEUR(m)	ÉPAISSEUR (m)	LES OBSERVATIONS DE TERRAIN			S.P.T			RECUPERATION		ÉCHAN-TILLON												
				SYM-BÔLE	LPC	COU-LEUR	DESCRIPTION	N	N° de Coups			Récup. (%)	RCD (%)	Prof (m)	TYPE									
								15cm	15cm	15cm														
1	243.00	0.50	0.50		Ap	Brun	■ 0.0-0.5m Arg. à limono-sableuse Humide	1700	5	7	10	25		1.20	P									
2			U		Brun	■ 0.5-3.2m Limon arg. à sableux Présence minime des graviers ■ 0.2-1.0m Pantefine : 1.25-1.5m Humide	1.5																	
3	240.30	3.20	2.70											3.0										
4					Gr	04-fincé Bran- chir	■ 3.2-6.0m Gaviers limono-sableux Prédominance de sables par endroit ■ 0.5-5.0m Moyennement dense à dense Humide	3700	12	18	19	7			U									
5																								
6																			6.0					
7	239.70	6.80	3.60		Roche	04-fincé	■ 6.0-14.0m Conglomérat Intercalaire de fragment de roche en partie 5.0-8.0m : Décomposition des éléments lors du forage caractérisé de sa friabilité Alternance des grès et des schistes	6020	21	26	24	54			U									
8																			90					
9																								
10																								
11																								
12																								
13				Lp	04-fincé		■ 14.0-15.0m Limon sableux Présence de la même Partie supérieure : 40cm de roche de cimentage récupérée Intercalaire de fragment de roche en partie Dur. Humide	6020	21	26	24	64		15.0	U									
14	229.50	14.00	7.20																					
15	228.50	15.00	1.00																					
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								

Figure A.12 : Résultats donné par l'essai SPT BB-29

RAPPORT DE FORAGE

Feuille N° : 1 / 1

PROJET		Le <u>lison</u> Autoroutière reliant Autoroute Est-Ouest au nouveau pôle Industriel à Saint Saf (APCD)		SONDAGE N°		<u>BB-30</u>		TYPE D'ECHANTILLON							
LIEU		<u>Bénissat-826 Bst Adhes</u>		COORDONNEES		E : <u>688445.88m</u> N : <u>3995095.66m</u> Z : <u>281.50m</u>		☒ S.P.T ☐ PARAFFINAGE							
DATE		2015,1,6 - 2015,1,6		NIVEAU NAPPE		- m									
				TYPE DE FORAGE		<u>Carottage</u>									
Echelle	ALTITUDE (m)	PROFON-DEUR(m)	EPAISSEUR (m)	LES OBSERVATIONS DE TERRAIN				S.P.T			RECUPERATION		ECHAN-TILLON		
				SYM-BOLE	LPC	COU-LEUR	DESCRIPTION	N	N° de Coups			Récap. (%)	RGD (%)	Prof (m)	TYPE
									15cm	15cm	15cm				
1	280.25	1.35	1.35		Ap	Brun	■ 0,0-1,3m Argile limono-graveleuse Présence du sable d=0,2-3,0mm Humide					33			
2					U	Brun	■ 1,3-3,0m Limon argileux Présence minime des graviers d=0,2-1,0mm Présence du sable Pansifine : 2,5-2,9mm Humide	34/30	12	15	19			2,5 3,0 3,0	P
3	268.55	3.65	1.75												
4					Lp	Brun- clair	■ 3,0-7,5m Limon argile-graveleux d=0,5-3,0mm Présence du sable Très sable à clar, Humide	27/30	7	12	16	13		6,0	
5															
6															
7	244.55	7.55	4.55									3			
8					SL	Brun- foncé	■ 7,5-9,7m Sables limoneux Prédominance du limon par entail Dense, Humide	38/30	15	18	20			9,0	
9	241.85	9.75	2.25												
10	240.85	10.70	1.05		Gr	Brun- foncé	■ 9,7-10,7m Graviers sabbins d=0,2-1,0mm Conglomérat mais très faible Roche cailloute récupérée Humide					77			
11					Lp	Brun- foncé	■ 10,7-12,2m Limon Présence des graviers Roche cailloute récupérée Intercalaire des grès de saint-pierre Dsr, Humide	50/11	50					12,0	
12	239.35	12.20	1.50												
13					Roche	Gris- foncé	■ 12,2-17,2m Conglomérat Présence de grès par entail de 30-50cm Intercalaire de fragment de roche en partie					91			
14															
15															
16															
17	234.35	17.20	5.05		Lp	Gris- foncé	■ 17,2-18,0m Limon Roche cailloute récupérée Présence minime des sables Dsr, Humide	60/28	21	28	24			18,0	
18	233.50	18.00	0.80												
19															
							Fin de sondage 68-30 à 18,05m								

Figure A.13 : Résultats donné par l'essai SPT BB-30

RAPPORT DE FORAGE

Feuille N° : 1 / 1

PROJET		Le Liaison Autoroutière reliant Autoroute Est-Ouest au nouveau pôle Industriel à Bért Sal (APD)		SONDAGE N°		BB-31		TYPE D'ECHANTILLON							
LIEU		Bértus-P&M Bel Abbès		COORDONNÉES		E : 000015.00m N : 200000.00m Z : 201.00m		S.P.T							
DATE		2014.12.25 ~ 2014.12.28		NIVEAU NAPPE		- m		PARAFFINAGE							
				TYPE DE FORAGE		Carottage									
ECHELLE	ALTITUDE (m)	PROFON-DEUR (m)	ÉPAISSEUR (m)	LES OBSERVATIONS DE TERRAIN			S.P.T			RECUPERATION		ECHANTILLON			
				SYM-BOLE	LPC	COU-LEUR	DESCRIPTION	N	N° de Coups			Récap. (%)	RDD (%)	Prof. (m)	TYPE
								15cm	15cm	15cm					
1	290.20	0.00	0.00		Ap	Saun	■ 0.0-0.5m Argile limono-sableuse Humide								
2					Ap	Saun	■ 0.5-3.2m Argile limono-sableuse Présence minérale des sables Présence minérale des graviers par endroit 0.5-1.0m : Présence des graviers ■ 1.0-2.0m : Présence des graviers ■ 2.0-3.2m : Présence des graviers Parallèle : 1.2-1.6m 2.1-2.25m 2.25-2.4m Moyennement solide, Humide	9/30	3	4	5	29	1.2 1.6 2.1 2.25 2.4 3.0	P	
3	277.20	3.30	2.50												
4					Lp	Saun limono- grésilleux									
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13	268.20	12.80	9.50												
14	267.00	14.00	1.20		SL	Bruc- dair	■ 12.0-14.0m Sables limono-graveleux ■ 14.0-14.5m : Présence des sables et de l'argile par endroit Humide	26/30	10	14	12	29	9.0		
15	266.30	14.70	0.70		Roche	Saun	■ 14.0-14.7m Conglomérat Intercalaire de fragment de roche en partie Roche très dure très solide	50/25	16	30	20	27	12.0		
16					Roche	Gale- foncé	■ 14.7-17.0m Rouilles Craquelures et fissures Présence de calcaire Intercalaire de fragment de roche en partie								
17	264.00	17.00	2.30												
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															
61															
62															
63															
64															
65															
66															
67															
68															
69															
70															
71															

Figure A.14 : Résultats donné par l'essai SPT BB-31

Calcul des fondations :

Déterminer la zone de sol utile pour l'estimation de la capacité portante :

$$Z_u = (D + 2B)$$

Utiliser une formule empirique en fonction du rapport BD :

$$K_d = 1 + 0.33 \cdot (BD) \text{ Applicable si } BD \leq 1$$

Utiliser la formule empirique suivante :

$$Q_{adm} = 8 \cdot N_{spt} \cdot K_d \cdot (1 + BD)^2$$

Prend en compte un **coefficient de sécurité (F_s)** :

$$Q_l = Q_{adm} \cdot F_s - 2q_0$$

État limite ultime (ELU)

- Comparer la charge maximale transmise à la capacité portante ultime Q_l

. État limite de service (ELS)

- Calcul de la pression de service admissible :

$$q_{ser} = q_0 + \gamma_b \cdot D$$