



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master
académique

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Études géotechnique et gestion d'un projet routier

Présenté et soutenu par

Assia MEKAHLIA

Devant le jury :

		Grade	Etablissement
Président :	Adel DJELLALI	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	Zied BENGHAZI	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineur :	Ali HAMDANE	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2017-2018

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mon très cher père, qui me nourrit toujours de ses sages conseils.*
- ✓ *Ma très chère mère, celle qui m'apporte toujours sans condition son amour.*
- ✓ *Ma très chère fiancé HAKIMI Sami*
- ✓ *Mes chers frères, mes chères sœurs qui me soutiennent toujours.*
- ✓ *Mes chères amis Samir et Tahar, Oussama, Amina, Rafiha, Ilhelm, Soumia, Sara, Sara.*
- ✓ *Tous mes professeurs.*
- ✓ *Tous mes amies et collègues.*

Assia



Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH, le Tout Puissant, qui me guide toujours vers la bonne voie, qui me donne la volonté et la patience afin de réaliser mes objectifs, et qui m'aide à surmonter tous les obstacles rencontrés sur le chemin du savoir.

Je tiens tout d'abord à remercier mes parents qui m'ont toujours épaulé et sans qui je n'aurais pas pu achever mes études.

Un très grand remerciement que j'adresse à mon encadreur Monsieur Zied BENGHAZI pour la patience dont il a fait preuve envers moi et la confiance qu'il m'a accordée.

Je remercie les honorables membres du jury pour le temps qu'ils ont bien voulu m'accorder et pour avoir consenti avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens aussi à remercier mes chères frères et sœurs ainsi que mes oncles et tantes qui n'ont pas cessé de m'encourager.

Je tiens à remercier spécialement toutes les personnes qui travaillent dans la direction des travaux publics de Tébessa.

Un remerciement spécial à mon cousin Djalel MEKAHLIA pour son encouragement et son aide.

Mes remerciements vont aussi à mes enseignants, à tous mes amis Oussama, Tahar, Samir, Amina, Sara, Rafiha, Sara, Ilhem, Soumia et tous mes collègues pour leur encouragement et leur aide.

Résumé

L'Algérie connaît des problèmes importants, que ce soit le retard lors de l'exécution des projets routiers, ou les dégradations ultérieures de la chaussée, dues à la négligence des paramètres géotechniques par les bureaux d'étude.

Dans ce mémoire, on a effectué une étude l'étude géotechnique d'un projet routier selon le guide de terrassement routier, ainsi que le dimensionnement de la chaussée par différentes méthodes. L'utilisation du logiciel ALIZE a permis d'optimiser ces dimensions en limitant les déformations au-dessous des valeurs admissibles.

L'emploi aussi des méthodes et des logiciels modernes de planification et de gestion des projets a réduit considérablement le temps estimé pour la réalisation du projet étudié.

Mot clés: Routes; Etude géotechnique; Dimensionnement des chaussées; Déformations; Compactage; Gestion des projets.

تواجه الجزائر مشاكلًا جدية، سواء من ناحية التأخر في آجال إنجاز مشاريع الطرق، أو في التدهور اللاحق على مستوى تعبيد الطريق، بسبب إهمال العوامل الجيوتقنية من طرف مكاتب الدراسات.

في هذه المذكرة، تم إنجاز دراسة جيوتقنية لمشروع طريق وفقا لدليل أعمال الحفر والردم
ALIZE حديد أبعاد

بتحسين هاته عن طريق تحديد التشوهات إلى ما دون القيم المسموح بها.

كما أدى توظيف أساليب وبرامج التخطيط وإدارة المشاريع الحديثة إلى تقليص الوقت المقدر

الكلمات المفتاحية: الطرق؛ تحديد أبعاد الطرق؛ التشوهات؛ ترصيص التربة؛ إدارة المشاريع.

Abstract

Algeria faces major problems, whether in the delay of road projects, or the subsequent deteriorations of pavement, due to the neglect of geotechnical parameters by the design offices.

In this thesis, we conducted a geotechnical study of a road project according to the road's earthworks guide, as well as pavement design by different methods. The use of ALIZE software made it possible to optimise this design by limiting the strains below the admissible values.

The use of modern planning and project management methods and softwares has significantly reduced the estimated time to achieve of the studied project.

Keywords: Roads; Geotechnical study; Pavement design; Strains; Compaction; Project management.

Notations et abréviations

A	L'agressivité d'un essieu sur structure neuve moyen et fort trafic.
APS	Avant-projet sommaire
APD	Avant-projet détaillé
AR	L'arase de terrassement
B	Exposant climatique.
BB	Béton bitumineux.
C	Compactage.
c1, c2, c3	Coefficients d'équivalence selon le matériau.
CBR	California Baring Ratio.
CBS	Costing Breakdown Structure.
CEBTP	Centre expérimentale de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics.
c_f	Coefficient de foisonnement.
CPT	Cahier de prescription technique.
c_t	Coefficient de Tassement.
Cth	Capacité théorique.
Cv	Coefficient de variation climatique.
D.I.C.T	Les déclarations d'intention de commencement de travaux.
d_m	Distance moyenne de transport.
DTP	Direction des travaux publics.
e1, e2, e3	Épaisseurs réelles des couches.
e	L'indice de vides.
E	Module de Young.
E1 à E3	Environnements de la route.
Eeq	Épaisseur équivalente.
ESU	Enduit Superficiel.
FCO	Formation continue obligatoire.
FCOS	Formation continue obligatoire de sécurité.
FIMO	Formation initiale minimum obligatoire.
G	Action sur la granularité.
G0 à G5	Les missions géotechniques.

GB	Grave bitume.
GC	Grave concassé.
GNT	Grave non traité.
GTLH	Grave traité au liant hydraulique.
GTR	Guide des Terrassements routiers.
H	Hauteur des remblais.
I	Indice CBR (sol support).
Ic	L'indice de consistance.
Ip	Indice de Plasticité.
IPI	L'indice portant immédiat.
K	Coefficient permettant de tenir compte du type d'essieu.
K₁	Coefficient lié à l'environnement.
K₂	Coefficient de réduction de capacité.
LCPC	Laboratoire centrale de pont de chaussées.
LCTP	Laboratoire Central des Travaux Public.
CTTP	Control technique des travaux publics.
TJMA	Trafic en moyenne journalière annuelle.
L	Grandes liaisons (autoroutes).
MJA	poids lourd journalier moyen de la voie la plus chargée, pendant l'année de mise en service.
MNT	Matériaux non traités.
MTLH	matériau traité au liant hydraulique.
n	La porosité.
N	Le nombre journalier de camion de plus 1500Kg à vide.
NPL	Nombre de poids lourds pendant la période de comptage.
NFP	Normes françaises.
OBS	Organisation Breakdown Structure.
P	Essieu de charge.
PBS	Product Breakdown Structure.
Pj	Pluie moyenne journalière.
PL	Poids lourd.
PERT	Program Evaluation and Review Technique.
RPi	Reseau principal.

PST	Partie supérieure de terrassement.
Q	Débit du point horaire normal
Q_{adm}	Débit admissible par voie.
q_i	Objectif du compactage.
R	Régalage.
RBS	Ressources Breakdown Structure.
RN	Routes nationales.
RP	Le réseau principal.
RS	Le réseau secondaire.
s	La portance de sol-support de chaussée.
S	Protection superficielle.
SETRA	Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes.
Sr	Degré de saturation.
T	Transit (route express à une chaussée).
T₀	Le trafic à l'arrivée pour origine.
Ti	Classe du trafic.
Teff	Trafic effectif.
Ti	La classe de trafic.
TJMA_h	Le trafic à l'année horizon.
TJMA₀	Le trafic à l'année de référence.
TPC	Terre-plein central.
TVC	Tout venant de la carrière.
TVO	Tout venant de l'oued.
V	Volume des terres.
VBS	La valeur au bleu de méthylène.
W	Action sur la teneur en eau.
WBS	Work Breakdown Structure.
WL	La limite de liquidité.
Wn	La teneur en eau naturelle.
Wopn	L'Optimum Proctor Normal.
Wp	La limite de plasticité.
z	Pourcentage de poids lourd.
ρ_{doPTN}	Masse volumique sèche à l'Optimum Proctor Normal.

ρ_{dOPTM} Masse volumique sèche à l'Optimum Proctor Modifié.

τ Le taux de croissance.

ν Coefficient de poisson.

Liste des Figures

	Titre	La page
Figure 1	Les différentes voies routières.	5
Figure 2	Les différentes voies ferroviaires : (a) tramway, (b) trains.	5
Figure 3	Route romaine, Timgad – Algérie	6
Figure 4	Structure de la chaussée romaine	7
Figure 5	Structure de chaussée (Telford)	7
Figure 6	Structure type de la chaussée Macadam	7
Figure 7	Les différentes catégories des routes en Algérie	12
Figure 8	Schéma des différentes couches qui constituent la structure de la chaussée.	17
Figure 9	Définition des différents termes (GTR, 2000)	17
Figure 10	Structure type d'une chaussée rigide	20
Figure 11	Structure type d'une chaussée semi rigide	22
Figure 12	Structure type d'une chaussée souple	22
Figure 13	Compositions structurelles des divers types de chaussées	25
Figure 14	Classification du trafic selon le (SETRA)	37
Figure 15	La démarche du catalogue	45
Figure 16	Objectif de tranchées sous chaussée	56
Figure 17	Objectif de tranchées sous trottoir	56
Figure 18	Objectifs de tranchées sous accotement	57
Figure 19	Objectif de tranchée sous espace vert	57
Figure 20	Compacteur à pneu (Pi)	58
Figure 21	Compacteur statique à pieds dameurs	59
Figure 22	Compacteurs statique (à cylindre lisse)	59
Figure 23	Les plaques vibrantes	60
Figure 24	Éléments constitutifs du profil en travers	61
Figure 25	Profil en travers type d'une route	65
Figure 26	Profil en travers sous l'ouvrage d'art	66
Figure 27	Ligne de terre HH'	72
Figure 28	L'exécution des transports	73
Figure 29	Situation géographique de la ville de Tébessa	76
Figure 30	Carte topographique de ville de Tébessa	77
Figure 31	Carte des sols de la ville de Tébessa.	79
Figure 32	Carte hydrogéologique de la ville de Tébessa	81
Figure 33	diagramme de la Température et pluviométrie de Tébessa	82
Figure 34	Epure de Lalanne du tronçon entre les profils PF1 et PF52.	94
Figure 35	Corps de chaussée selon la méthode CBR	99
Figure 36	Structure de chaussée type1.	101
Figure 37	Corps de chaussée selon la méthode du catalogue algérienne	101
Figure 38	Définition de la structure de la chaussée selon le catalogue algérien	103

Figure 39	Définition de chargement : charge de référence	103
Figure 40	Résultat de calcul mécanique : Tableau des résultats	104
Figure 41	Choix de matériaux des différentes couches	104
Figure 42	Choix des variantes de PF	105
Figure 43	Calculs de valeur admissible	105
Figure 44	Classification du trafic et coefficient d'agressivité de BB et GB	106
Figure 45	Choix des risques de calculs	106
Figure 46	Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon le catalogue algérien	107
Figure 47	Définition de la structure (CBR).	107
Figure 48	Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon la méthode de dimensionnement CBR	108
Figure 49	Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon le catalogue algérien, selon la 8 ^{ème} variante.	109
Figure 50	Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon le catalogue algérien, selon la 3 ^{ème} variante.	109
Figure 51	Les contraintes sur un projet	122
Figure 52	Cycle de vie d'un projet routier	124
Figure 53	Les acteurs du projet routier.	128
Figure 54	un exemple de diagramme de gantt simple	132
Figure 55	exemple de technique de PERT	133
Figure 56	La courbe de Gantt	135

Liste des Tableaux

	Le titre	Page
Tableau 1	Durées de vie adoptées	28
Tableau 2	Risques adoptés pour le réseau RP1	29
Tableau 3	Risques adoptés pour le réseau RP2	30
Tableau 4	Coefficient d'équivalence selon les nombres de voies	34
Tableau 5	Coefficient d'équivalence selon les caractéristiques des routes	35
Tableau 6	Coefficient « K1 »	36
Tableau 7	Coefficient « K2 »	36
Tableau 8	Capacité théorique « C _{th} »	36
Tableau 9	Classes de portance à long terme du sol support	38
Tableau 10	Classes de sols et les plages de portance probables	39
Tableau 11	Coefficients d'équivalences	42
Tableau 12	Classes de trafic poids lourds	43
Tableau 13	Objectif de compactage en % de σ_{opt}	55
Tableau 14	Les valeurs de coefficient Cf et Ct	68
Tableau 15	Géologie et hydrogéologie de la wilaya de Tébessa.	80
Tableau 16	Données climatiques annuelles de la région de Tébessa	83
Tableau 17	Résultats des essais in-situ	85
Tableau 18	Structure de la chaussée	99
Tableau 19	Organisation des tâches du projet	136

Sommaire

Résumé	i
Notations et abréviations	ii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Sommaire	ix
Introduction générale	2
Chapitre I : Généralités sur les routes	4
1. Introduction	5
2. Les voies de transports terrestres	5
3. Les routes	6
3.1. Historique	6
3.1.1. Les routes romaines	6
3.1.2. Les routes de Telford	7
3.1.3. Les routes de Macadam	8
3.1.4. Les routes en Asphalte	9
4. Importance des routes	9
5. Classification et catégorie des voies routières	9
5.1. Classification administrative et juridique	10
5.2. Classification d'utilité pratique et de situation	10
5.3. Classification d'ordre constructif	11
5.4. Catégories des routes	11
5.4.1. Situation actuelle de l'Algérie et les perspectives futures	12
5.4.2. Schéma directeur routier et autoroutier	13
6. Caractéristiques des différentes classes routières	14
6.1. Circulation et accès	14
6.2. Débit	15
6.3. Écoulement	15
6.4. Vitesse de base	15
6.5. Vitesse de marche moyenne	15
6.6. Vitesse pratiquée	16
6.7. Types de véhicules	16
6.8. Raccordements	16
7. Les chaussées	16
7.1. Les différentes couches de chaussée	17
7.1.1. Couche de surface	17
7.1.2. Couche d'assises	18
7.1.3. Couche de forme	19
7.2. Rôle de la chaussée	20

7.3.	Les différentes catégories de chaussée	20
7.3.1.	Les chaussées rigides	21
7.3.2.	Les chaussées semi rigides	22
7.3.3.	Structure d'une chaussée souple	22
7.4.	Constitution de la chaussée	23
7.4.1.	Choix d'une constitution	23
8.	Conclusion	25
	Chapitre II: dimensionnement d'une chaussée souple	26
1.	Introduction	27
2.	Principe de dimensionnement	27
3.	Les facteurs déterminants pour les études de dimensionnement de chaussées	27
3.1.	Durée de vie	28
3.2.	Le risque de calcul considéré	29
3.2.1.	Définition du risque	29
3.3.	Le trafic	30
3.3.1.	Analyse du trafic	31
3.3.2.	Différents types de trafics	31
3.3.3.	Modèles de présentation de trafic	32
3.3.4.	Calcul de la capacité	33
3.4.	Détermination des caractéristiques du sol support de chaussée	38
3.4.1.	Présentation des classes de portance des sols	38
3.4.2.	Détermination de la classe de portance de sol-support de chaussée	39
3.5.	Recensement des facteurs climatiques	40
3.6.	Détermination d'une épaisseur équivalente	40
3.7.	Caractéristiques des matériaux	40
4.	Principales méthodes de dimensionnement	40
4.1.	Méthode de C.B.R (California Bearing Ratio)	41
4.2.	Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Official)	42
4.3.	Méthode d'Asphalte Institute	42
4.4.	Méthode du catalogue des structures	43
4.5.	Méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	44
4.6.	Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves	44
5.	Conclusion	45
	Chapitre III: Terrassement	47
1.	Introduction	48
2.	Phases des travaux de terrassement	48
2.1.	Préparation ou études préalables	48
2.2.	Excavation avec engins	49
2.3.	Transport des terrassements	50
2.4.	Mise en place de matériaux d'apport	51
3.	Les engins du terrassement	51
3.1.	Engins d'excavation	52
3.2.	Engins de nivellement	52

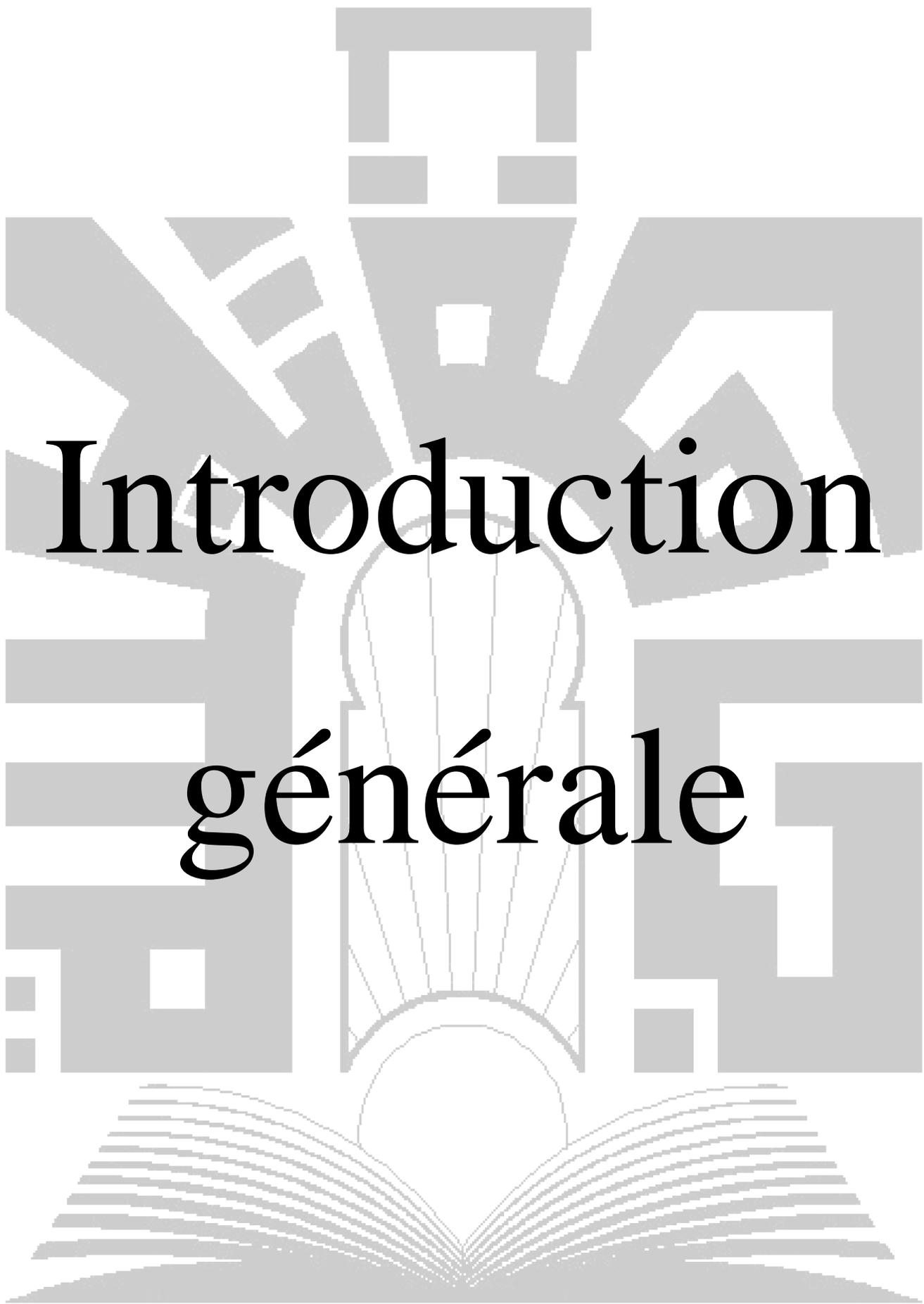
3.3.Engins de transport	52
3.4.Engins de compactage	53
3.5.Mini-engins	53
4. Principes d'étude des cycles d'engins	53
4.1.Cycle d'un engin	53
5. Notions d'atelier et d'échelon des terrassements	54
5.1.Atelier de terrassement	54
5.2.Échelon de terrassement	54
6. Compactage des sols	55
6.1.Objectifs de densification	55
6.2.Objectifs pour les tranchées	56
6.3.Matériels de compactage	58
6.3.1. Les compacteurs à pneu (Pi)	58
6.3.2. Les compacteurs statiques (à pieds dameurs)	58
6.3.3. Les compacteurs vibrants à pieds dameurs	60
6.3.4. Les plaques vibrantes (PQi)	60
7. La géométrie des routes	61
7.1.Profil en travers	61
7.2.Profil en travers de la route	65
7.3.Profil en travers sous un ouvrage d'art	65
8. Etude de Cubature	66
8.1.Foisonnement et tassement	67
9. Mouvements des terres	67
9.1.Objectifs du mouvement des terres	69
9.2.Transport des terres	69
9.2.1. Transports transversaux	69
9.2.2. Les transports longitudinaux	69
9.2.3. Epure de Lalanne	69
9.2.4. Principe de l'épure de Lalanne cubature	70
9.2.5. Distance moyenne de transport	70
9.2.6. Etablissement de l'épure de Lalanne	71
9.2.7. Ligne de répartition des transports	71
10. Conclusion	73
Chapitre IV: étude géotechnique	74
1. Introduction	75
2. Les missions de la géotechnique	76
3. Présentation générale	76
3.1. Situation générale	77
3.2. Contexte topographique	78
3.3. Contexte géologique	78
3.3.1. Géologie générale	78
3.3.2. Géologie locale	79
3.4. Contexte hydrogéologique	81
3.5. Contexte climatologie	81

3.5.1.	Climat	82
3.5.2.	Précipitation	82
3.5.3.	Température	83
3.6.	Contexte tectonique	84
3.7.	Etude générale de la zone d'étude	84
3.7.1.	Localisation de la zone d'étude	84
3.7.2.	Etude géotechnique	84
3.8.	Classification du matériau selon le GTR (guide de terrassement routier 1992)	90
3.8.1.	Paramètres retenus pour la classification des sols	91
3.8.2.	Condition d'utilisation des matériaux en remblai	91
3.9.	Terrassement	91
3.10.	Cubature du terrassement	92
4.	Dimensionnement de la chaussée	92
4.1.	Méthode CBR	92
4.2.	La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves	97
4.3.	Choix du corps de chaussée	98
5.	Modélisation des structures types et calcul des contraintes et déformations	99
5.1.	Principe du programme ALIZE-LCPC	100
5.2.	Les Données de calcul	105
5.3.	Modélisation de la structure obtenue par la méthode de dimensionnement du catalogue Algérien	106
5.4.	Modélisation de la structure obtenue par la méthode de dimensionnement CBR	107
6.	Interprétation des résultats de calcul par ALIZE	107
7.	L'étude de compactage	110
7.1.	Étude de compactage du sol support	110
7.2.	Étude de compactage de la couche de forme	112
7.3.	Étude de compactage de la chaussée	114
8.	Conclusion	116
Chapitre V: organisation et gestion d'un projet routier		118
1.	Introduction	119
2.	Définition du Projet	119
3.	Groupe de processus dans la gestion de projet	119
4.	Structuration des projets	121
4.1.	Organigramme d'un projet	121
4.1.1.	Le code WBS (Work Breakdown Structure) Structure de répartition du travail	122
4.1.2.	Le code PBS (Product Breakdown Structure) Structure de répartition du produit	122
4.1.3.	Le code OBS (Organisation Breakdown Structure) Structure de répartition de l'organisation	123
4.1.4.	Le code RBS (Ressources Breakdown Structure) Structure de répartition des ressources)	123

4.1.5. Le code CBS (Costing Breakdown Structure)	
Structure de répartition des coûts)	123
5. Le projet routier	123
5.1. Cycle de vie d'un projet routier	123
5.2. Phase 1: « Études préalables	124
5.2.1. Étape 1: Études d'opportunité	124
5.2.2. Étape 2: Études de faisabilité	125
5.2.3. Étape 3 : Cadrage du projet	125
5.3. Phase 2: « Conception »	125
5.3.1. Étape 1: Avant-projet sommaire (APS)	125
5.3.2. Étape 2 : Avant-projet définitif (APD)	125
5.3.3. Étape 3: Procédure contractuelle	126
5.4. Phase 3: « Construction »	126
5.4.1. Étape 1 : Exécution des travaux	126
5.4.2. Étape 2 : Suivi des travaux	126
5.5. Phase 4: « Clôture »	126
5.5.1. Étape 1: Procédure de clôture	127
5.5.2. Étape 2 : Transfert à l'exploitant	127
5.5.3. Étape 3 : Evaluation	127
6. Les acteurs du projet routier	127
7. Organisation du chantier	128
7.1. Organisation du chantier	128
7.1.1. Les personnes	128
7.1.2. Le matériel	129
7.2. Préparation du chantier	130
7.2.1. Les objectifs de la préparation	130
7.2.2. Préparation administrative du chantier	130
7.2.3. Préparation technique du chantier	131
7.3. Préparation et installation de chantier	131
7.4. Mise en remblais des matériaux	131
7.5. Réhabilitation	131
7.6. Contrôle	132
8. Techniques de planification	133
8.1. le diagramme de Gantt	133
8.2. technique PERT	134
9. Présentation de Microsoft Project (MS Project)	134
10. La gestion de cas d'étude	135
11. Conclusion	137
Conclusion générale et recommandations	138
Bibliographie	141
Annexe A : Etude géotechnique	I
Annexe B : Classification du sol	II
Annexe C : Conditions d'utilisation des matériaux selon GTR	VII
Annexe D : Cubature du PF1 au PF52	XIII

Annexe E : Conditions de compactage pour l'utilisation des matériaux selon GTR
Annexe F : Diagramme de Gantt par MS Project

XV
XVIII

The background features a large, light gray watermark of the University of Tébessa logo. The logo consists of a central emblem with a sunburst or fan-like shape at the top, a circular element in the middle, and a stylized open book at the bottom. The text 'UNIVERSITE DE TEBESSA' is written in a sans-serif font at the very bottom of the watermark.

Introduction générale

UNIVERSITE DE TEBESSA

Introduction générale

L'évolution des voies de transports divers a permis le progrès et la prospérité économique et politique des nations. Hors que les voies terrestres, précisément les voies routières, sont encore les voies de transport principales, permettant la circulation de plus de 80 % des gens et des marchandises à travers le monde.

La construction des routes nécessite une étude géotechnique adéquate pour éviter les détériorations et les désordres qui peuvent se produire lors de l'exploitation de la route, avant même d'atteindre la fin de vie théorique pour laquelle la chaussée a été conçue.

Le compactage des différentes couches constituant la route dans les différentes phases de sa construction, permet d'améliorer le comportement mécanique de ces derniers, pour but d'avoir plus de stabilité et de portance des charges roulantes.

Une autre compétence à côté des compétences techniques, fait partie aussi de la discipline et compétences de l'ingénieur; il s'agit de la maîtrise de l'organisation des chantiers et de la gestion des projets. Cette compétence permettant la bonne maîtrise des différents moyens employés et la bonne optimisation et gestion du temps d'exécution.

Ce travail rentre dans le cadre de la géotechnique routière, il comporte les différentes phases de l'étude géotechnique: de la reconnaissance et classification de sols et des matériaux, jusqu'au dimensionnement de la chaussée par différentes méthodes et avec le logiciel ALIZE-LCPC; ainsi que la gestion du projet selon les méthodes modernes en employant les logiciels de gestions: MS Project et Gantt Project.

Pour atteindre cet objectif, nous avons divisé notre travail en cinq chapitres, répartis Comme suit:

Dans le premier chapitre, on va présenter des généralités sur les routes, leurs classifications et leurs types, puis dans le deuxième chapitre on va présenter les différentes méthodes de dimensionnement des chaussées souples. Ensuite, on va parler des terrassements et du compactage dans le troisième chapitre. L'étude géotechnique du

projet choisi sera l'objet du chapitre quatre. Et enfin, l'étude de la gestion de projet sera traitée dans le cinquième chapitre.

Chapitre 01

Généralité

sur les

Routes

UNIVERSITE DE TEBESSA

1. Introduction

Les travaux publics, notamment le domaine des routes, constituent un secteur stratégique, et participent au développement économique et social des pays, des villes, des provinces, et des régions lointaines. Le terme route vient du mot latin « via rupta » qui signifie voie frayée. C’est donc une voie de communication terrestre permettant de relier un point à un autre, un village à un autre, etc. [1].

2. Les voies de transports terrestres

Les deux principales voies de transport terrestres sont :

- ❖ Les voies routières : routes, pistes (figure 1) ;



Figure 1. Les différentes voies routières [2].

- ❖ Les voies ferroviaires : trains, tramways, monorails, métro (figure 2).



Figure 2. Les différentes voies ferroviaires : (a) tramway, (b) trains [2]

3. Les routes

Une route et au sens littéral une voie terrestre aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues [3].



Figure 3. Route romaine, Timgad – Algérie [4].

3.1. Historique

Les routes et les accès sont les plus grands projets qui ont donné une autre face au développement de l'humanité et les civilisations connues au cours de l'histoire, et parmi elles, la civilisation romaine qui a une grande faveur à partager et à diffuser ces techniques en monde entier.

Les Egyptiens et les Romains ont déduit rapidement que ces voies doivent être avoir une capacité à supporter la circulation des poids lourds (chars tirés), et à partir de là, la notion de la chaussée a été inventée, dont ils ont utilisé des matériaux minéraux durs sous forme de blocs qui est une technique provient de la maçonnerie. Cette technique a été utilisée pendant plus de 20 siècles [3].

3.1.1. Les routes romaines

Les routes romaines étaient composées de quatre couches (du haut en bas) [5] :

- Une couche de surface lisse, constituée de blocs polygonaux jointifs ;
- Une couche de base composée de gravier et de sable mélangé de chaux ;
- Une couche composée de moellons, de petites pierres et de mortier de chaux ;
- Une dernière couche constituée de moellons plats et de mortier de chaux.

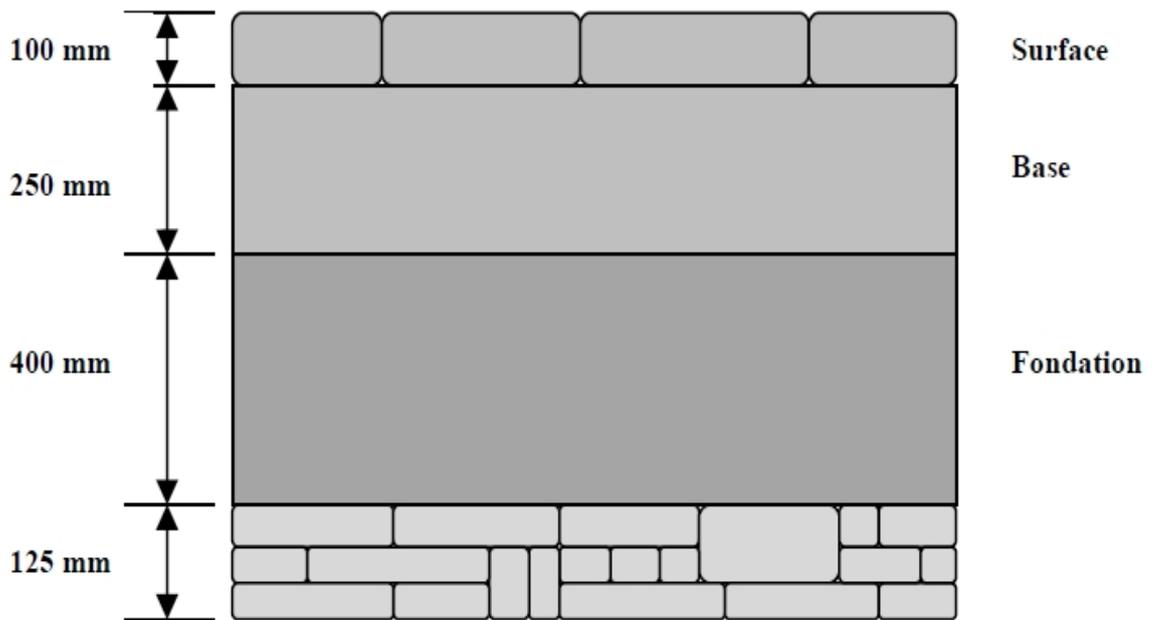


Figure 4. Structure de la chaussée romaine [5].

L'épaisseur totale de ces chaussées était environ 0,9 m, et la largeur des routes de 4,3 m ou moins. Une illustration de la structure de la chaussée romaine, est montrée à la figure 4.

3.1.2. Les routes de Telford

Thomas Telford (né en 1757) a tenté, autant que possible, de construire des routes sur les pentes relativement faibles afin de réduire le nombre de chevaux nécessaires au transport de fret. En outre, la section de chaussée a été d'environ 350 à 450 mm en profondeur et généralement spécifiée en trois couches. La couche inférieure large (100 mm) et de (75 à 180 mm) de profondeur, est constituée de grosses pierres.

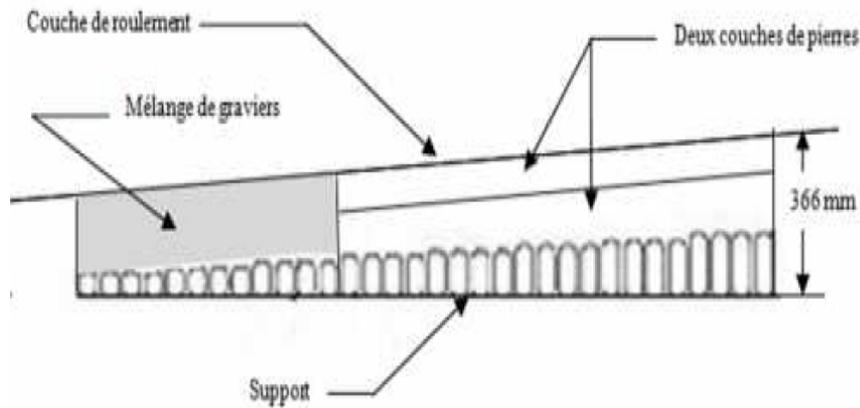


Figure 5. Structure de chaussée (Telford) [5].

C'est cette couche spécifique qui rend la conception unique de Telford. Au-dessus de cette couche, nous avons deux couches de pierres de 65 mm maximum. Elles sont surmontées par une couche d'usure de gravier (environ 40 mm d'épaisseur) (figure 5). Ce système pouvait supporter une charge correspondant à 88 KPa [5].

3.1.3. Les routes de Macadam

L'Ecosais John London McAdam a observé que la plupart des routes britanniques ont été composées de graviers arrondis. Il savait que cet agrégat angulaire sur un sol de fondation bien compacté aurait des résultats nettement meilleurs. Il a utilisé une surface en pente du sol de fondation sur laquelle il plaça deux couches d'environ 200 mm, surmontée d'une couche de roulement épaisse de 50 mm.

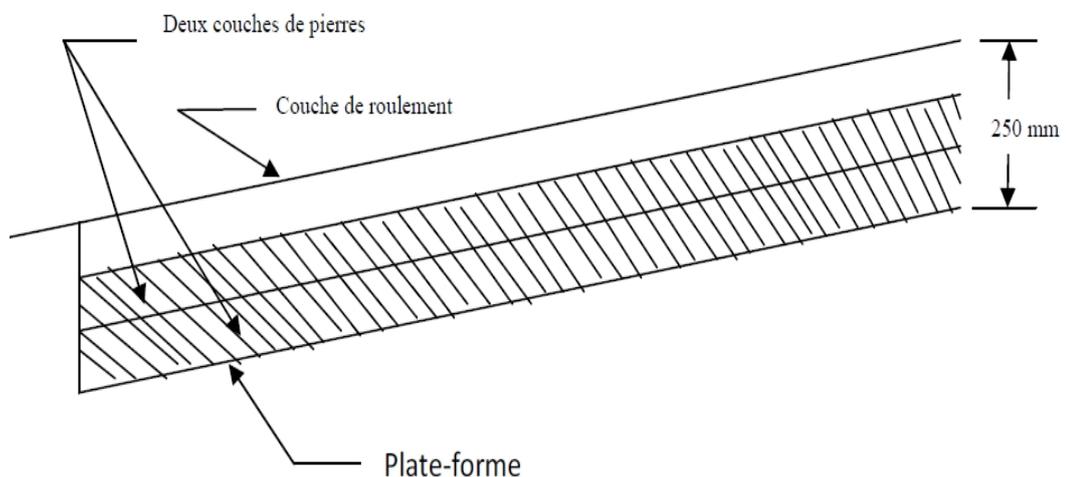


Figure 6. Structure type de la chaussée Macadam [5].

La plus grande charge admissible pour ce type de conception a été estimée à 158 KPa. La figure 6 montre la représentation typique d'une chaussée Macadam [5].

3.1.4. Les routes en Asphalte

La structure d'asphalte placée sur un socle en béton (fondation) est devenue populaire au cours des années 1800, décrit que ce système est constitué [5] :

- D'une couche de roulement 40 à 50 mm d'épaisseur composée de ciment et de sable d'asphalte ;
- D'une couche de liaison (environ 40 mm d'épaisseur) composée de pierres concassées et de ciment bitumineux ;
- D'une couche de base en béton, épaisse de 100 mm pour les chaussées de faibles trafics et de 150 mm les routes à trafics élevés.

L'épaisseur finale était basée sur le poids de la circulation, la résistance du béton et la portance des sols [5].

4. Importance des routes

La route est importante sur plusieurs plans [6] :

- a. Sur le plan social : la route facilite la communication et la fréquentation entre les hommes, l'implantation et l'accessibilité des infrastructures communautaires (école, dispensaire, marché, ...etc.).
- b. Sur le plan économique : elle permet l'évacuation des produits agricoles vers les centres villes, l'approvisionnement de campagnes avec des produits manufacturés.
- c. Sur le plan politico-administratif.

5. Classification et catégorie des voies routières

Une classification quelle que soit est en générale conçue à partir d'un certain point de vue, selon une certaine base de jugement c'est-à-dire selon ou critère qui peut être :

- d. D'ordre administratif et juridique ;
- e. D'utilité pratique et de situation ;
- f. D'ordre fonctionnel et type d'usage ;

- g. D'ordre constructif ;
- h. Faisant état de la nature du trafic.

5.1. Classification administrative et juridique

Cette classification comporte quatre classes :

- Chemins communaux (CC) ;
- Chemins de wilayas (CW) ;
- Routes nationales (RN) ;
- Autoroute (A).

Le réseau routier qui irrigue notre pays comporte aujourd'hui 112,696 km de routes dont 85360km sont revêtues soit 77% du réseau et 4910 ouvrages d'art, ce réseau est formé de [6] :

- Autoroutes : 1720 km ;
- Routes nationales : 29280 km dont 26087 km revêtue ;
- Chemins de wilayas : 23771 km dont 22027 km revêtues ;
- Chemins communaux : 59645 km dont 37246 km revêtues.

Ce réseau routier comprend :

- 2642 ouvrages d'art sur les routes nationales ;
- 1302 ouvrages d'art sur chemins de wilayas ;
- 966 ouvrages d'art sur les chemins communaux.

5.2. Classification d'utilité pratique et de situation

Elle comprend quatre classes [7] :

- Les routes urbaines : il s'agit des routes situées à l'intérieure des municipalités, ce sont des routes à grande capacité, leur fonction principale est d'arche miner le trafic jusqu'aux autoroutes.
- Les routes interurbaines (campagne) : une route multifonction séparée par un terre-plein central infranchissable, cette route est classée en trois types principaux :

- Les routes de type L, ainsi désignées par référence à la notion de grande liaison, sont les autoroutes ;
 - Les routes de type T, pour lesquelles la fonction d'écoulement du trafic de transit à moyenne ou grande distance est privilégiée, sont les routes express à une chaussée les routes de type R, qui constituent l'essentiel des réseaux des voies principales de rase campagne, sont multifonctionnelles ; ce sont *les* artères interurbaines et les "**routes**".
- Les routes forestières, situées en forêt.
- Les routes de montagnes, soumises à des contraintes particulières d'aménagement et d'entretien.

5.3. Classification d'ordre constructif

Selon le mode d'exploitation et de financement, nature du revêtement, le réseau routier est constitué à la fois de routes revêtues et de routes non revêtues.

On distingue les routes revêtues des routes en terre. Parmi les routes revêtues, il y a les routes revêtues en enrobés, en Enduits superficiels (couche de bitume ou émulsion de bitume et de gravillons) et les routes en béton [6].

5.4. Catégories des routes

L'ensemble des itinéraires de L'Algérie peut être classé en cinq catégories fonctionnelles, correspondant aux finalités économiques et administratives assignées par la politique d'aménagement du territoire (figure 7) [9] :

❖ Catégorie 1

- Liaisons entre les grands centres économiques, les centres d'industrie lourde(A) ;
- Liaisons assurant le rabattement des centres d'industrie de transformation(B) sur ce réseau.

❖ Catégorie 2

- Liaisons entre les centres d'industrie de transformation(B);
- Liaisons assurant le rabattement des pôles d'industrie légères diversifiées(C) sur le réseau précédent.

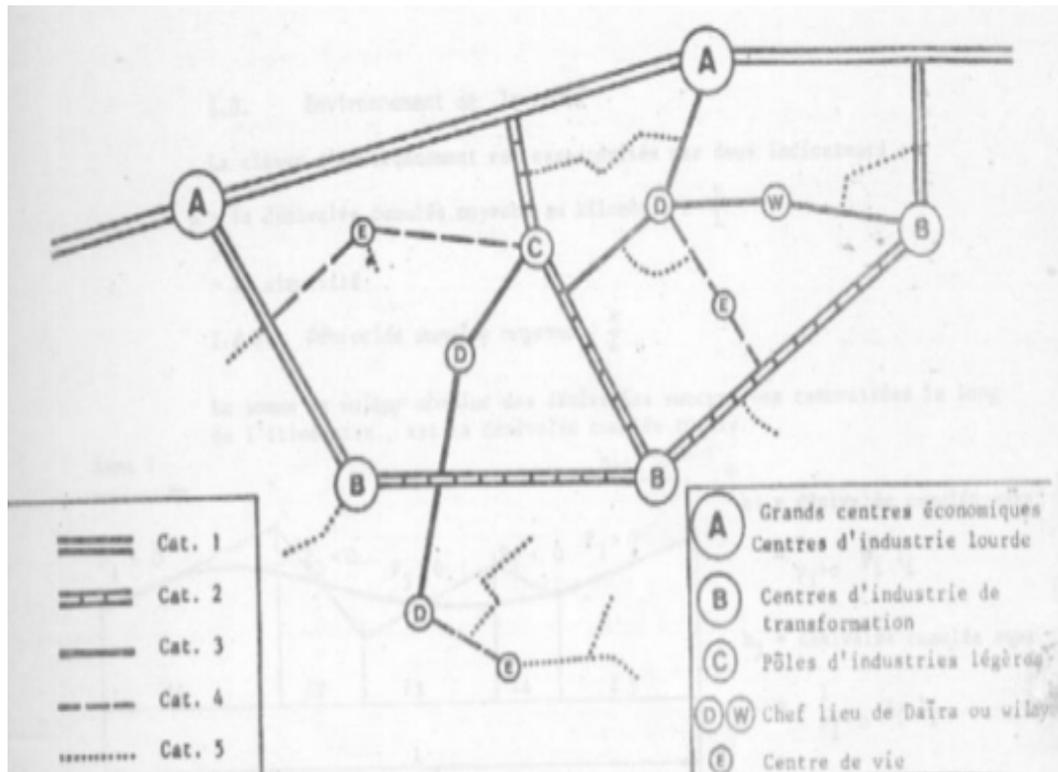


Figure 7. Les différentes catégories des routes en Algérie [6].

❖ **Catégorie 3**

- Liaisons des chefs-lieux de daïra (D) et de wilaya (W) non desservis par le réseau précédent, avec le réseau de catégorie 1 et 2.

❖ **Catégorie 4**

- Liaison de tous les centre de vie qui ne sont pas reliés au réseau de catégorie 1-2 et 3 avec le chef-lieu de daïra, dont ils dépendent, et avec le réseau précédent.

❖ **Catégorie 5**

- Routes et piste non comprises dans les catégories précédentes.

5.4.1. Situation actuelle de l'Algérie et les perspectives futures

La route joue un rôle de première importance, car, dans notre pays, 90 % du volume des échanges (de personnes et de marchandises) se font par transport routier. Cela reflète la prédominance du mode de transport routier par rapport aux autres modes.

On comprend, dès lors, tout l'intérêt que représente le développement du réseau routier ainsi que sa sauvegarde [6].

5.4.2. Schéma directeur routier et autoroutier

Le schéma directeur routier et autoroutier (SDRA) 2005/2025 est le référentiel de développement à court, moyen et long terme des infrastructures routière et autoroutière découlent d'une vision globale et d'une planification stratégique à l'horizon 2025, et décliné en trois phases [6] :

a. Première phase 2005-2010 construction du 1^{er} réseau structurant

- Engagement du 1^{er} réseau structurant [6] :
 - Autoroute est-ouest ;
 - 2^{ème} rocade autoroutière d'Alger ;
 - Route transsaharienne.
- Engagement de la mise à niveau aux normes internationales des infrastructures de base (Conception, études et réalisation) ;
- Parachèvement, construction et développement des infrastructures ;
- Engagement des actions principales d'intermodalité (route, rail, aéroport, port).

b. Deuxième phase 2010-2015 construction du 2^{ème} réseau structurant

- Engagement du 2^{ème} réseau structurant [6] :
 - Autoroute des hauts plateaux ;
 - Liaisons autoroutières reliant aux principaux centres urbains des 34 wilayas ainsi que Les aéroports et ports ;
 - Pénétrantes Nord-Sud ;
 - Transformation d'une partie de la transsaharienne en autoroute.
- Mise à niveau du réseau existant ;
- Poursuite du programme de développement du 1^{er} réseau structurant et consolidation et préservation Patrimoine ;
- Engagement des systèmes d'exploitation et de péage ;
- Maîtrise du système d'intermodalités.

c. Troisième phase 2015-2020 modernisation des systèmes de gestion et d'intermodalité

- Préservation des 1^{ER} et 2^{ème} réseaux structurants, modernisation du système de gestion et d'exploitation. Développement des systèmes d'intermodalité [6].

d. Quatrième phase 2020-2025 construction du 3^{ème} réseau structurant

- Engagement du 3^{ème} réseau structurant ;
- Parachèvement du maillage prévu par le schéma directeur à l'horizon 2050 ;
- Préparation des conditions au lancement du futur programme projeté à l'horizon 2050 [6].

6. Caractéristiques des différentes classes routières

La première étape d'une étude de planification, de conception ou d'administration routière consiste à désigner la classe à laquelle appartient la route (autoroute, route nationale, régionale, collectrice ou locale).

Pour ce faire, il faut étudier les caractéristiques de la circulation. Dans cette section sont décrites les caractéristiques importantes des différentes classes et leurs rapports entre elles [9].

6.1. Circulation et accès

Toute route remplit l'un ou l'autre ou encore les deux rôles essentiels : circulation et accès [9] :

- Les autoroutes et les routes nationales sont conçues pour la circulation de transit ;
- Les routes locales sont utilisées presque exclusivement pour l'accès aux propriétés adjacentes;
- Les routes collectrices et régionales assument ces deux rôles à des degrés différents.

6.2. Débit

Habituellement, de forts débits de circulation se trouvent sur les autoroutes, les routes nationales et régionales, et de plus faibles débits sur les routes collectrices et locales.

Cependant, la gamme des débits de circulation pour chaque classe de route est étendue et peut chevaucher les débits correspondant à d'autres classes [9].

6.3. Écoulement

Les routes ayant comme principale fonction une circulation de transit sur de longues Distances, telles que les autoroutes et les routes nationales, doivent présenter des caractéristiques d'écoulement permanent de la circulation.

L'écoulement sur les routes locales qui desservent les propriétés adjacentes est restreint par les rues transversales, les véhicules stationnés, et surtout, en milieu urbain, par divers usagers [9].

6.4. Vitesse de base

La vitesse de base varie selon les mouvements de circulation, l'importance accordée aux accès, le débit de circulation et son mode d'écoulement. Elle représente la vitesse constante la plus élevée à laquelle le tronçon de route peut être parcouru avec sécurité et confort lorsque les facteurs ne dépendent que de la géométrie de la route.

C'est en fonction de cette valeur que la conception des différents aménagements est effectuée, Cette vitesse correspond à la vitesse affichée plus 10 km/h [9].

6.5. Vitesse de marche moyenne

La vitesse de marche moyenne, aux heures creuses, varie sur les routes de même classe selon l'état de la chaussée, le degré d'exploitation des terrains adjacents, les accès à la route, les types de véhicules et la régulation de la circulation.

Elle est définie comme étant la valeur du 85^{ème} centile de la vitesse de tous les véhicules le long d'une route donnée déterminée selon la distance et le temps de marche (temps de déplacement moins les retards causés par des arrêts involontaires) entre deux points.

Dans l'ordre décroissant, la vitesse de marche moyenne est normalement plus élevée sur les autoroutes, les routes nationales et régionales que sur les routes collectrices et locales [9].

Elle peut influencer sur le choix de la vitesse de base sur les routes où les débits de circulation sont élevés.

6.6. Vitesse pratiquée

Il s'agit de la vitesse au 85e centile de tous les véhicules à un endroit précis. Cette vitesse, représentative de la combinaison des éléments géométriques et de l'environnement routier, peut être utilisée dans le cas d'interventions sur une route existante pour évaluer les besoins d'un projet routier en ce qui a trait à la conception géométrique. Elle permet aussi de déceler les incohérences entre les éléments géométriques successifs d'une route [9].

6.7. Types de véhicules

La proportion entre les différents types de véhicules (automobiles, autobus, camions) circulant sur une route dépend généralement de la vocation de celle-ci et, par conséquent, elle constitue un facteur de la classification routière. Les automobiles, les camionnettes ainsi qu'un faible pourcentage de camions circulent principalement sur les routes locales, alors qu'une proportion plus élevée de véhicules commerciaux circulent sur les autoroutes, les routes nationales et régionales [9].

6.8. Raccordements

Idéalement, dans le réseau routier, les routes locales doivent être reliées aux collectrices, les routes collectrices aux régionales et aux nationales, les routes régionales aux nationales et aux autoroutes, et les routes nationales aux autoroutes. Il est préférable de réduire au minimum les raccordements des routes locales aux nationales et aux régionale [9].

7. Les chaussées

Au sens géométrique : c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules [10].

Au sens structurel : c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges, leur déviation et leur transmission au sol [10].

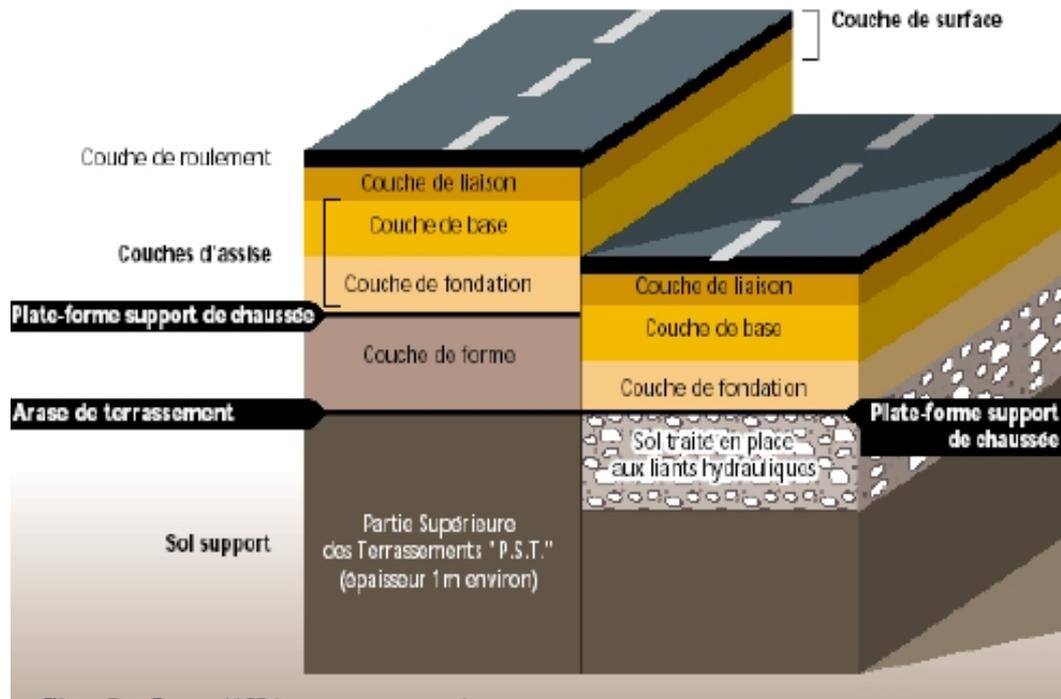


Figure 8. Schéma des différentes couches qui constituent la structure de la chaussée [11].

7.1. Les différentes couches de chaussée

La chaussée est une structure composée de plusieurs couches (multicouche), constituée de trois parties qui ont chacune un rôle bien défini.

7.1.1. Couche de surface

Elle est composée des couches de roulement et d'une couche de liaison et elle est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure [12] :

- La couche de roulement : qui est la couche supérieure, sur laquelle s'appliquent directement les actions du trafic et du climat (enrobé drainant, béton bitumeux, etc.) Son rôle est :

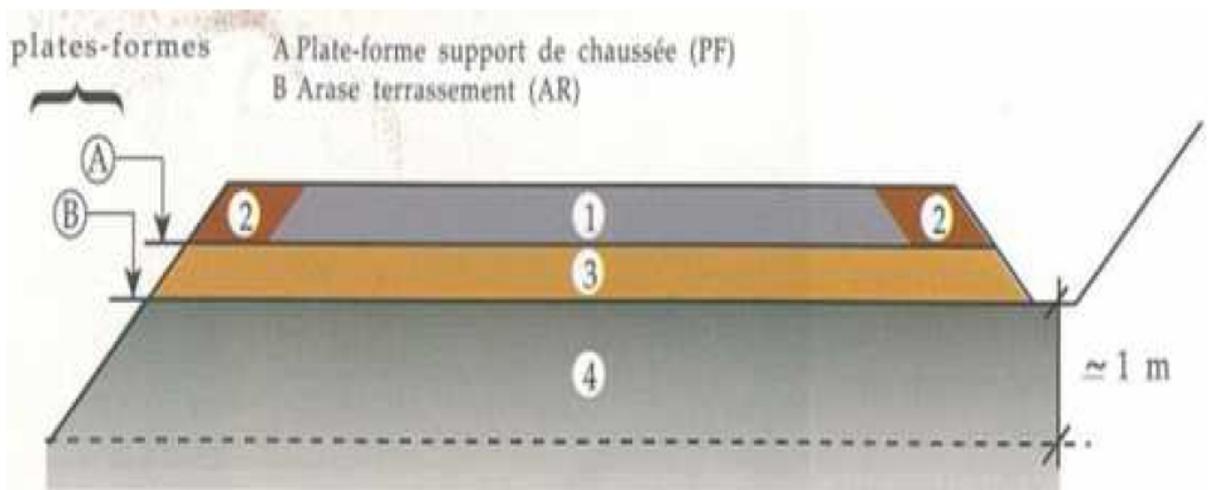
- ✓ Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation ;
- ✓ Imperméabiliser la surface de la chaussée ;
- ✓ Assurer la sécurité (adhérence) et le confort (bruit et uni.).

- Rôle de couche de liaison :
 - ✓ Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides ;
 - ✓ Assurer l'adhérence entre la couche de roulement et la couche sous-jacentes.

7.1.2. Couche d'assises

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches :

- Couche de base : Elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.
- Couche de fondation : Elle a le même rôle que celui de la couche de base [12].



1. chaussée (couche de roulement, base et fondation) ;
2. Accotements ;
3. Couche de forme ;
4. Partie supérieure des terrassements *PST* : épaisseur d'environ 1m de sol naturel (section en déblai) ou de matériau rapporté (section en remblai) située sous la couche de forme.

Figure 9. Définition des différents termes [8].

7.1.3. Couche de forme

La couche de forme est une structure plus au moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèse dans la conception de la chaussée.

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue « plate-forme support de chaussée PF [8].

On désigne par partie supérieure des terrassements ou PST la zone supérieure (environ un mètre d'épaisseur) des terrains en place (cas des profils en déblai) ou des matériaux rapportés (cas de profil de remblai). La plate-forme de la PST est l'ARASE de terrassement AR, (figure 9).

Fonctions et conception de la couche de forme

Elle est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support [8] :

❖ À court terme

Les différents objectifs sont :

- ✓ Un nivellement de la plate-forme support de chaussée permettant de réaliser la couche de fondation dans les tolérances d'épaisseur fixées ;
- ✓ Une portance suffisante, compte tenu en particulier des aléas météorologiques, pour une exécution correcte du compactage des couches de chaussées et l'obtention d'un bon uni ;
- ✓ Une protection du sol support vis-à-vis des intempéries ;
- ✓ Une traficabilité permettant la circulation dans des bonnes conditions, des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation ;
- ✓ éventuellement supporter le trafic de chantier pour d'autres besoins.

Dans un certain nombre de situations correspondant à de petits ou moyens chantiers, l'épaisseur de la couche de forme est fixée avec le seul objectif de permettre la réalisation de la chaussée.

❖ À long terme

- ✓ L'homogénéisation de la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante ;
- ✓ Le maintien dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, d'une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade de dimensionnement de la structure de chaussée ;
- ✓ Une amélioration de la portance de la plate-forme pour optimiser le cout de l'ensemble couche de forme-structure de chaussée ;
- ✓ La protection thermique des sols supports gélifs ;
- ✓ Une contribution au drainage de la chaussée.

7.2. Rôle de la chaussée

Les Rôles des chaussées sont éclaircis dans les points ci-après :

- ✓ D'absorber les charges dues aux véhicules ;
- ✓ De supporter le poinçonnement résultant du stationnement des véhicules ;
- ✓ D'encaisser les variations journalières et saisonnières de température et d'hygrométrie ;
- ✓ De rejeter les eaux de pluie vers l'extérieur.

7.3. Les différentes catégories de chaussée

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois différents types de structures suivants [12] :

- Les chaussées souples.
- Les chaussées rigides.
- Les chaussées semi rigides.

7.3.1. Les chaussées rigides

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes :

- Une couche de forme ;
- Une couche de fondation ;
- Une couche roulement en béton de ciment.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la couche de fondation n'est pas nécessaire.

La dalle en béton de ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement ou sur la plate-forme support de chaussée (figure 10).

Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues [13].

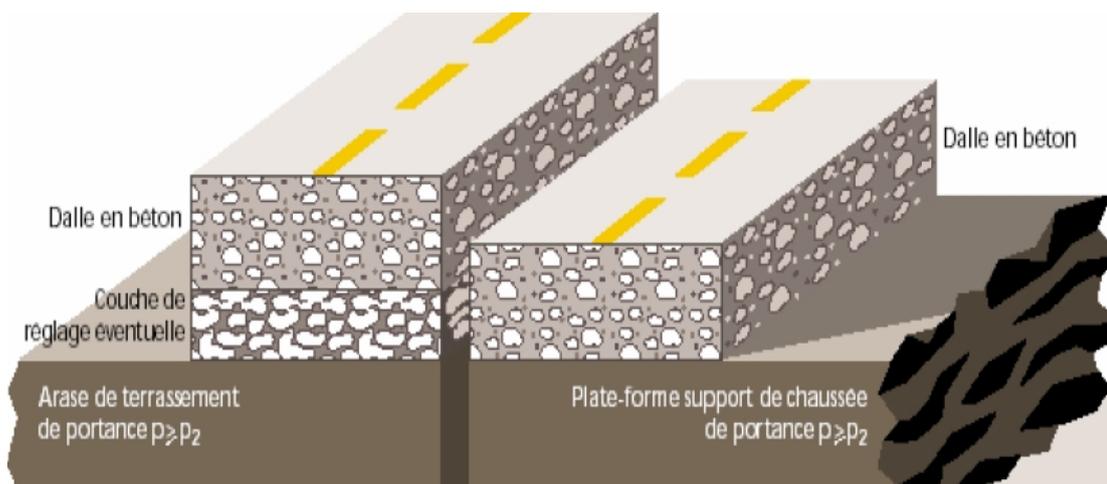


Figure 10. Structure type d'une chaussée rigide [13].

7.3.2. Les chaussées semi rigides

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposent sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couche (base et fondation) [13].

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure type est illustrée sur la figure 11.

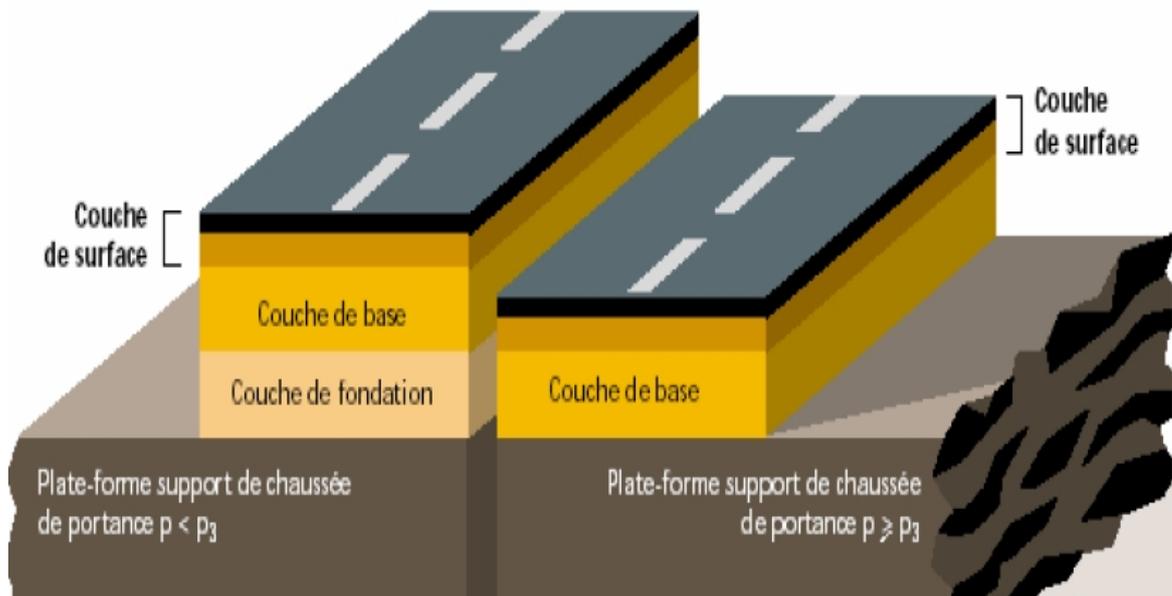


Figure 11. Structure type d'une chaussée semi rigide [13].

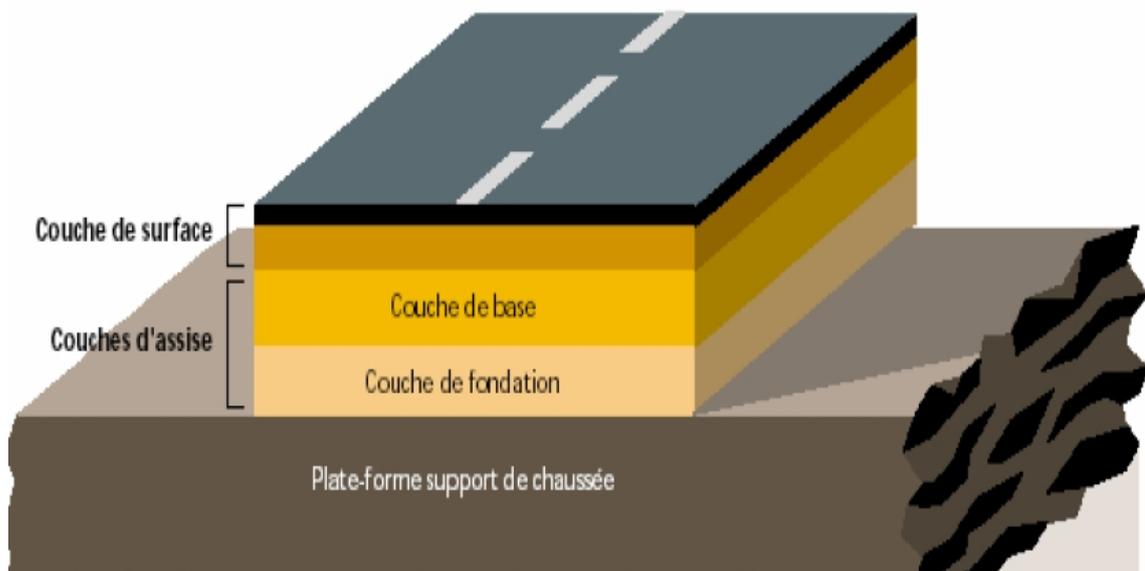


Figure 12. Structure type d'une chaussée souple [13].

7.3.3. Structure d'une chaussée souple

Ces structures comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faibles trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités, l'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 à 60 cm (figure 12) [13].

7.4. Constitution de la chaussée

Une chaussée souple comprend généralement trois couches de qualité croissante de bas en haut : la couche de fondation, la couche de base, la couche de surface.

La couche de surface assurer un rôle fonctionnel (étanchéité, bon uni, rugosité) et un rôle structurel [13] :

- La couche de base :
 - Assurer essentiellement un rôle structurel en diffusant et diminuant les contraintes sur la couche de fondation et le sol support ;
 - Constitue une bonne assise pour la couche de surface.
- La couche de fondation :
 - Assure un support à la couche de base et en particulier permet le bon compactage de cette dernière ;
 - Participe à la répartition des contraintes sur le sol support.
- La sous-couche :
 - Evité la remontée des eaux de la nappe phréatique (rôle anticapillaire) ;
 - Empêche la contamination des couches supérieures par les sols support argileux (rôle anti contaminant).

7.4.1. Choix d'une constitution

Le choix d'une constitution doit respecter [14] :

- Les règles structurelles énoncées ci-dessus ;
- Les règles de construction, qui portent sur la nature des matériaux à utiliser, la qualité et la formation des composants, les épaisseurs minimales et maximales de mise en œuvre, le bon accrochage des couches, etc.
- Les règles de protection de la chaussée contre les risques de remontées capillaires, de contamination et du gel-dégel et pour assurer le drainage des eaux d'infiltration.

L'ensemble de ces disponibles se traduit comme suit pour les différentes couches :

➤ **Couche de surface (couche de roulement et éventuellement couche de liaison) :**

La couche de roulement doit être constituée de béton bitumineux, des caractéristiques (étanchéité, rugosité) sont requises pour la couche de roulement.

➤ **Couche de base et couche de fondation :**

Le choix des matériaux pour couche de base et couche de fondation est soumis aux conditions suivantes :

▪ **Matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud :**

Grave-Bitume : l'emploi de grave-bitume **GB** est recommandé en couche de base.

Ce matériau est également utilisable en couche de fondation mais compte tenu de son cout élevé il est conseillé d'y substituer des matériaux non traités.

Sabla-Bitume : le sable-bitume **SB** présente un intérêt par rapport à la grave-bitume lorsque le sable est disponible à moindre cout que le grave compte tenu du peu d'expérience sur ces matériaux, son emploi est limité aux couches de fondation sauf pour les chaussées recevant un trafic peu contraignant (mais dans ce cas une couche de base en matériaux non traités est souvent suffisante et plus avantageuse).

▪ **Matériaux traités aux liants hydrocarbonés à froid :**

Grave-Emulsion : la grave-émulsion est surtout intéressante à employer lorsqu'il est difficile de fabriquer des enrobés à chaud. Son emploi est limité aux couches de base. Des précautions particulières doivent être prises à la mise en œuvre.

▪ **Matériaux traités aux liants hydrauliques :**

Malgré l'intérêt économique à la construction que peuvent présenter les matériaux traités aux liants hydraulique, leur emploi est fortement déconseillé, plus particulièrement pour la couche de base.

Ces matériaux sont soumis à un retrait systématique. de plus l'importance des charges appliquées aux chaussées aéronautiques crée dans la couche de base des

contraintes nettement supérieures à celle subies par les chaussées routières, les risques et conséquences sont multiples :

- Pour les chaussées : fissuration de la couche de base et remontée des fissures dans la couche de roulement, évolution rapide des dégradations de la couche de roulement (épaufures, arrachement), perte de rugosité (remontée de fines) et perte de qualité de l'uni.
- Pour les avions : ingestion par les réacteurs de granulats arrachés.
- Pour le gestionnaire : surcoûts d'entretien (colmatage des fissures).

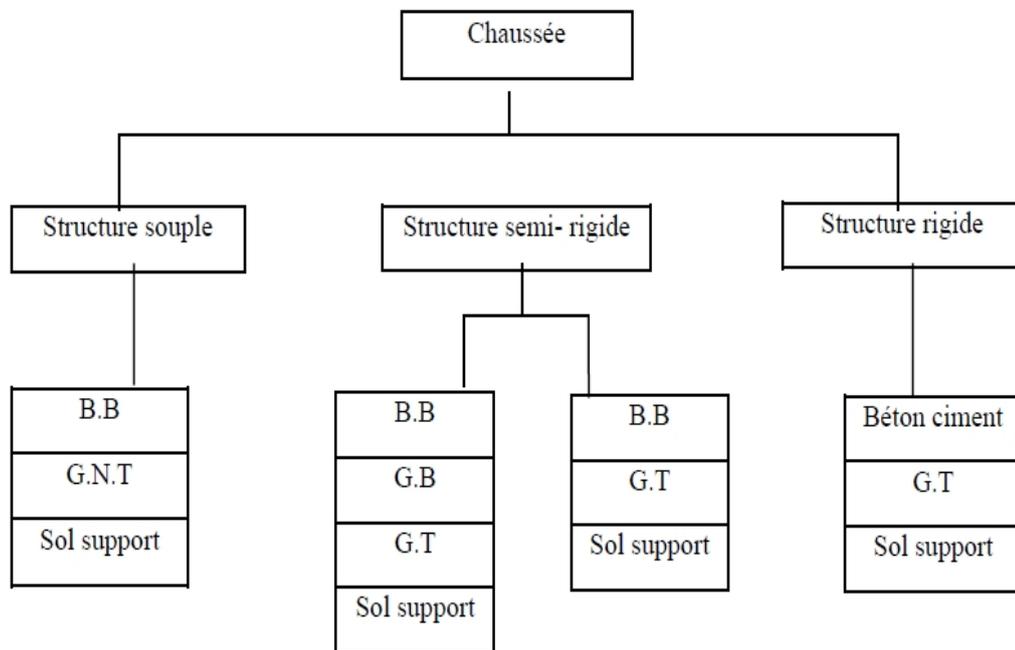


Figure13. Compositions structurelles des divers types de chaussées [10].

8. Conclusion

Dans ce chapitre, ont présenté les routes, leur historique, et leurs différentes classifications ; ainsi que leurs types et leur structure.

Dans ce qui suit, on va se concentrer sur les chaussées souples, et tout ce qui concerne l'étude géotechnique de ces derniers, pour servir au cas d'étude choisis dans ce projet de fin d'études.

Chapitre 02

Dimensionnement

ent d'une

chaussée

souple

UNIVERSITE DE TEBESSA

1. Introduction

Le réseau routier joue un rôle vital dans l'économie du pays et l'état de son infrastructure. Si les routes ne sont pas correctement construites ou ne sont pas entretenues en temps opportun, elles se dégradent inexorablement.

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

En Algérie, le dimensionnement de la chaussée est parfois fonction de la politique de gestion du réseau routier. Cette politique est définie par le maître de l'ouvrage en fonction de la hiérarchisation de son réseau routier.

2. Principe de dimensionnement

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation.

L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobées.

Il existe différentes méthodes pour bien appréhender cette déformation. Elles donnent lieu ensuite à différents modèles de dimensionnement [16].

3. Les facteurs déterminants pour les études de dimensionnement de chaussées

Le dimensionnement d'une chaussée souple comporte plusieurs étapes [17] :

- Durée de vie ;
- Le risque de calcul considéré ;
- Prévision du trafic ;

- Détermination des caractéristiques du sol support ;
- Recensement des facteurs climatiques ;
- Détermination d'une épaisseur équivalente ;
- Les caractéristiques des matériaux.

3.1. Durée de vie

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

Les durées de vie fixées par niveau de réseau principal (RP1, RP2) et par matériaux types sont synthétisées dans le tableau 2 ci-dessus [17].

Tableau 1. Durées de vie adoptées [17].

Niveau de réseau Principale (R _{Pi})	Matériaux type	Structures type	Durée de vie
Réseau principale 01 (RP1)	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB /TUF, GB /SG	20
	MTLH (matériaux traités Aux liants hydrauliques)	GL/GL	20
		Bcg	25
Réseau principale 02 (RP2)	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

- **GB** : grave bitume ; **SB** : sable bitume ; **Bcg** : béton de ciment goujonné;
- **GNT** : grave non traité ; **GL** : grave laitier ; **AG** : arène granitique ;
- **TUF** : encroutement calcaire ; **SG** : sable gypseux.

3.2. Le risque de calcul considéré

Compte tenu du caractère probabiliste relatif au dimensionnement des chaussées dû à l'importance de dispersion et du caractère aléatoire des essais de fatigue, l'objectif qui est retenu est que la probabilité d'apparition de dégradations avant une période donnée de x années soit inférieure à une valeur fixée. Cette probabilité de rupture est appelée « le risque de calcul » et la période de x années est la « durée de vie » ou durée du dimensionnement [17].

3.2.1. Définition du risque

Un risque r % sur une période de x années pris pour le dimensionnement de la chaussée, est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces x années des dégradations structurelles qui impliqueraient des travaux de renforcement de la chaussée [17].

L'ouvrage en matière de niveau de service et de stratégie d'investissement et Les risques de calcul (r %) adoptés dans le dimensionnement des structures, qui sont fonction du trafic et du niveau de réseau principal, sont donnés dans les tableaux 3 et 4 ci-dessous [17].

Tableau 2. Risques adoptés pour le réseau RP1 [17].

	Classe de trafic (TPLi) (PL/J/SENS)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Risque (%)	GB/GB, GB/GNT	20	15	10	5	2
	GL/GL	15	10	5	2	2
	Bcg/GC	12	10	5	2	2

Tableau 3. Risques adoptés pour le réseau RP2 [17]

	Classes de trafic (TPLi) (PL/J/sens)	TPL0	TPL1	TPL2	TPL3
Risque (%)	GNT/GNT, TUF/TUF SG/SG, SB/SG	25		20	

3.3. Le trafic

L'étude de trafic est une étape primordiale dans toute réflexion relative à un projet routier. Cette étude permettra de déterminer la virulence du trafic et son agressivité, et aussi le type d'aménagement à réaliser.

Pour résoudre la plupart des problèmes d'aménagement ou d'exploitation routière, il est insuffisant de connaître la circulation en un point donnée sur une route existante, il est souvent nécessaire de connaître les différents courants de circulation, leurs formations, leurs aboutissements, en d'autres termes de connaître l'origine et la destination des différents véhicules [18].

L'étude de trafic constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers [19].

Cette conception repose, pour partie « stratégie, planification » sur la prévision des trafics sur les réseaux routiers, qui est nécessaires pour [19] :

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

3.3.1. Analyse du trafic

Pour connaître en un point et à un instant donné le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de procéder à un comptage. Ces derniers nécessitent une logistique et une organisation appropriées.

Les analyses de circulation sur les diverses artères du réseau routier sont nécessaires pour l'élaboration des plans d'aménagement ou de transformation de l'infrastructure, détermination des dimensions à donner aux routes et appréciation d'utilité des travaux projetés.

Les éléments de ces analyses sont multiples :

- Statistiques générales.
- Comptages sur routes (manuels, automatique).
- Enquêtes de circulation.

3.3.2. Différents types de trafics**a- Trafic normal**

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre compte du nouveau projet [18].

b- Trafic dévié

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans investissement, d'autres routes ayant la même destination, la dérivation de trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination [10].

c- Trafic induit

C'est le trafic qui résulte de [10] :

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

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

d- Trafic total

Le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévie [10].

3.3.3. Modèles de présentation de trafic

Dans l'étude des projections des trafics, la première opération consiste à définir un certain nombre de flux de trafic qui constitue des ensembles homogènes, en matière d'évolution ou d'affectation.

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont [18] :

a- Prolongation de l'évolution passée

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir, l'évolution des trafics observés dans le passé. On établit en général un modèle de croissance du type exponentiel.

Le trafic T_n à l'année n sera :

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

Où :

T_0 : Le trafic à l'arrivée pour origine.

τ : Le taux de croissance.

n : Le nombre d'année.

b- Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques

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

- Produit national brut (PNB) ;

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

c- Modèle gravitaire

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

d- Modèle de facteurs croissance

Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine-destination.

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

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

3.3.4. Calcul de la capacité

La capacité et le nombre de véhicule qui peuvent raisonnablement passer sur une direction de la route « ou deux directions » avec des caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propre durant une période bien déterminer, la capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire.

❖ La procédure de détermination du nombre de voies

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

Pour cela il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour la vingtième année d'exploitation.

➤ Calcul du trafic à un horizon donné :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel (TJMA) à l'année horizon est [18]:

$$TJMA_n = TJMA_0(1 + \tau)^n \quad (2)$$

Avec:

τ et n :sont définies précédemment.

$TJMA_h$: le trafic à l'année horizon.

$TJMA_0$: Le trafic à l'année de référence.

➤ Calcul des trafics effectifs :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (uvp), en fonction du type de la route et de son environnement (E). Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les poids lourds (PL) en (uvp). Le trafic effectif est donné par la relation suivante [18] :

$$T_{eff} = [(1 - z) + p.z] TJMA_h \quad (3)$$

Avec :

T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon en (uvp).

z : Pourcentage de poids lourd.

P : Coefficient d'équivalence.

- Pour le poids lourd dépend de nombre de voies:

Tableau 4. Coefficient d'équivalence selon la nombre de voie [19].

Routes	E1	E2	E3
2 voies	3	6	12
3 voies	2.5	5	10
4 voies et plus	2	4	8

Où :

E1 : terrain plat avec sinuosité moyenne du tracé de la route (SM) faible.

E2 : terrain plat avec SM moyenne, terrain plat inondable ou accidenté avec SM faible à moyenne.

E3 : terrain plat inondable ou accidenté avec SM forte ou terrain montagneux avec SM moyenne à forte.

- Et pour le poids lourd dépend de la nature de la route :

Tableau 5. Coefficient d'équivalence selon les caractéristiques des routes [19].

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

- Débit du point horaire normal :

Le débit du point horaire normal est une traction du trafic effectif à l'horizon, il est donné par la formule [19]:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) T_{eff} \quad (4)$$

Avec :

$\left(\frac{1}{n}\right)$: Coefficient de pointe prise égale 0,12.

Q : est exprimé en UVP/h

- Débit horaire admissible [19] :

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

$$Q_{adm}(uvp/h) = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{th} \quad (5)$$

Avec :

K_1 : Coefficient lié à l'environnement.

K_2 : Coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : Capacité effective par voie, qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

Tableau 6. Valeurs du coefficient « K_1 ».

Environnement	E1	E2	E3
K1	0,75	0,85	0,9 à 0,95

Tableau 7. Valeurs du coefficient « K_2 ».

Environnement	Catégorie de la route				
	C1	C2	C3	C4	C5
E1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E2	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
E3	0,91	0,95	0,97	0,96	0,96

Tableau 8. Valeurs de la capacité théorique « C_{th} ».

	Capacité théorique
Route à 2 voies de 3.5 m	1500 à 2000 uvp/h
Route à 3 voies de 3.5 m	2400 à 3200 uvp/h
Route à chaussées séparées	1500 à 1800 uvp/h

➤ Calcul le nombre de voies [18] :

- Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

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

- Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$n = \frac{S.Q}{Q_{adm}} \quad (6)$$

Avec :

S : Coefficient de dissymétrie en général = 2/3.

Q_{adm} : Débit admissible par voie.

❖ **Les différentes classes de trafic :**

Les classes du trafic sont définies par le trafic moyen journalier du poids lourds (charge utile supérieure à 5t) qui circulent sue la chaussée [14].

On obtient ainsi :

- Classe t_6 : 0 à 10 PL/J ;
- Classe t_5 : 10 à 25 PL/J ;
- Classe t_4 : 25 à 50 PL/J ;
- Classe t_{3-} : 50 à 100 PL/J ;
- Classe t_{3+} : 100 à 150 PL/J;
- Classe T_3 : 50 à 150 PL/J;
- Classe T_2 : 150 à 300 PL/J;
- Classe T_1 : 300 à 750 PL/J;
- Classe T_0 : 750 à 2000 PL/J.

Ces classes de trafic définissent deux grandes catégories de routes (figure 14).

- Les voiries à faible trafic regroupant toutes les classes de t_6 à t_{3+} .
- Les voiries à moyen et forts trafics regroupant toutes les classes de T_3 à T_0 .

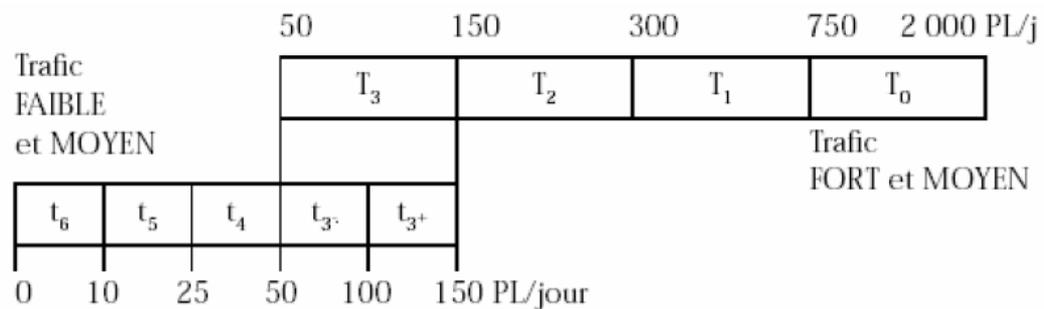


Figure 14. Classification du trafic selon le (SETRA) [14].

t = trafic initial = le nombre du PL de charge utile (CU) > 5t.

Remarque : en matière de trafic, le nouveau catalogue des structures de chaussées neuve (SETRA – LCPC – 1998) apporte deux modifications importantes :

- La première concerne la définition du « poids lourds » qui devient un poids lourd est un véhicule de plus de 3.5 de poids total autorisé en charge (PTAC) ». Toutefois, une relation – valable uniquement en rase campagne – permet de transformer les données exprimées en véhicules de plus de 5t de charge utile (C.U) en nombre de véhicules de plus de 3,5 t de poids total autorisé en charge [14]:

$$N(\text{PTAC}) = 1,25 * N (C.U) \quad (7)$$

- La deuxième modification concerne la classification du trafic. Désormais, les classes de trafic sont exprimées en nombre de poids lourds cumulé pendant la durée initiale de dimensionnement (20 ou 30 ans) [14].

3.4. Détermination des caractéristiques du sol support de chaussée

Les classes et les plages de portance des sols définies dans les tableaux 10 et 11 ont été obtenues à partir de l'étude statistique effectuée sur les données géotechniques de plus de 10000 échantillons de sols [20].

La classification des sols supports a été faite selon le système universel USES.

3.4.1. Présentation des classes de portance des sols

▪ Classes de sols supports retenues

Le sol support de chaussées est assimilé à un massif semi-infini élastique, homogène et isotrope. Les caractéristiques mécaniques nécessaires pour la modélisation (Alizé III) sont le module de Young (E) et le coefficient de Poisson () [20].

Tableau 9. Classes de portance à long terme du sol support [20].

Classes de portance (Si)	S0	S4	S3	S2	S1
Modules (MPa)	15	25	50	125	200

▪ Classes de sols supports par niveau de réseau principal

Il existe une relation entre la qualité du sol support de chaussée et le bon comportement des chaussées.

Pour cette raison, et pour chaque niveau de réseau principal (RPI et RP2), les classes de sol support considérées sont les suivantes [20]:

- Pour le réseau principal (RPI): S0, S1, S2;

- Pour le réseau principal (RP2): S0, S1, S2, S3.

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate – forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme [20].

Les plates formes sont définies à partir :

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

Tableau 10. Classes de sols et les plages de portance probables [20].

Classe de portance (Si)	CBR
S4	<5
S3	5-10
S2	10- 25
S1	25- 40
S0	>40

3.4.2. Détermination de la classe de portance de sol-support de chaussée

Les structures de chaussées sont construites sur le sol-support, généralement constitué de sol terrassé, ou en cas de besoin (mauvaise portance) surmonté d'une couche de forme. Portance de sol-support est fonction de celle du sol terrassé (déblai ou remblai), et éventuellement de l'apport de la couche de forme. Elle est considérée sous deux aspects [22]:

- À court terme (pendant les travaux), le sol-support doit remplir l'un des deux critères de constructibilité (compactage, trafic de chantier) [20]:
 - Déflexion sous essieu à 13 tonnes < 2 mm.
 - Module à la plaque EV2 > 50 MPa.

- À long terme (chaussée en service), cette portance sera prise en considération dans le dimensionnement des structures de chaussées [20].

3.5. Recensement des facteurs climatiques

La température influence le comportement des différents types de chaussées :

- en ce qu'elle affecte les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux.
- par les variations cycliques d'ouverture des fissures de retrait des matériaux traités aux liants hydrauliques.
- par les déformations de dalle dues aux gradients thermiques dans les chaussées rigides.

3.6. Détermination d'une épaisseur équivalente

L'épaisseur équivalente totale de la chaussée est calculée selon la méthode de dimensionnement appliquée.

3.7. Caractéristiques des matériaux

Les matériaux utilisés doivent résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois (le passage répété des véhicules lourds), pour le dimensionnement d'une chaussée il faut utilisée plusieurs types de matériaux, soit matériaux bitumineux (BB, GB, SB...), matériaux non traités (GNT, TUF, SG, AG...), matériaux traités aux liants hydraulique (GL, GC, Bcg.) [20].

4. Principales méthodes de dimensionnement

On distingue deux familles des méthodes :

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

Pour cela on intéresser aux méthodes empiriques les plus utilisées.

4.1. Méthode de C.B.R (California Bearing Ratio)

C'est une méthode (semi-empirique) qui se basé sur essai de poinçonnement sur un échantillon de sol support en compactant des éprouvettes à (90-100 %) de l'optimum Proctor modifier sur une épaisseur au moins de 15 cm.

La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après [11] :

$$E_{eq} = \frac{100 + \sqrt{P} (75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5} \quad (8)$$

Avec :

E_{eq} : Épaisseur équivalente.

I_{CBR} : Indice CBR (sol support).

N : Désigne le nombre journalier de camions de plus 1500 kg à vide :

$$N = T_H \cdot \%PL \quad (9)$$

T_H : Trafics prévus pour une durée de vie de 20 ans :

$$T_H = \frac{T_0}{2} (1 + \tau)^m \quad (10)$$

P : Charge par roue $P = 6.5$ t (essieu 13 t).

\log : Logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$E_{eq} = e_1 \cdot c_1 + e_2 \cdot c_2 + e_3 \cdot c_3 \quad (11)$$

Avec :

e_1 : Couche de roulement.

e_2 : Couche de base.

e_3 : Couche de fondation.

Où :

c_1, c_2, c_3 : Coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : Épaisseurs réelles des couches.

Le tableau 11 indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.

Tableau 11. Coefficients d'équivalences [11].

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2,00
Grave ciment-grave laitier	1,50
Grave bitume	1,20 à 1,70
Grave concassée ou gravier	1,00
Grave roulée-grave sableuse T.V. O	0,75
Sable ciment	1,00 à 1,20
Sable	0,50
Tuf	0,60

4.2. Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Official)

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales.

Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes qui permet de préciser ces différents facteurs :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.
- L'influence des charges et de leur répétition.

4.3. Méthode d'Asphalte Institute

Elle est basée sur les résultats obtenus des essais « AASHO ». Elle prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice

de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur est déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalte institué.

4.4. Méthode du catalogue des structures

C'est le catalogue des structures type neuves et établi par « SETRA », il distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB). Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 Véh/J. Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation. Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données [11]:

- Trafic cumulé de poids lourds à la 20^{ème} année T_i .
- Les caractéristiques de sol (Si).

❖ **Détermination de la classe du trafic**

Le trafic caractérisé par le nombre de poids lourds de charge utile supérieur à 50 KN par jour la voie la plus chargée l'année de mise en service. Les classes de trafics adoptées sont dans le tableau suivant :

Tableau 12. Classes de trafic poids lourds [11].

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumule sur 20 ans
$\frac{T_1}{T_1}$	$T < 7.3 \times 10^5$
$\frac{T_2}{T_2}$	$3.7 \times 10^5 < T < 2 \times 10^6$
$\frac{T_3}{T_3}$	$2 \times 10^6 < T < 7.3 \times 10^6$
$\frac{T_4}{T_4}$	$7.3 \times 10^6 < T < 4 \times 10^7$
$\frac{T_5}{T_5}$	$T > 4 \times 10^7$

Le trafic cumulé est donné par la formule:

$$T_c = T_{PL} \left[\frac{((1+\tau)^{n+1})-1}{\tau} \right] \times 365 \tag{12}$$

Avec :

T_{PL} : Trafic poids lourds à l'année de mise en service.

n : Durée de vie.

: taux d'accroissement pris est égal 4 %.

❖ Détermination la classe du sol

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à a teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante. Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils suivants.

4.5. Méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression suivante [11]:

$$T_{eq} = \frac{TJMA \times a \times [(1 - \tau)^n - 1] \times 1,7 \times P \times 362}{[(1 + \tau) - 1]} \quad (13)$$

$TJMA_0$: Trafic à la mise en service de la route.

P: pourcentage de poids lourds.

n: durée de vie de la route.

a: coefficient qui dépend du nombre de voies.

: taux d'accroissement annuel.

4.6. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves

L'utilisation du catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussées : trafic, matériaux, sol support et environnement.

Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction de cela on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée.

La Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelle qui se base sur deux approches :

- Approche théorique ;
- Approche empirique.

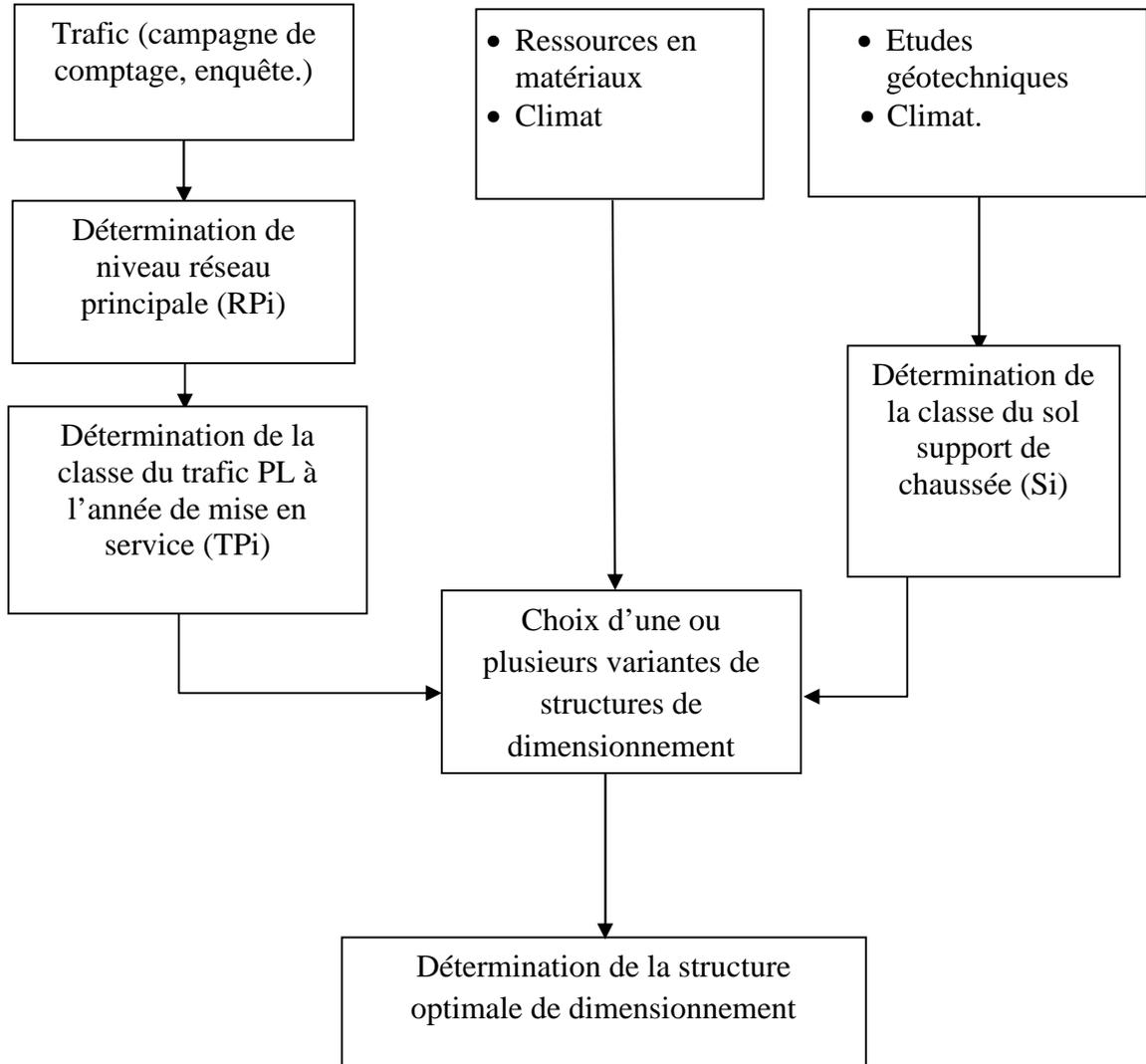


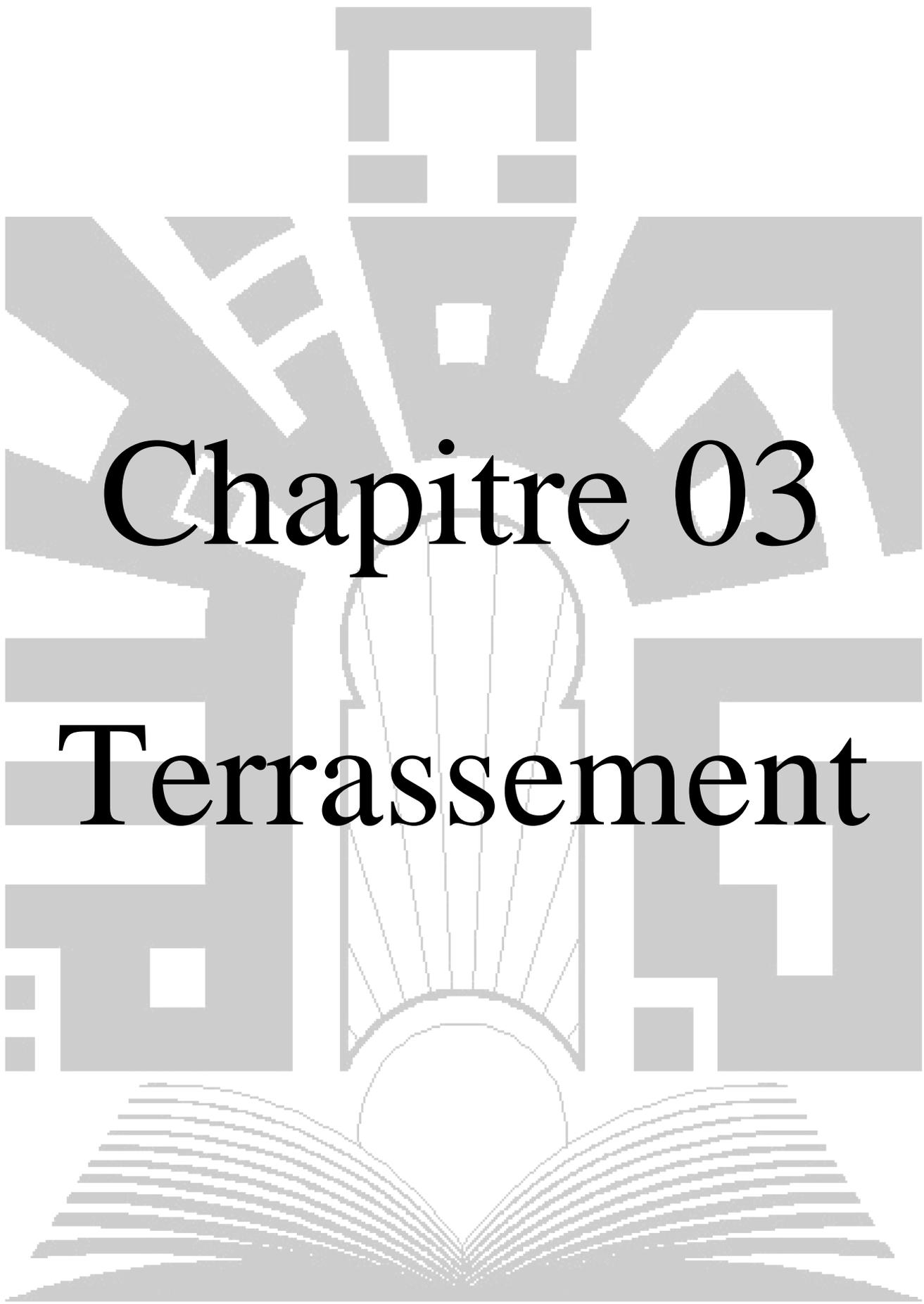
Figure15. La démarche du catalogue [21].

5. Conclusion

Le choix de dimensionnement d'une chaussée quelconque dépend de plusieurs paramètres de base tels que la durée de service, l'état hydrique du sol, sensibilité à l'eau et la vocation de la voie. En parallèle bien aussi il y avait des autres obligations qui

poussent à prendre à l'égard comme le trafic, l'agressivité et voire aussi les propriétés mécaniques du sol support.

Au-delà, et après avoir prendre une idée générale sur les critères du choix se dimensionnement on peut déduire qu'il y a davantage de méthodes pour dimensionner une chaussée, et parmi lesquelles en citant les méthodes empirique...etc.



Chapitre 03

Terrassement

UNIVERSITE DE TEBESSA

1. Introduction

La construction d'une route exige la mise en forme de l'assise et de la plate forme qui vont recevoir le corps de chaussée et les équipements y afférent, cette mise en forme nécessite des opérations appelé « Terrassements ».

Le terrassement consiste, par définition, à modifier la topographie d'un site conformément aux indications prescrites par des plans, ce dernier s'occupe de :

- l'exécution d'une fouille, qui parfois peut être profonde – comme le cas de réaliser des niveaux en sous-sol,
- la réalisation de plates-formes-, par exemple pour réaliser une route, et dans ce cas il s'agit de quantités importantes de remblais.

2. Phases des travaux de terrassement

On distingue quatre phases de terrassement [22]:

- Préparation des travaux;
- Excavation avec engins;
- Transport de déblais;
- Mise en place de matériaux d'apport.

2.1. Préparation ou études préalables

Une visite du site et de ses abords est souvent indispensable pour mieux appréhender les caractéristiques du chantier. Au départ il est nécessaire de consulter la documentation de l'ouvrage, en ce qui concerne [22]:

- Le rapport d'étude de sol, qui devra nous donner:
 - La stratigraphie des couches de terrain;
 - Les caractéristiques mécaniques et physiques des sols;
 - La présence de l'eau;
 - Les pentes possibles des talus, etc.
- Les plans d'exécution- plan masse, coupes, profils, etc.
- Le cahier des clauses administratives général es (CCAG) qui est un recueil de clauses courantes : administratives, juridiques ou financières.

- Le cahier des clauses administratives particulières (CCAP) qui donne les conditions particulières de réalisation du projet du point de vue administratif et financier.
- Le cahier des clauses techniques générales (CCTG) qui précise les règles techniques générales à appliquer.
- Le cahier des clauses techniques particulières (CCPT), comme devis descriptif, donne :
 - Matériaux à utiliser ;
 - Localisation des ouvrages ;
 - Limites de prestation entre corps d'état ;
 - Hypothèses de calcul ;
 - Modes opératoires, etc.
- Par rapport à tous ces documents et de la visite sur place, il faut prendre des décisions en ce qui concerne :
 - Les obstacles qui doivent être éliminés ;
 - Possibles canalisations enterrées qui doivent être protégées ;
 - La nature, la qualité et le volume des terres à déplacer ;
 - Les conditions climatiques locales : pluies, gel, etc.
 - Choix des matériels employés ;
 - L'accès et circulation sur chantier ;
 - L'étude de prix comme proposition ;
 - Prévision de la main d'œuvre ;
 - Le calendrier des travaux ;
 - L'installation du chantier, etc.

2.2. Excavation avec engins

On n'exécute plus à la main (pelle et pioche) que les terrassements de petite importance. Dès qu'il s'agit de quelques dizaines de mètres cubes et quelquefois moins, on a avantage à déplacer un engin mécanique, en adaptant la puissance de cet engin au volume à déblayer.

Pour les terrassements petits et moyens, on aura recours à une pelle mécanique montée sur chenille, dont le godet peut travailler en raclant de bas en haut en s'éloignant de la cabine (terrassement en retro, ou en fouille). La cabine pivote sur elle-même, et la benne déverse les déblais dans un camion, chargé du transport.

Au lieu d'être montrée à l'extrémité de bras rigides, la benne peut être disposée à l'extrémité de câbles souples, l'engin s'appelle une dragline.

Pour des terrassements plus importants, on utilise des engins qui réalisent à la fois le déblai, le transport, et la mise en remblai. On rencontre dans cette catégorie d'engins le bulldozer ou buteur, composé essentiellement d'une lame pouvant s'abaisser plus ou moins, et qui est poussée par un puissant sur la lame abaissée, on réalise du déblai ; en continuant d'avancer en maintenant la lame au niveau du sol, on transporte le déblai ; enfin en soulevant la lame, la terre se dépose en remblai, qui est tassé par le passage des chenilles [22].

2.3. Transport des terrassements

Le mode de transport n'est pas choisi arbitrairement ; on fait appel à l'engin dont le prix de revient sera le plus économique.

Pour les transports à très faible distance, quelques mètres ou quelques dizaines de mètres, et pour des volumes assez faibles, la brouette à moteur ou dumper est généralement utilisée.

Pour des transports à plus longue distance, on emploie le camion automobile. On conçoit que, par suite du temps d'immobilisation pour le chargement, ce moyen n'est économique qu'au-delà d'une certaine distance, à partir du moment où le temps de l'aller et retour de la brouette deviendrait d'un coût prohibitif.

On a de plus en plus tendance maintenant, pour en abaisser le prix, à effectuer les terrassements de façon entièrement mécanique, par des engins spéciaux à grand rendement tels que buteur (bulldozer) et décapeuse (scraper) qui réalisent à la fois le déblai et le transport.

On devra, compte tenu de l'importance du travail à exécuter et du matériel disponible dans la région, calculer la distance optimale en fonction du prix de revient horaire ou kilométrique de chaque engin, de son amortissement, du salaire et des charges sociales de la main d'œuvre, conducteur et aide, du prix du carburant, des frais de l'amenée au chantier et de retour à son garage de l'engin, et de tous autres éléments. On choisira alors tel ou tel engin et on déterminera ses distances limites, inférieure et supérieure, d'utilisation.

Si le projet s'étend sur plusieurs kilomètres de longueur, on devra calculer s'il n'est pas plus avantageux de le scinder en plusieurs tronçons, et de faire des dépôts à un endroit, et des emprunts plus loin [22].

2.4. Mise en place de matériaux d'apport

La profondeur d'une fouille : qui est appelée aussi dénivelée – est mesurée à partir du niveau du sol tel qu'il est livré pour l'exécution des fouilles, c'est à dire le terrain naturel (TN) ou bien encore, le niveau résultant de terrassement général, réalisé au préalable.

Les talus : sont les surfaces réglées et inclinées limitant latéralement un déblai ou un remblai. L'inclinaison est définie par le rapport sans dimension (t/d) de la longueur du tracé horizontale (t) de la ligne de la plus grande pente à la valeur de la dénivelée (d), mesurée entre les extrémités de cette ligne.

Les talus doivent :

- être stable par tous les temps ;
- Se rapprocher le plus possible de la pente dite du « talus naturel »;
- Les déblais et les remblais n'ont pas nécessairement la même pente.

Les fossés : sont destinés à recevoir les eaux de ruissellement ou d'infiltration venant du terrain supérieur. L'eau recueillie par les fossés s'évacue soit par infiltration dans le fond du fossé, soit, si le terrain est imperméable, par écoulement et dans ce cas on doit donner une pente longitudinale au fossé pour diriger les eaux vers un point susceptible de les absorber : ruisseau, lac, ou bassin de retenue, d'infiltration et d'évaporation.

Les banquettes : Une banquette est une petite levée de terre qu'on place en haut des talus de remblai, lorsque ceux-ci atteignent une hauteur importante, 1,50 m à 2 m, pour assurer la sécurité de l'utilisateur ; leur bord vers le talus, a la même inclinaison que celui-ci, c'est-à-dire 3 sur 2.

3. Les engins du terrassement

Engin automoteur ou tracté, à roues, à chenilles ou à jambes, ayant un équipement ou des accessoires, ou les deux, principalement conçu pour assurer des opérations de

creusement, de chargement, de transport, de forage, d'épandage, de compactage ou de tranchage de terre, de roche et d'autres matériaux.

Les engins de terrassement peuvent être commandés en direct par un opérateur porté sur l'engin ou par un opérateur non porté, ou peuvent être commandés à distance au moyen d'un fil ou sans fil avec ou non une vue directe sur la zone de travail [23].

3.1. Engins d'excavation

Ils permettent l'extraction des terres et leur chargement en vue du transport. Les principaux engins sont :

- Pelle hydraulique équipée en rétro ;
- Pelle hydraulique équipée en buttée ;
- Chargeur à chenilles ;
- Chargeur à roues ;
- Chargeuse pelleteuse (tractopelle) ;
- Scarificateur.

3.2. Engins de nivellement

Ils assurent la mise en forme des terres. Les principaux engins sont les suivants :

- Bouteur (bulldozer) équipé en ripper.
- Décapeuse.

3.3. Engins de transport

Ils assurent le transport des terres foisonnées du lieu d'excavation ou de reprise vers le site de dépôt. Les principaux engins sont :

- Camions au gabarit routier.
 - Benne basculante ;
 - Tribenne.
- Tombereaux.
 - Tombereau articulé ;
 - Tombereau rigide.

3.4. Engins de compactage

Ils permettent le compactage des terres pour permettre la reconstitution du sol.
Les principaux engins sont :

- Compacteur à pieds dameurs vibreur ;
- Compacteur monocylindre ;
- Compacteur à pneus.

3.5. Mini-engins

- Motobasculeur ;
- Pilonneurs vibrants ;
- Rouleau vibrant manuel ;
- Chargeur compact ;
- Mini-pelle.

4. Principes d'étude des cycles d'engins

4.1. Cycle d'un engin

Suite d'actions comprises dans une période et qui se reproduisent dans un ordre déterminé [24].

➤ Décomposition d'un temps de cycle

Le temps de cycle est la période de temps écoulé entre deux instants successifs pour lesquels les mêmes conditions de travail se retrouvent identiques à elles-mêmes.

Une période peut être décomposée en différents temps dont :

- Temps de mise en position (temps fixe) ;
- Temps de terrassement (temps fixe) ;
- Temps de déplacement aller (temps variable) ;
- Temps de déplacement retour (temps variable) ;
- Temps d'attente (temps variable).

➤ **Temps fixes et temps variables**

• **Temps fixes**

Temps dont la durée est sensiblement constante pour un chantier ou une tâche donnée. Il s'agit, en général, de temps de déplacement d'engins et/ou de terres sur une distance et à une vitesse sensiblement constante pour la durée du chantier ou de la tâche.

• **Temps variables**

Temps dont la durée est sujet de variation pour un chantier ou une tâche donnée. Il s'agit, en général, de temps de déplacement d'engins et/ou de terres sur une distance et à une vitesse variable pour la durée du chantier ou de la tâche.

5. Notions d'atelier et d'échelon des terrassements

5.1. Atelier de terrassement

Un atelier de terrassement est un ensemble de tâches permettant de réaliser une opération de terrassement.

En conséquence il existe deux types principaux d'atelier[24]:

➤ **Les ateliers de déblaiement**

- Extraction ;
- Chargement ;
- Transport.

➤ **Les ateliers de remblaiement**

- Transport ;
- Déchargement ;
- Mise en œuvre.

5.2. Échelon de terrassement

Un échelon est un ensemble homogène (capacités des engins adaptées) d'engins et de personnel assurant la production d'un atelier.

6. Compactage des sols

6.1. Objectifs de densification

Deux critères permettent de qualifier la qualité, de compactage d'une couche donnée [25] :

- La masse volumique sèche moyenne sur l'épaisseur compactée (ρ_{dm}) ;
- La masse volumique sèche en fond de couche (ρ_{dfc}).

La masse volumique en fond de couche est par définition celle existant à la cote 4cm au-dessus de l'interface avec la couche sous-jacent, mesurée sur une tranche de 8 cm d'épaisseur.

Soit :

- (ρ_{dOPTN}) : masse volumique sèche à l'Optimum Proctor Normal ;
- (ρ_{dOPTM}) : masse volumique sèche à l'Optimum Proctor Modifié.

Les objectifs de densification des couches sont définis par ordre d'exigence croissante comme suite :

Tableau 13. Objectif de compactage en % de ρ_{dopt} [25].

Objectif	ρ_{dm}	ρ_{dfc}
$\frac{q_1}{q_1}$	100% ρ_{dOPTN}	98% ρ_{dOPTN}^{fc}
$\frac{q_1}{q_2}$	97% ρ_{dOPTM}	95% ρ_{dOPTM}
$\frac{q_2}{q_3}$	98,5% ρ_{dOPTN}	96% ρ_{dOPTN}
$\frac{q_3}{q_4}$	95% ρ_{dOPTN}	92% ρ_{dOPTN}
$\frac{q_4}{q_5}$	90% ρ_{dOPTN}	87% ρ_{dOPTN}

Les objectifs de compactage ont été définis principalement pour le remblaiement des tranchées :

- q_1 Et q_2 Concernent le compactage sous chaussée ;
- q_3 et q_4 Concernent le compactage des remblais;
- q_5 Concerne le compactage de la zone d'enrobage des réseaux.

6.2. Objectifs pour les tranchées

La coupe de la tranchée est fournie avec la commande du travail, elle est généralement imposée par le gestionnaire de la route. La coupe de tranchée s'inscrit dans les cas types suivants [26] :

- Type 1 : Tranchées sous chaussée

L'épaisseur de la structure de chaussée, dans l'hypothèse où elle est refaite à l'identique, est majorée de 10 % du fait de l'impossibilité de la rendre aussi compacte que la chaussée existante (figure 16).

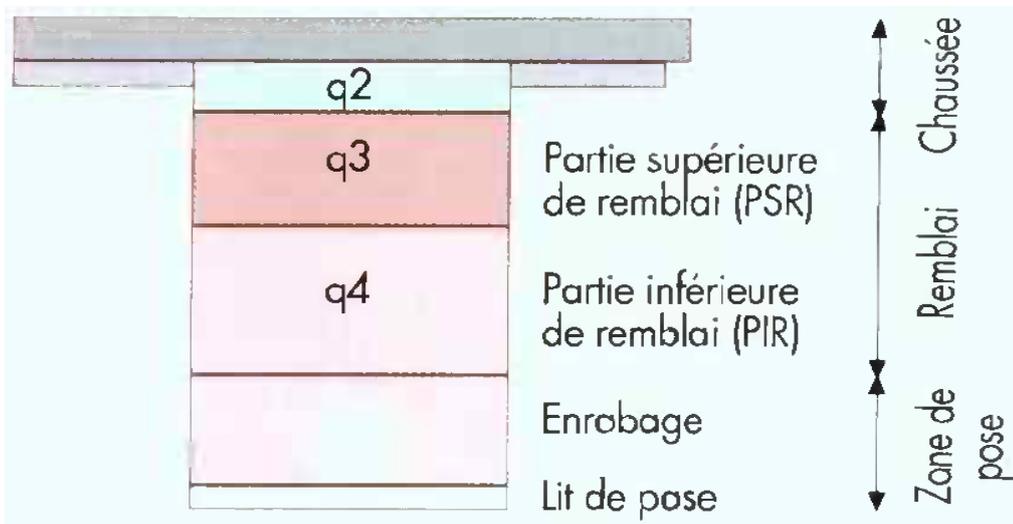


Figure16. Objectif de tranchées sous chaussée [26].

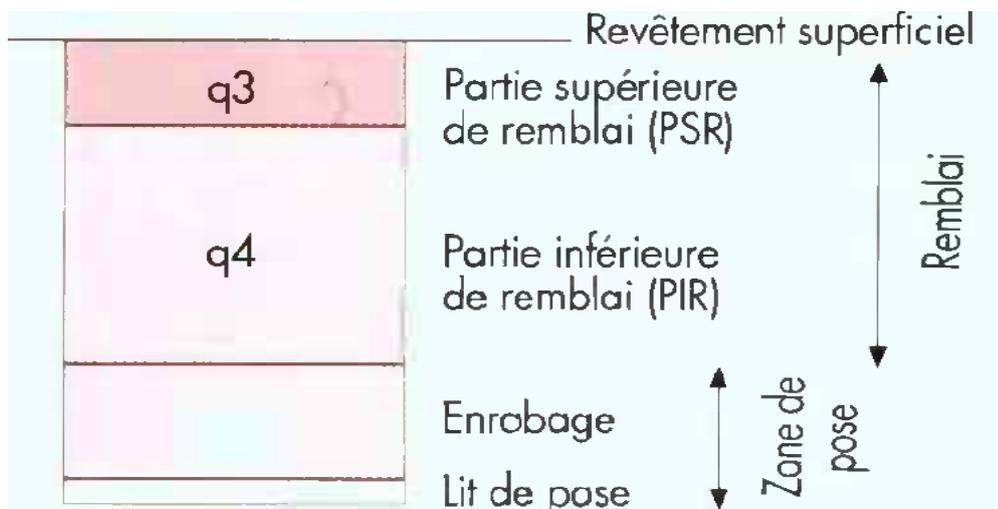


Figure17. Objectif de tranchées sous trottoir [26].

• Type 2 : Tranchées sous trottoir

La structure du trottoir comporte pour trottoir non revêtu au minimum 0,15 m de grave bien graduée de bonne portance compactée avec un objectif de densification q3, pour trottoir revêtu d'une reconstruction à l'identique (figure 17).

• Type 3 : Tranchées sous accotement

La partie supérieure de remblai est réalisée avec un objectif q3 sur une épaisseur (e) égale à celle de la chaussée (ec) mais toujours avec un mini de 0,3 m (figure 18).

Les conditions relatives à l'enrobage et à la partie inférieure de remblai (q4) sont applicables.

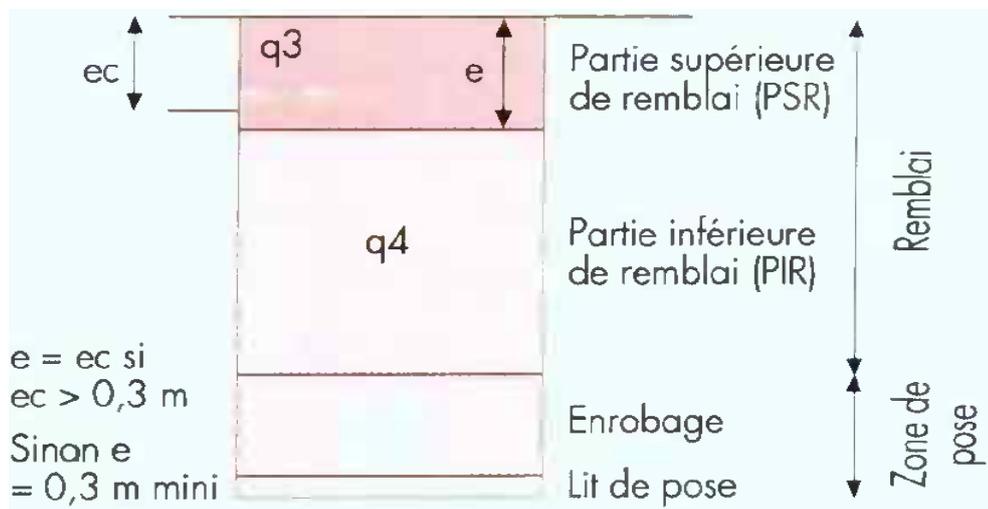


Figure18. Objectifs de tranchées sous accotement [26].

• Type 4 : Tranchées sous espace vert

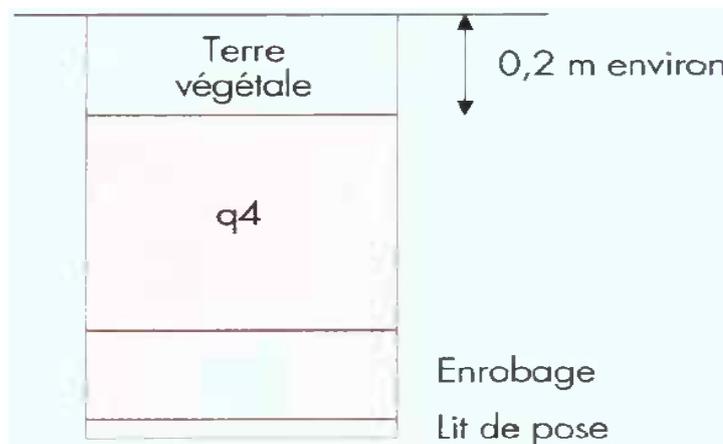


Figure 19. Objectif de tranchée sous espace vert [26].

6.3. Matériels de compactage

Les compactages pris en compte dans le GTR ont une largeur de compactage supérieure ou égale à 1,3 m. ils peuvent être divisés en six familles classées selon leur efficacité.

6.3.1. Les compacteurs à pneu (Pi)

Pour terrassement moyens ou pour des matériaux routiers « à surface » très mobiles ils sont utilisés pour des sols argileux sableux, les graves fines et moyennes tout lui est autorisé (terrassement, couche de forme, chaussée, enrobé...) mais moins efficace que les vibrants (figure 20) [27].



Figure 20. Compacteur à pneu (Pi) [25].

Le classement est fait selon la charge par roue CR :

- P1 : CR entre 25- 40 KN.
- P2 : CR entre 40- 60 KN.
- P3 : CR supérieur à 60 KN.

6.3.2. Les compacteurs statiques (à pieds dameurs)

Pour gros terrassements souvent tandem, parfois équipé d'une lame (figure 21):

- Vitesse max 12 km/h [27];

- Vitesse moyenne de travail 6km/h;
- Classification selon la charge statique moyenne par unité de largeur du ou des cylindres à pieds (M/L):
 - SP1 : M1/L entre 30 et 60 kg/cm ;
 - SP2 : ML/L à 60 kg/cm et 90 kg/cm.



Figure 21. Compacteur statique à pieds dameurs [25].



Figure 22. Compacteurs statique (à cylindre lisse) [25].

6.3.3. Les compacteurs vibrants à pieds dameurs

Les compacteurs vibrants à pieds dameurs sont généralement des versions dérivées des compacteurs vibrants à cylindres lisses. Leur classification reprend les mêmes critères.

Il est défini 5 classes de compacteurs (VP1 à VP2), Il est pratiqué pour toute utilisation :

- Matériaux très flottants avec objectif élevé ;
- Matériaux forte épaisseur ou granulométrie (remblais, enrochement, couche de forme...);
- Enrobés à compacter vite (température) ;
- Enduit superficiel : emploi discutable [27].

6.3.4. Les plaques vibrantes (PQi)

L'ensemble des plaques est classé PQ1 à PQ4 dans le Guide technique de compactage des tranchées LCPC SETRA. Les plaque sont classées à partir de la pression statique sous la semelle (Mg/S) exprimée en KPa (Mg présente le poids de la plaque)[27].



Figure23. Les plaques vibrantes [25].

Les plus petites plaques ne sont pas prises en compte dans le Guide (PQ1-PQ2) celles considérées sont [27]:

- PQ3 : Mg/S entre 10 et 15 KPa
- PQ4 : Mg/S supérieure à 15 KPa

Où : S est la surface de contact plaque/sol et non la surface hors tout.

Il est utilisé pour petits travaux ou à proximité d'ouvrages.

7. La géométrie des routes

Les caractéristiques géométriques d'une chaussée sont illustrées par le profil en travers, le profil en long et le tracé en plan [16].

7.1. Profil en travers

C'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances. La nomenclature des termes utilisés est donnée par la figure 01 dans le cas d'une autoroute et dans celui d'une route à une seule chaussée.

Le choix du nombre de voies de circulation, celui de leur largeur, celui de la structure générale du profil en travers est à la fois dicté par les débits que l'on souhaite écouler et par la fonction que l'on souhaite faire jouer à la route comme on le verra par la suite.

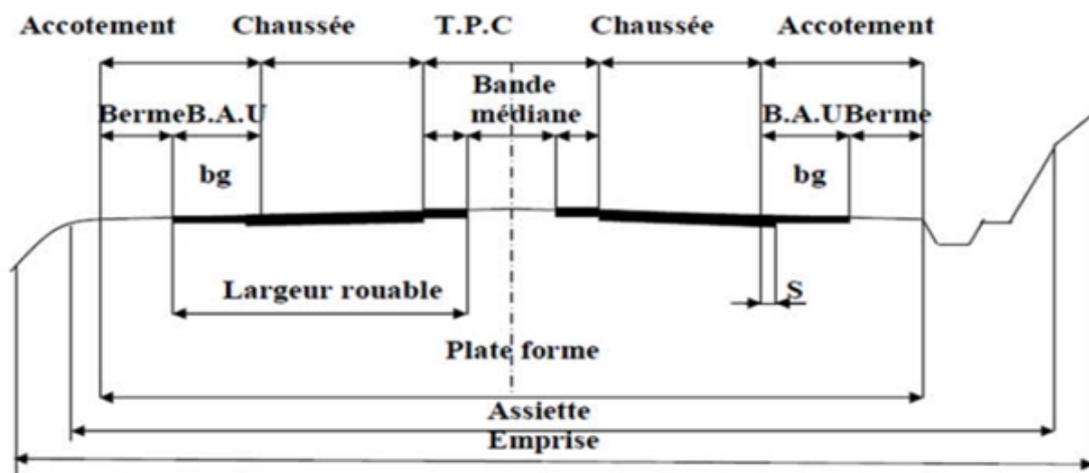


Figure 24. Éléments constitutifs du profil en travers [16]

a. La largeur de la chaussée

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

La largeur de voie peut être réduite à 3m (exceptionnellement 2.50 m) sur les routes peu, fréquentées [11].

b. Zone de récupération et zone de dégagement de sécurité

Les abords de la chaussée contribuent à la sécurité et à la maintenance du patrimoine.

Le dimensionnement cette zone de récupération est fortement dépendant des vitesses pratiquées et sa largeur dépend du type de voies et des possibilités économiques : de 0,25m (surlargeur structurelle de marquage) à 2,50 à 3,00m sur autoroutes. Compte tenu de l'impact économique de tels aménagements, une étude d'enjeux est nécessaire. Cette zone de récupération est de fait multifonctionnel : les piétons peuvent y marcher et les vélos y circuler.

Elle comprend la surlargeur technique qui porte le marquage de rive [11].

c. Pentés transversales

En section courante, le profil de la chaussée est en toit, la pente de chaque versant résulte d'un compromis entre la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluie et la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre [16].

Pour la chaussée on adopte les pentes transversales suivantes :

- Chaussée en béton de ciment : 2,0 % ;
- Enduit superficiel ou enrobé : 2,5 % ;
- Chaussée non revêtue : 4,0 %.

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant, dont la pente est le dévers évoqué précédemment, le passage d'une situation à l'autre nécessitant une zone de transition. Cette zone doit être très soigneusement étudiée, particulièrement pour les chaussées de grande largeur, pour éviter les accumulations d'eau génératrices d'aquaplanage.

d. Accotements

L'accotement comprend une partie dégagée de tout obstacle appelée bande dérasée, bordée à l'extérieur d'une berme en gazonnée.

La bande dérasée est constituée, à partir du bord géométrique de la chaussée [16]:

- D'une sur largeur de chaussée, de structure identique à la chaussée, qui porte le marquage de rive et qui limite « l'effet de bord ». Ce terme désignera à la fois les conséquences du surplus de contraintes en bord de dalle et les conséquences des alternances d'humidification et de dessiccation qui se produisent au bord de la zone revêtue.
- D'une partie spécialement traitée, revêtue ou non.

Sur une autoroute, elle est toujours revêtue et prend alors le nom de bande d'arrêt d'urgence car elle permet d'accueillir les véhicules en panne.

Sur route ordinaire, elle est rarement revêtue. Si elle ne l'est pas, il est conseillé de la constituer avec des matériaux ayant une certaine stabilité propre, même en période humide, pour que les véhicules qui sont exceptionnellement contraints d'y stationner la dégradent le moins possible.

Lorsqu'on estime souhaitable de la revêtir, il est impératif de lui donner une structure résistante par apport de matériaux du type d'eux que l'on utilise dans la chaussée, en épaisseur bien entendu moindre.

La pente de la bande dérasée est de 4 % lorsqu'elle n'est pas revêtue, elle peut être réduite à 2,5 % lorsqu'elle est revêtue :

- D'une berme, dont la pente est de 8 %, qui va jusqu'au bord de remblai ou jusqu'au fossé pour les zones en déblai.

e. La plate-forme

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais, comprenant la ou les deux chaussées et les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêts [16].

f. Assiette

Surface de terrain réellement occupé par la route, ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai [16].

g. L'emprise

C'est la surface du terrain naturel appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances (talus, chemins de désenclavement, exutoires,etc.), elle coïncidant généralement avec le domaine public [16].

h. Le terre-plein central

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

- Les sur largeurs de chaussée (bande de guidage) ;
- Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue [16].

f. Le fossé

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route et talus et les eaux de pluie [16].

g. Le talus

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

A : la distance sur la base du talus.

B : la hauteur du talus.

En terre de moyenne cohésion, l'inclinaison de talus est de (3/2) pour les remblais et (1/1) pour les déblais [16].

h. La largeur rouable

Elle comprend les sur largeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt. Sur largeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive [16].

i. Point de rotation des dévers

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

Lorsque le T.P.C est revêtu, le point de rotation des dévers se situe habituellement sur l'axe de la plateforme, sinon le point de rotation des dévers de chaque chaussée se situe sur le bord de la chaussée [11].

7.2. Profil en travers de la route

L'étude du trafic a mentionné qu'il était nécessaire d'avoir un profil en travers à 2 x 2 voie (2 voie par sens) de 3.5m de largeur de chaque voie avec un accotement de 1.5m (0.5m BDD) [28].

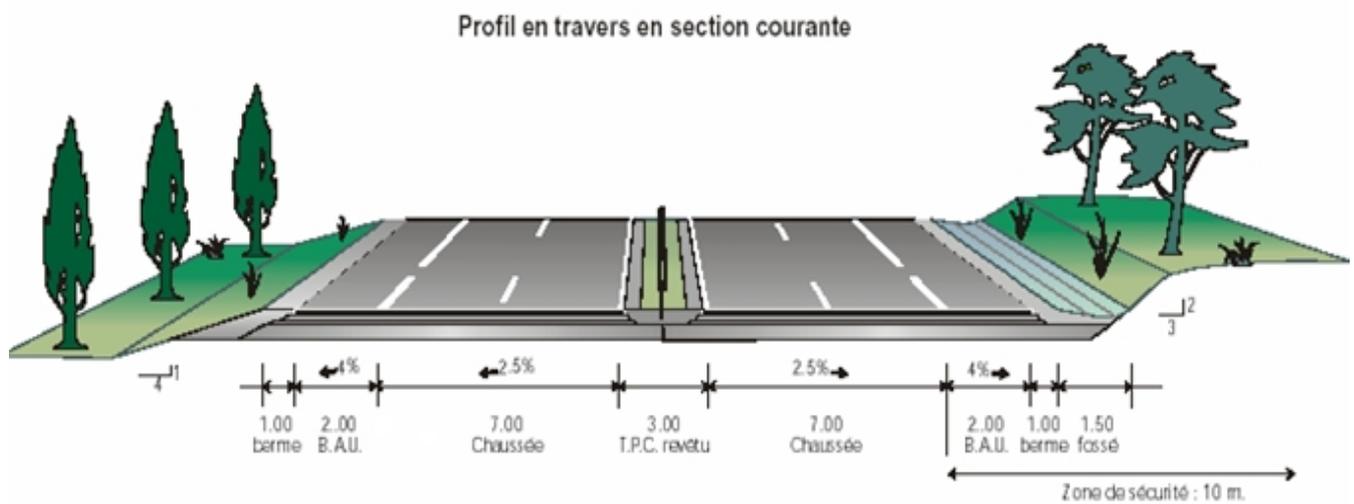


Figure25. Profil en travers type d'une route [28]

7.3. Profil en travers sous un ouvrage d'art

La route qui passe sous l'ouvrage d'art à des bandes d'arrêt en section courante, elles sont en générale maintenues sous l'ouvrage sans réduction de largeur.

La distance de parement intérieur d'un appui latéral aux bords de la chaussée, la plus proche est fixe à 2m quel que soit la vitesse de référence [28].

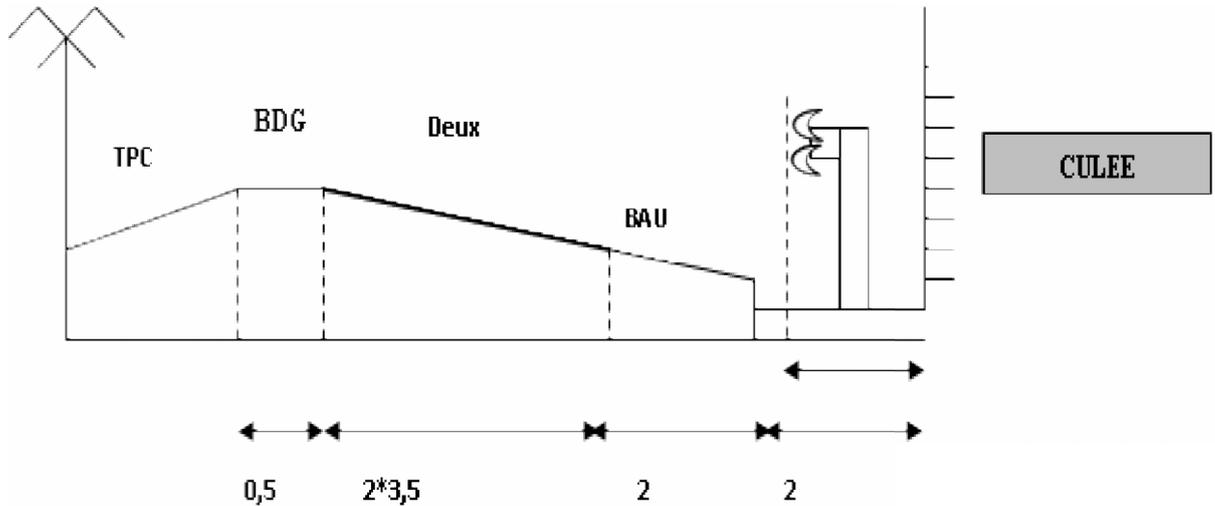


Figure 26. Profil en travers sous l'ouvrage d'art [28].

8. Etude de Cubature

La cubature des terrassements consiste à calculer les volumes de terre à enlever (déblais) et les volumes à apporter (Remblai), pour donner à la route une allure uniforme et homogène pour recevoir un ceps de chaussée qui permette aux véhicules de circuler en toutes sécurité et sérénités à partir de [29]:

- La méthode par le calcul des volumes élémentaires.
- La méthode des aires moyennes.
- La méthode des profils.

Donc le calcul des volumes de terre vaut alors [29]:

$$V_{n-1} = \frac{n-1}{2} (S_{n-1} + S_n) \tag{14}$$

Entre profil P_{n-1} et P_n

$$V = \sum_1^{n-1} V_i = \frac{d_1}{2} \times (S_1 + S_2) + \frac{d_2}{2} \times (S_2 + S_3) \times \frac{d_3}{2} \times (S_3 + S_4) \times \dots \times \frac{d_{n-1}}{2} \times (S_{n-1} + S_n) \\ = \frac{d_1}{2} \times S_1 + \left(\frac{d_1+d_2}{2}\right) \times S_2 + \left(\frac{d_1+d_2}{2}\right) \times S_3 + \dots + \left(\frac{d_{n-2}+d_{n-1}}{2}\right) \times S_{n-1} + d_{n-1} \times S_n \tag{15}$$

La distance $\left(\frac{d_{i-1}}{2} + \frac{d_i}{2}\right)$ est la longueur d'application.

8.1. Foisonnement et tassement

Le foisonnement est la propriété que présentent les terres d'augmenter de volume lorsqu'on les manipule.

Une décompression du terrain entraîne la formation de vides partiels entre les cailloux, les particules plus ou moins grosses, etc. Dans la majorité des cas, la terre remise en place n'occupe plus le même volume [30].

Tous les terrains s'augmentent en volume lors de leurs extractions, on dit qu'ils foisonnent.

Lorsqu'on les met en remblais et les compactés, ils tassent.

Le volume des terrains des déblais foisonnés [29]

$$V_{Df} = V_D + V_D \cdot c_f \quad (16)$$

Le volume des terrains des remblais tassés [29]:

$$V_{RT} = V_R + V_R \cdot c_t \quad (17)$$

c_f : Coefficient de foisonnement.

c_t : Coefficient de Tassement.

Le maître d'œuvre et le maître de l'ouvrage ne s'attachent pas à ces coefficients car ce qui les intéresse est le volume initial de déblai à extraire et le volume final remblais mis en place, par contre les entreprises de réalisation qui transportent les matériaux s'intéressent à ces coefficients pour déterminer ces prises et ces cadences.

A titre indicatif les valeurs de coefficient C_f et C_t sont aux moyennes suivantes:

Tableau14. Les valeurs des coefficients C_f et C_t [29]

Nature du terrain	C_f	C_t
Terre végétale et sable	10% à 15%	08% à 12%
Gravier	15% à 20%	12% à 15%
Terre argileuse	25% à 30%	17% à 19%
Les argiles	30% à 35%	19% à 21%
La marne	35% à 40%	21% à 33%
Argile marneuse très compacte	40% à 55%	23% à 30%
Les éboulis d'oued	30% à 40%	17% à 18%
TVO	40% à 65%	10% à 15%

9. Mouvements des terres

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

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

La modification de la formeuse raine naturel comporte deux actions, la première est le remblai et la deuxième est le déblai [16]

- Le déblai : consiste à retirer et à transporter sur le site du projet ou à l'extérieur de celui-ci (dépôt), des sols décapés ou excavés.
- Le remblai : consiste à transporter à partir du site du projet ou de l'extérieur de ce dernier (gite d'emprunt), des matériaux conformes à l'usage et aux spécifications techniques.

9.1. Objectifs du mouvement des terres

Les mouvements des terres ont pour objet:

- La compensation déblais/remblai sur le long du projet;
- L'évacuation des déblais excédentaires aux dépôts;

- Emprunt des matériaux sur chantier pour remblaiement lorsqu'il y a un manque ;
- Recherche de la distance moyenne de transport la plus courte possible ;
- Exclure le transport en sens contraire qui se croisent ;
- Choix de matériels de transports de terrassement (Motors Scraper, chargeur-camions...) ;
- Calcul du coût réel de terrassement ;
- Permet d'évaluer les rendements nécessaires en fonction de la durée prévue du chantier ;
- Permet de choisir le matériel adapté au matériau, aux rendements, aux distances de transport ;
- Permet d'établir le planning général des travaux pour l'ensemble du chantier.

9.2. Transport des terres

Le transport des terres représente une part importante des travaux à effectuer sur un projet routier (40 à 50% du prix total) : une étude soignée doit être réalisée lors des phases de soumission des prix du marché, de préparation du projet, d'exécution des travaux. (6 cubature) [29].

9.2.1. Transports transversaux

Dans les profils mixtes, on commence d'utiliser au maximum les déblais à la construction des remblais, on fait ces transports perpendiculairement à l'axe de la route.

Ces distances sont, généralement courtes et n'interviennent pas dans la distance moyenne de transport [29].

9.2.2. Les transports longitudinaux

On ne fait les transports longitudinaux qu'après avoir fait les transports transversaux. La recherche de ces transports les plus économiques est effectuée par une méthode graphique.

9.2.3. Epure de Lalanne

L'épure de Lalanne est un graphique inventé par l'ingénieur Léon Lalanne au 19^{ème} siècle.

Elle sert à optimiser le profil en long pour la construction d'une route et ainsi minimiser la distance de transport moyenne des terres pour les opérations de terrassement qui vont suivre [29].

Il permet :

- D'équilibrer des déblais et remblais longitudinalement ;
- De trouver rapidement un mouvement des terres ayant la distance de transport moyenne minimum ;
- De minimiser les coûts de transport.

9.2.4. Principe de l'épure de Lalanne cubature

On considère [29]:

- ✓ Que 1 m^3 de déblai correspond à 1 m^3 de remblai compacté, sans tenir compte du foisonnement ;
Par contre, dans l'étude du prix de transport, il faudra tenir compte de ce que 1 m^3 de déblai plus que 1 m^3 de terre à transporter ;
De même, dans l'avant métré, il faudra tenir compte des dépenses de compactage.
- ✓ Que chaque cube de déblai ou de remblai est concentré au droit du profil en travers correspond ;
- ✓ On ne tient pas compte des cubes réemployés dans un même profil ;
- ✓ Un profil mixte sera donc considéré comme étant :
 - En déblai du cube $D - R$, Si $D > R$
 - En remblai du cube $R - D$, Si $R > D$.
- ✓ On ne tient pas compte des profils fictifs où l'on a supposé qu'il n'y eût ni déblai, ni remblai.

9.2.5. Distance moyenne de transport

Les dépenses de transport augmentent avec le volume à transportés et la distance parcourus, elles sont proportionnelles au produit de distance par volume appelé : Moment de Transport $v_i \times d_i$ [29].

Soit $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ les volumes transportés aux distances $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$.

Le volume total sera :

$$v = \sum_{i=1}^n v_i \quad (18)$$

Alors la distance moyenne de transport d_m sera :

$$D = \frac{1}{v} (v_1 \cdot d_1 + v_2 \cdot d_2 + \dots + v_n \cdot d_n) \quad (19)$$

Donc :

$$d = \frac{\sum v_i d_i}{\sum v_i} \quad (20)$$

9.2.6. Etablissement de l'épure de Lalanne

L'épure de Lalanne est un moyen de représentation graphique des terrassements effectués, il s'établit de façon suivante [29] :

- ✓ On porte sur une droite, dite ligne de terre HH', ou ligne initiale, les distances entre centres de gravité (les positions des profils en travers). On ne porte pas les profils fictifs ;
- ✓ Perpendiculairement à cette ligne, on trace les cubes des déblais et des remblais lus dans le tableau du mouvement des terres ;
- ✓ On choisit pour cela une échelle des cubes (par exemple centimètre pour $20 m^3$ ou pour $50 m^3$ ou encore pour $100m^3$).
- ✓ On porte
 - Les déblais de bas en haut.
 - Les remblais de haut en bas.
- ✓ En sautant d'un centre de gravité à l'autre par un échelon horizontal.

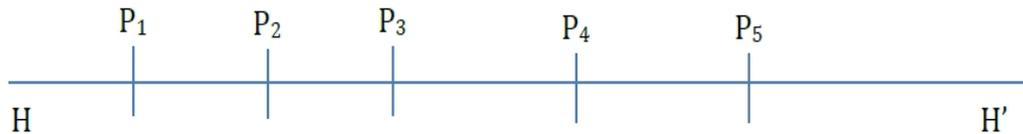


Figure 27. Ligne de terre HH' [29].

Si l'extrémité du cube du dernier profil se trouve :

a- Sur la ligne de terre

Le cube des déblais = le cube des remblais.

b- Au-dessus de la ligne de terre

Le cube des déblais est supérieur au cube des remblais. Il faudra mettre l'excédent en dépôt.

c- Au-dessous de la ligne de terre

Le cube des déblais est inférieur au cube des remblais. Il faudra faire un ou plusieurs emprunts.

La distance entre la ligne de terre et l'extrémité de l'épure doit être, à l'échelle des cubes, égale à la différence des déblais et des remblais.

9.2.7. Ligne de répartition des transports

Sur l'épure, les cubes des déblais, représentés par des segments verticaux ascendants, seront transportés aux remblais, représentés par les segments verticaux descendants qui leur font face.

➤ On obtient ainsi des rectangles qui représentent les transports.

On cherche une ligne de répartition des transports, définie par une ligne horizontale « LR », qui peut être différente de la ligne HH' pour organiser les transports en faisant en sorte que la somme des surfaces des rectangles soit la plus petite possible.

➤ La surface de chaque rectangle (cube X distance) représente donc le moment de transport du cube correspondant au côté vertical du rectangle.

➤ Les transports se font :

- Évidemment dans le sens déblais vers remblais ;
- De gauche à droite au-dessus de la ligne de répartition ;
- De droite à gauche au-dessous de la ligne de répartition.

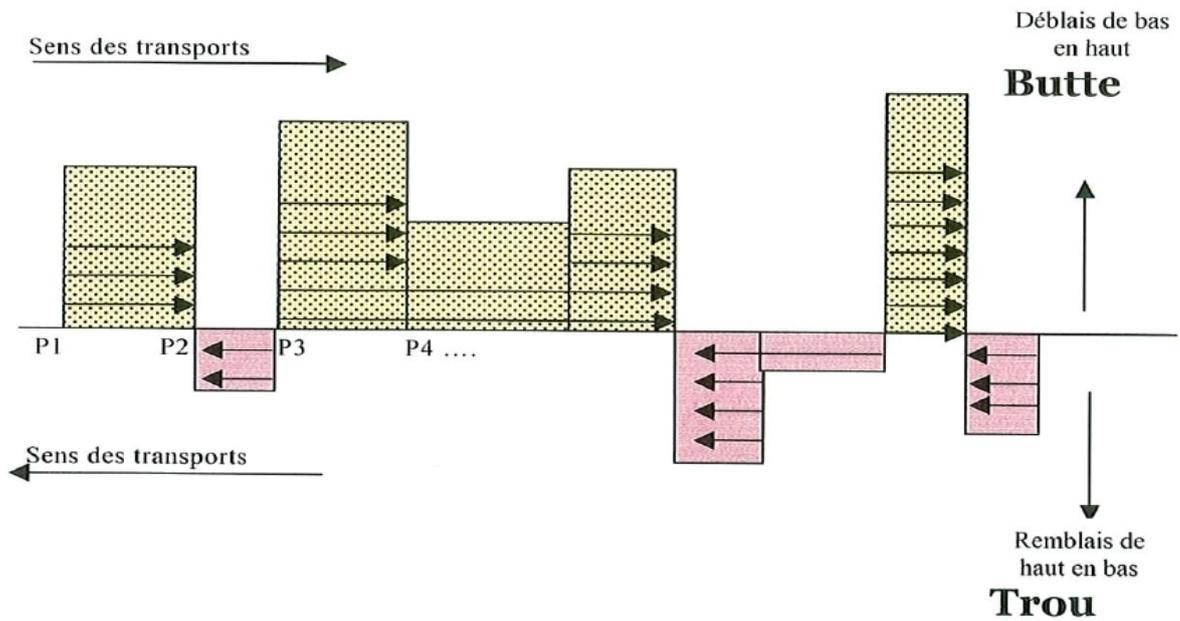


Figure28. L'exécution des transports [30].

10. Conclusion

Les travaux de terrassement constituent une phase importante dans un projet routier. Le calcul de cubature définit le volume des mouvements des terres et l'emplacement des zones d'emprunt ou de dépôt des matériaux (sols).

Le bon choix aussi du matériel de compactage permet d'améliorer les propriétés mécaniques du sol support (terrain naturel ou couche formée), afin de supporter la structure de la chaussée et les charges roulantes transmises par cette dernière.

The background features a large, light gray watermark of the University of Tébessa logo. The logo consists of a central sunburst with rays emanating from a semi-circle at the bottom, flanked by stylized architectural elements. Below the sunburst is an open book with many pages. The text 'UNIVERSITE DE TEBESSA' is printed at the bottom of the logo.

Chapitre 04

Etude

géotechnique

UNIVERSITE DE TEBESSA

1. Introduction

La géotechnique est une discipline qui étudie le comportement des terrains constitutifs de notre planète en relation ou non avec la construction d'ouvrage par l'homme. Elle s'inscrit dans une démarche de science expérimentale dont la connaissance s'appuie sur l'observation et la mesure permettant la compréhension des phénomènes et leur modélisation à des fins d'actions. La géotechnique joue un rôle essentiel dans l'acte de construire pour tous les travaux de projet routier.

2. Les missions de la géotechnique

Ces travaux sont réalisés à travers plusieurs étapes appelées les missions géotechniques, C'est le dernier en [31]:

❖ Mission d'investigation géotechnique (G0).

❖ Etudes géotechnique préalables (G1) :

- ES : Etude géotechnique préliminaire de site ;
- PGC : Principes généraux de construction.

❖ Etude géotechnique de la conception (G2) :

- AVP : Etude géotechnique d'avant-projet ;
- DCE : Phase du dossier de consultation des entreprises ;
- PRO : Phase de projet ;
- ACT : Phase assistance aux contrats de travaux.

❖ Exécution des ouvrages géotechnique :

- Étude et suivi géotechnique d'exécution (G3) :
 - Phase étude ;
 - Phase suivie.
- Supervision géotechnique d'exécution (G4) :
 - Phase supervision de l'étude d'exécution ;
 - Phase supervision du suivi d'exécution.

❖ Etude d'éléments spécifiques géotechniques :

- Diagnostic géotechnique (G5).

2. Présentation générale

2.1. Situation générale

La ville de Tébessa, est située entre les parallèles 35°4' et 35°40' et entre les méridiens 7°37' et 8°20', à l'extrémité de l'Est Algérien [32].



Figure 29. Situation géographique de la ville de Tébessa [32].

Elle occupe une superficie de 13,878 Km² elle se situe au nord Est du pays, elle fait partie de l'immense étendue steppique du pays elle est limitée [32]:

- Au nord, par la wilaya de Souk Ahras;

- À l'ouest, par les wilayas de Khenchla et Oum El Bouaghi;
- Au sud, par la wilaya d'El Oued;
- À l'est, sur 297Kms de frontières, par la Tunisie oued.

La commune de Tébessa est limitée au Nord par la commune de Boulhaf Dyr, au Sud par la commune d'Elma-Labioud, à L'Ouest par la commune de Bir-Moqadem et au nord-ouest par la commune de Hammamet [32].

2.2. Contexte topographique

La région d'étude est une plaine, qui a une topographie plus ou moins plate, sous forme de cuvette juxtaposé et entouré par des massifs montagneux, l'altitude varie de 1712 m, qui est le sommet le plus haut de la région (Djebel Doukkane) à 830 m qui est l'altitude la plus basse, sur la plaine de Tébessa.

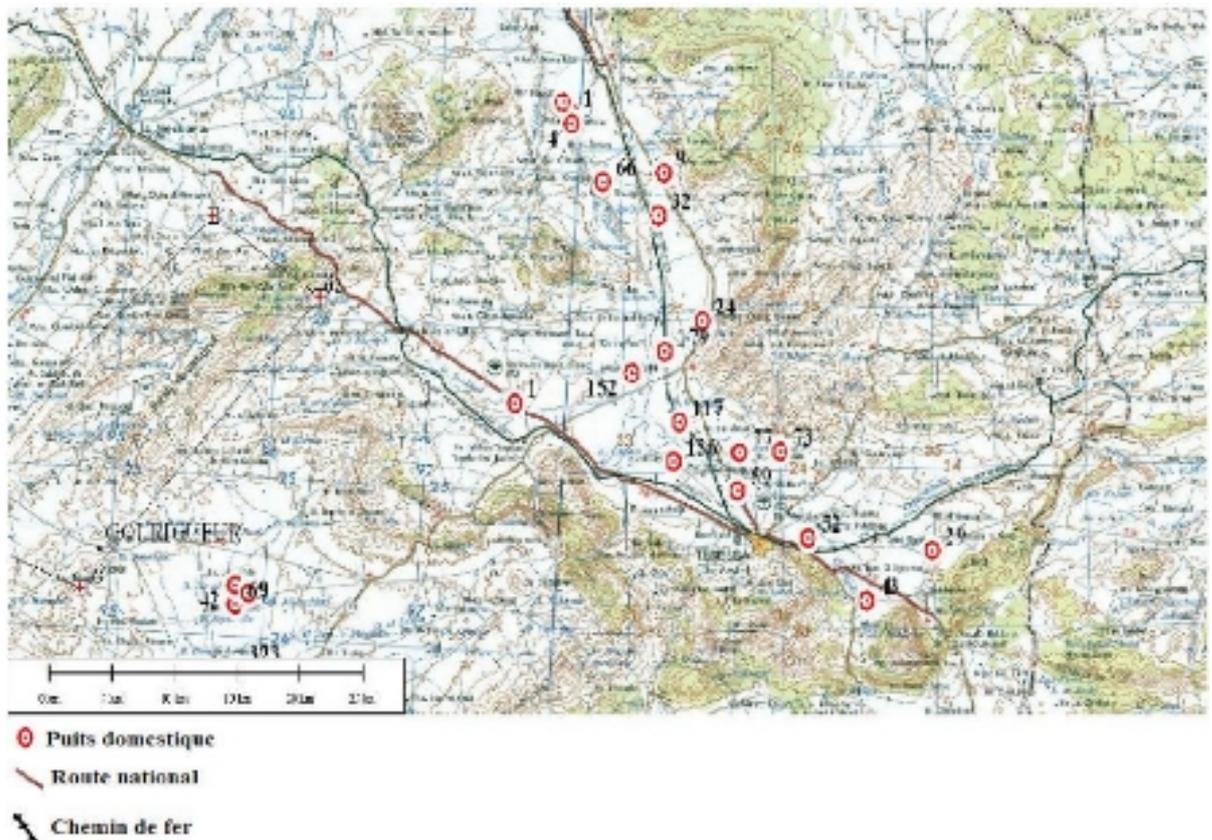


Figure 30. Carte topographique de ville de Tébessa [35].

2.3. Contexte géologique**2.3.1. Géologie générale**

La plaine de Tébessa est représentée par un bassin d'effondrement, caractérisé par des dépôts d'origine continentale, et fait partie de la structure autochtone Nord-Auresien (Aurès Nememcha) et l'Atlas Saharien, Parmi leurs formations. Le secteur d'étude (la plaine alluviale de Tébessa) est composé de formations sédimentaires dont les quelles on peut noter également :

- Une formation triasique diasporique disloquant des formations sus- jacentes au niveau du Djebel Djebissa;
- Une formation carbonatée représenté par d'importantes couches calcaire-marneuses et des marnes d'âge crétacé. Cette formation est très nette au niveau des bordures de la plaine;
- Un important dépôt alluvionnaire d'âge Moi-Quaternaire qui repose sur la surface de toute la plaine et surtout au piedmont des reliefs accidentés en discordance avec les formations précédentes [34].

2.3.2. Géologie locale

En se référant à la carte géologique au 1/50000 de Tébessa, la quasi-totalité du couloir du présent projet traverse la plaine alluviale de la Merdja (figure 26).

Les formations superficielles attribuées au Quaternaire sont représentées par :

- Des alluvions actuelles ;
- Des alluvions récentes limoneuses ;
- Des alluvions anciennes argileuses.

Cette plaine est drainée par de nombreux oueds, en particulier l'oued EL Kebir et l'Oued Chabro (haut cours de l'oued Kseub).

Ces oueds très encaissés, laissent parfois apparaitre les éléments supérieurs de la série Plio-Quaternaire : argile rouge.

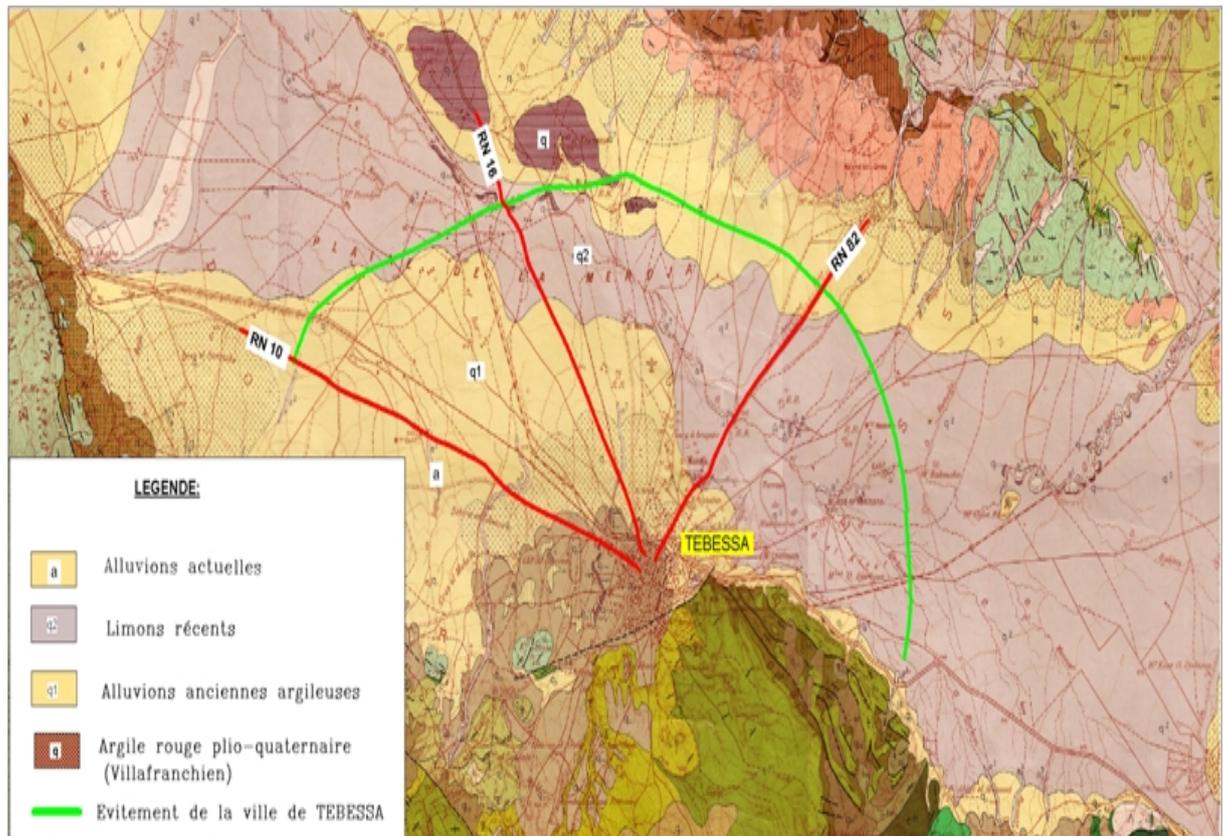


Figure 31. Carte des sols de la ville de Tébessa.

2.4. Contexte hydrogéologique

D'après l'esquisse géologique, et on se référant aux travaux de Djabri (1987), le système aquifère de la plaine de Tébessa est formé essentiellement par un manteau alluvial d'âge quaternaire, composé d'une alternance d'argile et de sables ou de cailloutis calcaires d'une épaisseur qui varie entre 10 et 400 m, encaissé dans un bassin d'effondrement d'âge plio-quaternaire, ouvert vers le Nord-Ouest, les calcaires Turoniens, Maestrichtiens et Campaniens constituant les reliefs en bordures Nord Est et Sud de la plaine, forment également d'importants aquifères.

Compte tenu du schéma lithostrati-graphique de l'identification hydrogéologie nous avons limités un ensemble de système aquifère:

- Système Aquifère des calcaires Maestrichtiens.
- Système Aquifère des calcaires Eocènes.
- Système Aquifère de Mio-Pliocène.
- Système Aquifère de Cailloutis et graviers quaternaires.

Tableau 15 : géologie et hydrogéologie de la wilaya de Tébessa [34].

Etage	Faciès	Régime hydrologique
Quaternaire	Eboulis actuels travertins déposés par les sources, alluvions anciennes croûte calcaires dues à l'évaporation d'eau, alluvions anciennes de piedmont anguleuses ou caillouteuses matériel pendage ancien entassé.	Se trouve dans les plaines de Tébessa, Morssott Mahmel région des dômes Et El Ma El Abiod son épaisseur varie de 10 m à plus que 400m composée d'une alternance d'argile, sable fin et gravier.
Pliocène continental	Conglomérats a éléments bien arrondis et mauvaise hétérogénéité cimentés par des argiles à brins rouge formation prise parfois dans des côtes pulvérulentes de couleur rose saumon.	C'est la limite entre le Sahara et l'atlas tellien, affleurement d'une largeur faible (Khenguët sidi Nadji, Ferkane) mais une importante Epaisseur au-dessous du quaternaire dans la plaine saharienne, épaisseur n'est pas établie composée d'argile rouge, conglomérats et sable quartzeux.
Pontien	Argile et Sable plus ou moins argileux lentilles de calcaires lacustres.	Situé dans les régions des oueds Rheznate, Soukies et Mdila, son épaisseur varie de 100 à 300m composée d'argile et de sable très fin, d'argile sableux.
Miocène	Sable et graviers quartzeux blancs à traces ferrugineux parfois argiles feuilletées de couleurs vert clair.	Situé dans les régions d'EL Ma El Abiod, Bouchebka, plaines de Dj. Boudjellaln Dj Botna et Dj Oung son épaisseur varie de moins 10 à plus de 300m composée degrés.
Eocène	Calcaire massif à silex en blanc épaisseur 5m de calcaire marneux blanc à la base marne et calcaire marneux à silex Marnes noirs ou jaunâtre parfois gypseuse ou prêtreuse rare petit blanc marno-calcaire.	Situé dans les Djebels Oung, Darmoun, Guentis et Tadinart, d'une superficie très grande, son épaisseur varie de 300 à 400m, composée de marne marno-calcaire et calcaires
Crétacé	Calcaire massif, marne argileux verdâtre, marne à gypse Calcaire argileux en plaquettes Argile marno-calcaire dolomitique gris marne grise à verdâtre, marno-calcaire gris mince schisteux.	Occupe une grande superficie (Nord-Ouest et centre) de la wilaya son épaisseur est très grande (1500 à 2000) composés de calcaire, marno-calcaire et marne, nappes captives.
Trias	Argile rouge à gypse Te : calcaire et calcaire dolomitiques noires en plaquettes. M : blanc de calcaire roux dolomitique.	Se trouve dans les régions de Mes oula, Boukhara et Ouenza, son épaisseur est composée d'argile rouge, gypse et dolomite.

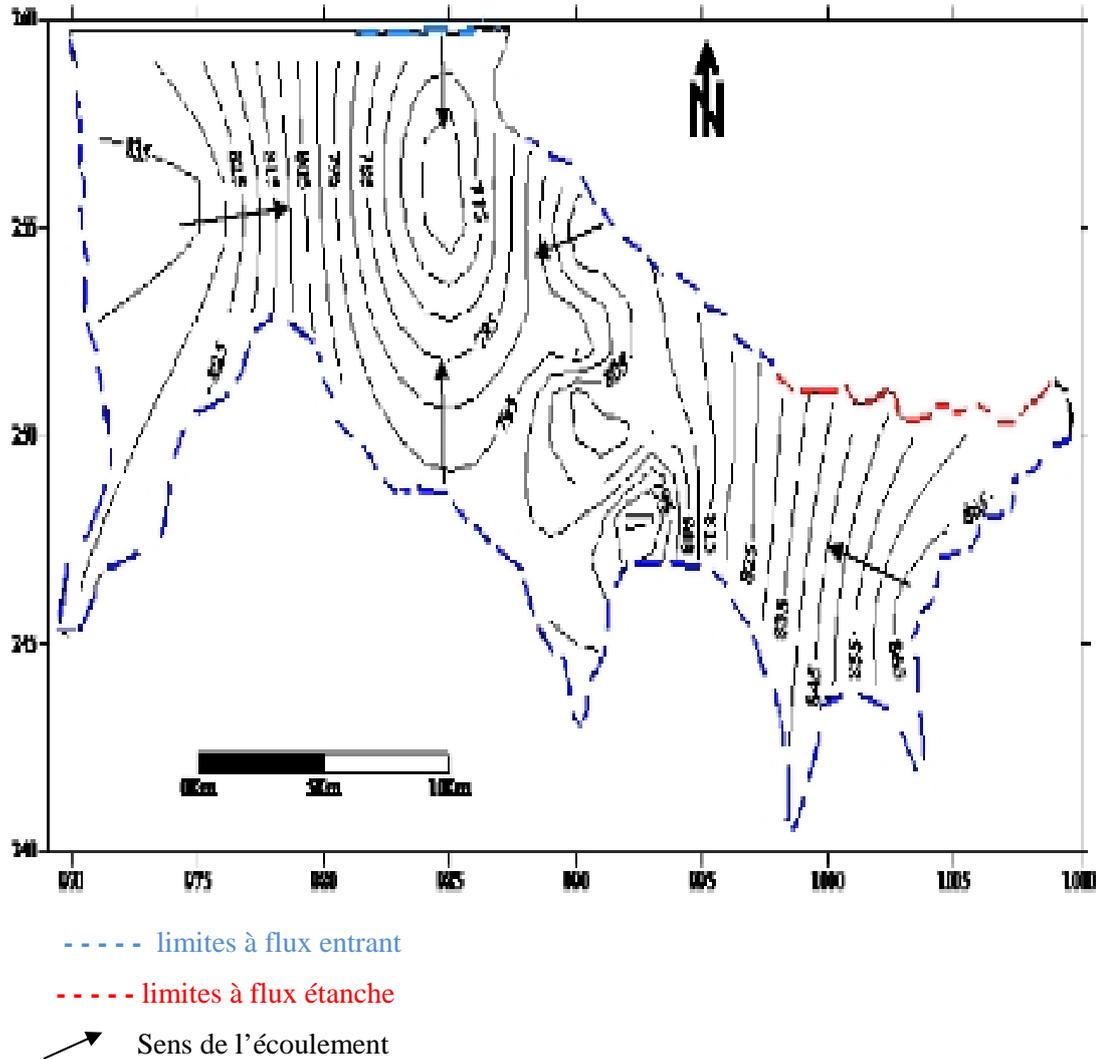


Figure 32. Carte hydrogéologique de la ville de Tébessa [34].

2.5. Contexte climatologie

La région étant une zone de transition météorologique, elle est considérée comme une zone agropastorale avec une présence nombre important de phénomène : pluie, neige, gelée, et vent violent d'après les données météorologiques recueillies au niveau de la station météorologique de Tébessa (latitude : $35^{\circ} 28'$; longitude : $08^{\circ} 07'$ Est ; altitude : 820m) [36].

2.5.1. Climat

Le climat est semi-aride marqué par deux épisodes pluvieux : à partir du mois de septembre jusqu'au mois de novembre, et de février jusqu'au mois de mai [32].

2.5.2. Précipitation

Les précipitations (pluies, neiges) éliminent de l’atmosphère une grande partie des polluant surtout les particules, en fonction de la taille, la vitesse de sédimentations et de la densité des particules. Les précipitations remarquées dans la région d’étude connaissent de grandes fluctuations d’un mois à un autre et d’une année à une autre. La région d’étude connaît une plus grande concentration des précipitations au cours des périodes printanières et automnales [36].

2.5.3. Température

En situation normale, dans les bases couche de l’atmosphère, la température décroît régulièrement avec l’altitude. Cela permet aux polluants émis de s’élever naturellement avec l’air chaud et de se mélanger avec l’air ambiant. Par contre, si l’air est plus froid au sol qu’une altitude, il a tendance, il a tendance à stagner en y maintenant les polluants il s’agit du phénomène d’inversion de température [36].

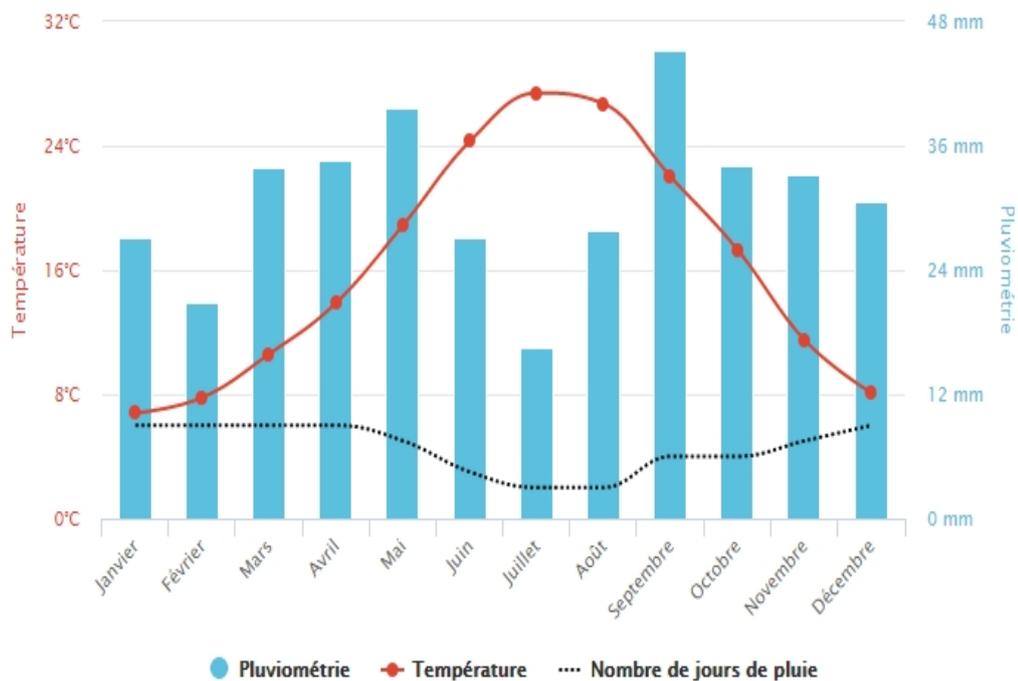


Figure 33. Diagramme de la Température et pluviométrie de Tébessa [37].

Le tableau suivant résume les données climatiques annuelles de la région de Tébessa.

Tableau 16. Données climatiques annuelles de la région de Tébessa [37].

Mois	Température moyenne	Température moyenne min/max	Record des températures Min/max	Précipitation	Nombre jour avec de la pluie
Janvier	7	2/12	-8/24	27	6
Février	8	3/13	-6/30	21	6
Mars	11	4/16	-6/32	34	6
Avril	14	7/20	-4/32	35	6
Mai	19	11/26	1/40	40	5
Juin	24	16/32	3/42	27	3
Juillet	27	18/35	8/43	17	2
Août	27	18/34	8/43	28	2
Septembre	22	15/29	2/40	45	4
Octobre	17	11/23	-1/37	34	4
Novembre	12	6/17	-3/31	33	5
Décembre	8	3/13	-11/27	31	6

2.6. Contexte tectonique

Le fossé d’effondrement de Tébessa est le résultat de mouvement récents du socle prolongeant celui de Kasserine à l’Est en Tunisie et plongé au N.O par celui de Morssott.

Ce graben recoupe d’anciennes structures orientées SO-NE pas bien visible dans les limites de la feuille.

- Anticlinale du Djebel ESSINE passe un peu au Nord de Koudiat-E’Safra -Synclinal du Djbel Essine passant par Djabel Mestoui.
- Anticlinal secondaire de Gouray, passant par ksar Gouray – synclinal du Kouif.
- Anticlinal de Djebiss.

Ces structures anté-miocène sont simples et les failles dattent de cette époque sont rares. On rencontre uniquement la faille de Tnikla (1er phase), et la faille de Gouray.

Les effondrements post-miocènes ont une direction constituant un système très général dans la région.

La fosse d'effondrement de Tébessa est la conséquence des mouvements tectoniques qui a subi cinq différentes phases d'origine Alpine étant responsables de la formation des grabens et des horsts, ainsi que des structures plissées [36].

2.7. Etude générale de la zone d'étude

2.7.1. Localisation de la zone d'étude

Mon cas d'étude (l'évitement de Tébessa) se situe entièrement dans la partie nord de la ville, il débute sur la RN10, et s'achemine vers l'Est en traversant la voie ferrée au 04+ 060 et en franchissant des oueds aux PK 04+600 et traversant la RN16 avec un passage supérieur (Echangeur) et terminée au niveau du carrefour RN82/Evitement.

2.7.2. Etude géotechnique

L'objectif attendu par le programme de reconnaissance géotechnique est de permettre la reconnaissance des sols en place et de déterminer leurs caractéristiques géotechniques.

❖ Essai in situ

Dans notre cas le tracé de la route passe, dans sa plus grande partie en remblais, ces zones de remblais sur la section de l'évitement de la ville de Tébessa, Pour le reste du tracé les déblais sont absents.

A cet effet, le programme de l'investigation géotechnique arrêté pour cette section est comme suit:

- Quarante-sept (47) puits entre 2 m et 3 m de profondeurs réalisées le long de l'axe du tracé, dont 20 puits sont situés dans la 2^{ème} tranche (notre cas d'étude). L'emplacement de tous ces puits a été décidé par le client (DTP).

Tableau 17. Résultats des essais in-situ.

Puits	Points kilométrique(PK)	Profondeurs en (m)	La nature du terrain
01	4+600	0.00 - 0.15 0.15 – 2.00	Terre végétale. Argile brunâtre.
02	4+997	0.00 - 0.40 0.40 – 2.00	Terre végétale. Argile brunâtre.
03	5+120	0.00 - 0.40 0.40 – 2.00	Terre végétale. Argile brunâtre.
04	5+308	0.00 - 0.10 0.10 – 3.00	Terre végétale. Argile limoneuse brunâtre.
05	5+960	0.00 - 0.20 0.20 – 2.00	Terre végétale. Argile limoneuse brunâtre.
06	6+062	0.00 - 0.30 0.30 – 0.90 0.90 – 3.00	Terre végétale. Argile brunâtre. Marne jaunâtre à grisâtre.
07	6+382	0.00 - 0.30 0.30 – 1.30 1.30 – 2.00	Terre végétale. Argile brunâtre. Limon argileux noirâtre.
08	6+920	0.00 - 0.20 0.20 – 2.00	Terre végétale. Limon argileux noirâtre.
09	7+300	0.00 - 0.30 0.30 – 2.00	Terre végétale. Limon argileux noirâtre.
10	7+570	0.00 - 0.20 0.20 – 2.00	Terre végétale. Limon argileux noirâtre.
11	8+120	0.00 - 0.40 0.40 – 2.00	Terre végétale. Limon argileux noirâtre.
12	8+556	0.00 - 0.30 0.30 – 0.90 0.90 – 3.00	Terre végétale. Limon brunâtre. Marne limoneuse jaunâtre.

13	8+989	0.00 - 0.30 0.30 - 0.90 0.90 - 2.00	Terre végétale. Limon argileux noirâtre. Limon argileux brunâtre.
14	9+120	0.00 - 0.40 0.40 - 1.30 1.30 - 3.00	Terre végétale. Limon brunâtre. Limon argileux noirâtre.
15	9+400	0.00 - 0.40 0.40 - 1.30 1.30 - 2.00	Terre végétale. Limon brunâtre. Limon argileux noirâtre.
16	9+120	0.00 - 0.40 0.40 - 1.10 1.10 - 2.00	Terre végétale. Limon brunâtre. Limon argileux noirâtre.
17	10+110	0.00 - 0.45 0.45 - 0.90 0.90 - 2.00	Terre végétale. Limon brunâtre. TVN Rougeâtre.
18	10+309	0.00 - 0.30 0.30 - 1.18 1.18 - 2.00	Terre végétale. TVN brunâtre. Limon argileux noirâtre.
19	10+447	0.00 - 0.30 0.30 - 1.30 1.30 - 2.00	Terre végétale. TVN brunâtre. Limon argileux noirâtre.
20	10+800	0.00 - 0.40 0.40 - 0.70 0.70 - 2.80 2.80 - 3.00	Terre végétale. Limon brunâtre. TVN beigeâtre. Argile limoneuse brunâtre.

Interprétations des résultats

D’après l’analyse des résultats des puits, on constate que:

- La profondeur atteinte par les puits a varié entre 2 m et 3 m.
- La lithologique de ces puits effectués dans le terrain réservé pour la réalisation de l’évitement de la ville de Tébessa, montre une certaine hétérogénéité elle est représentée dans la majorité par des argiles brunâtres, des limons argileux noirâtre et des argiles limoneuses brunâtres.

❖ Essais au laboratoire

Pour La détermination des caractéristiques physiques et mécaniques du sol support sur échantillons les essais suivants ont été réalisés :

- Essai de la teneur en eau selon la norme NF P 11-300 ;
- Détermination des limites d'Atterberg selon la norme NFP-94.051 Mars 1993 ;
- Analyse granulométrique par tamisage Norme NFP-94.056 Edition Mars 1996 ;
- Analyse granulométrique des sols Méthode par Sédimentation selon la norme NFP-94. 057 Version Mai 1992;
- Détermination des caractéristiques de compactage de sol : Teneur en eau optimal et la densité sèche optimal : Proctor Modifié Norme NF P-94.093 Octobre 1999;
- L'essai mécanique CBR après Immersion : Norme NF P-94.078 Mai 1997;
- Essai du bleu de méthylène selon la norme NF EN 933-9 Aout 1999 et NF P 94-068 Octobre 1998.

Interprétations des résultats**a- Granulométrie**

Les analyses granulométriques effectuées dans le but d'attribuer une classification des sols en place, selon les dimensions des particules spécifiées (des grossiers aux fins), ont révélés les caractéristiques suivantes [38] :

- La fraction de diamètre inférieur à 0.08 mm est estimée à plus de 80%, pour la majorité des échantillons analysés, ce qui dénote des sols fins avec plus de 90% de passants à 0.08 mm ;
- Les tufs argileux et les limons brunâtres sont par contre graveleux, le D max étant de 20 mm ;

(Les caractéristiques moyennes mesurées pour chaque type de sol sont (résumées dans l'annexe A)

b- Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg dépendent étroitement de la granulométrie des échantillons, les valeurs des limites de liquidité et celles de l'indice de plasticité augmentent régulièrement avec le taux d'éléments fins (limons et argiles) [38].

D'après le diagramme de plasticité de CASAGRANDE, basé sur le couple (IP-WL), il ressort que les sols en place (argiles, limons, marnes, et tufs argileux), s'intègrent dans le domaine des argiles plastiques à très plastiques, avec des paramètres variant comme suit :

- 37 WL % 65.
- 17 IP % 42.

Les TVN sont peu à moyennement plastiques, les résultats obtenus sont les suivantes :

- 31 WL% 45.
- 11 IP % 22.

c- Paramètres naturels

- Les échantillons présentent des densités sèches moyennes ($1.50 \leq \gamma_d \frac{t}{m} \leq 1.87$), associées à des teneurs en eau élevées, de l'ordre de 10% à 19%. Ces teneurs sont moins importantes dans les TVN (de 5% à 9.5%).
- Le sol est dans un état saturé à moyennement saturé, les valeurs du degré de saturation (S_r) se situent entre 50% et 81% [38].

d- Equivalent de sable « ES »

Cet essai permet d'évaluer la quantité d'éléments fins contenus dans un sol, et dont la présence en quantité notable peut modifier profondément le comportement mécanique [38]:

- Les tufs argileux sont très peu propres, la valeur en équivalent de sable mesurée étant de 8%, ce qui explique l'abondance des particules argileuses.
- Les TVN ne sont propres, les valeurs de ES varient de 14 % à 30 % [38].

e- Teneur en carbonates

Les différents échantillons soumis à l'analyse chimique, ont révélé des pourcentages de carbonates de calcium oscillant entre 44 % et 69 %, ce qui indique des sols moyennement à assez moyennement carbonatés, excepté les TVN qui ont teneurs plus élevées, variant entre 56 % et 86 % [38].

f- Valeur de bleu de méthylène

Les valeurs au bleu de méthylène confirment le caractère argileux de la majeure partie des sols, les ordres de grandeurs de VBS sont en moyenne de 6 à 7.

Quelques cas relèvent que le sol est limoneux à l'exemple des TVN ou les résultats VBS sont en moyenne 2,33 ; alors que les tufs sont limono argileux (VBS = 5,3) [38].

j. Essai Proctor « modifié »

Le compactage des matériaux de remblai doit être exécuté conformément aux résultats de l'essai Proctor, tout en respectant les teneurs en eaux optimales pour atteindre les densités maximales.

Les densités sèches optimales ρ_{opt} obtenues sont élevées, de l'ordre de 1,85 t/m³ à 2,11 t/m³, pour des teneurs en eau à l'optimum Proctor entre 16 % et 18 %. Quant aux TVN, ces teneurs sont en moyenne de 9,6 %.

Au terme de ces essais, les densités trouvées sont bonnes.

Les limons argileux ont enregistré à eux seuls des densités sèches moyennes de 1.66t/m³, pour des teneurs en eau à l'optimum Proctor de 20 %. Ces valeurs sont dans les mesures acceptables [38].

h. Portance du sol support

Les essais CBR ont été effectués après imbibition préalable de quatre (04) jours.

- ◆ L'argile brunâtre, les limons argileux noirâtres, les tufs et les marnes ont une faible portance ($I_{CBR} < 10 \%$).
- ◆ Les argiles limoneuses brunâtres ont une moyenne portance (I_{CBR} de l'ordre de 16 %).
- ◆ Les TVN ont par contre une bonne portance avec une valeur moyenne de 32,18 % de I_{CBR} [38].

2.8. Classification du matériau selon le GTR (guide de terrassement routier 1992)

Les sols en place sont des matériaux naturels, constitués d'éléments granulaires pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ainsi, la détermination de la classe géotechnique du sol en place, s'effectue selon la norme NF P 11-300 à partir d'essais de laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de ce dernier effectué sur site dans des conditions adéquates.

A partir de ce classement appelé communément GTR (Guide Technique Routier), on distingue quatre grandes classes géotechniques de sol naturel présentant des propriétés spécifiques ainsi que des comportements mécaniques et gélifs prévisibles dans le temps :

L'ensemble de ces matériaux se retrouve le plus souvent dans la réalisation d'une chaussée neuve ou d'un élargissement, notamment au niveau de la partie supérieure des terrassements (PST).

Cette classification géotechnique ainsi obtenue est basée essentiellement sur des conditions de réutilisation du sol naturel et repose sur des paramètres de nature, de comportement mécanique et d'état jugés représentatifs [38].

2.8.1. Paramètres retenus pour la classification des sols

Les paramètres retenus se rangent en trois catégories :

- Les paramètres de nature ;
- Les paramètres de comportement mécanique ;
- Les paramètres d'état.

Ils sont toujours déterminés sur la fraction 0/50 mm qui est la fraction susceptible d'être identifiée par les essais de laboratoire usuels.

On distingue 3 familles [38]:

- Les sols de classe : A, B, C et D ;
- Les matériaux rocheux de classe : R ;
- Les sols organiques et sous-produits industriels de classe : F.

Les 4 classes de sols (famille 1):

- Classe A : sols fins ;
- Classe B : sols sableux et graveleux avec fines ;
- Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments ;
- Classe D : sols insensibles à l'eau.

D'après la classification GTR (guide de terrassement routier 1992), les matériaux analysés, constitués principalement d'argiles et de limons, ainsi que le TVN appartiennent aux classes suivantes : A₂, A₃ et C₁A₁ respectivement (les résultats voir dans l'annexe B).

2.8.2. Condition d'utilisation des matériaux en remblai

Pour les sols meubles sensibles à l'eau, le seul paramètre d'état considéré dans la présente classification est l'état hydrique : son importance est capitale vis-à-vis de tous les problèmes de remblai et de couche de forme, le terrain de la zone qui est étudié est un terrain meuble.

Donc les conditions d'utilisation des matériaux dans ce cas sont classées dans le Tableau présente dans l'annexe C.

2.9. Terrassement

En termes d'opération de terrassement, le tracé de l'évitement de la ville de Tébéssa se trouve en majorité en remblai sur toute sa longueur (à 99 % ; voir annexe D). Les hauteurs à l'axe variant en moyenne entre 1 m et 6,74 m.

On a pris le tronçon entre PF 01 et PF 52 (sur une longueur de 1000 m), qui contient les travaux de remblayage les plus importantes, en dehors des remblais d'accès des ouvrages d'art. Cela sera utilisé par la suite, d'estimer les délais de la phase construction des remblais et de leur compactage pour toute la section considérée (de 11,5 km).

Le sol de fondation de la chaussée sera donc un remblai composé de matériaux issus des emprunts latéraux.

Ces matériaux devront être de bonne qualité, assurant un CBR minimal de 10 % compactés par couche minces successives de 25 cm à 30 cm d'épaisseur.

Les TVN ont des conditions appropriées, ils peuvent être exploités en remblai, pourvu que les valeurs de compactage exigées soient respectées.

La couche de terre végétale à décaper avant la mise en place du remblai, sera 0.30 m en moyenne. Cette couche peut servir de revêtement et de protection des talus contre l'érosion.

Cubature du terrassement

Pour le calcul de cubature, il faut que calculer les volumes de terre à apporter (remblai).

Ces calculs à partir de :

- Les surfaces de remblai obtenus par le profil en travers.
- Les Distances entre profils en travers, indiquées sur le profil en long (à l'aide l'autocade).

➤ Calcul de surface de profil en travers

La surface de profil est calculée comme suite :

$$S = \frac{(l+L)h}{2} / L = l+3h$$

Donc

$$S_1 = \frac{(2l+3h)h}{2} \text{ en (m}^2\text{)} \quad (21)$$

Alors : L : la largeur de l'assise

l : largeur de la chaussée.

h : hauteur du profil.

$$S_t = 2877,18 \text{ m}^2$$

➤ Calcul des volumes de terrassement

Le calcul des volumes est comme suite :

$$V_1 = \frac{d_1}{2} (S_1 + S_2)$$

Entre profil P₁ et P₂ jusqu'à V_{n-1} = $\frac{dn-1}{2} (S_{n-1} + S_n)$ entre profil P_{n-1} et P_n

$$V_t = 54229,01 \text{ m}^3$$

Remarque : Les résultats des calculs des surfaces et des volumes de terrassement seront présentés sur un tableau appelé « tableau du métré des terrassements ». voir l'annexe D.

➤ Le volume de tassement

Généralement les volumes de remblai compacté sont tassés, pour cela il faut calculer le volume des terrains des remblais tassés.

Ces calculs sont comme suite :

$$V_{RT} = V_R + V_R \times C_t \quad \text{en (m}^3\text{)} \quad (22)$$

Soit :

V_R : le volume de remblai.

C_t : coefficient de tassement (0,19 pour les argiles).

V_{RT} : le volume de remblai tassé

Donc pour le tronçon considéré :

$$V_{RT} = 64532,53 \text{ m}^3$$

Soit, pour la tranche N° 2:

$$V_{RT \text{ total}} = V_{RT} \times 11,5 = 742124,095 \text{ m}^3$$

$$V_{RT \text{ total}} = 742124,095 \text{ m}^3$$

➤ Mouvement des terres

❖ Transport des terres: transports longitudinaux (pas de profils en travers mixtes)

❖ La distance moyenne de transport:

$$d_m = \frac{\sum V_i d_i}{\sum V_i} \quad (23)$$

$V_i d_i$: le moment de transport (les résultats voir l'annexe D)

Soit: V_i : les volumes de remblai transporté.

d_i : les distances entre les profils.

Donc : $d_m = 20 \text{ m.}$

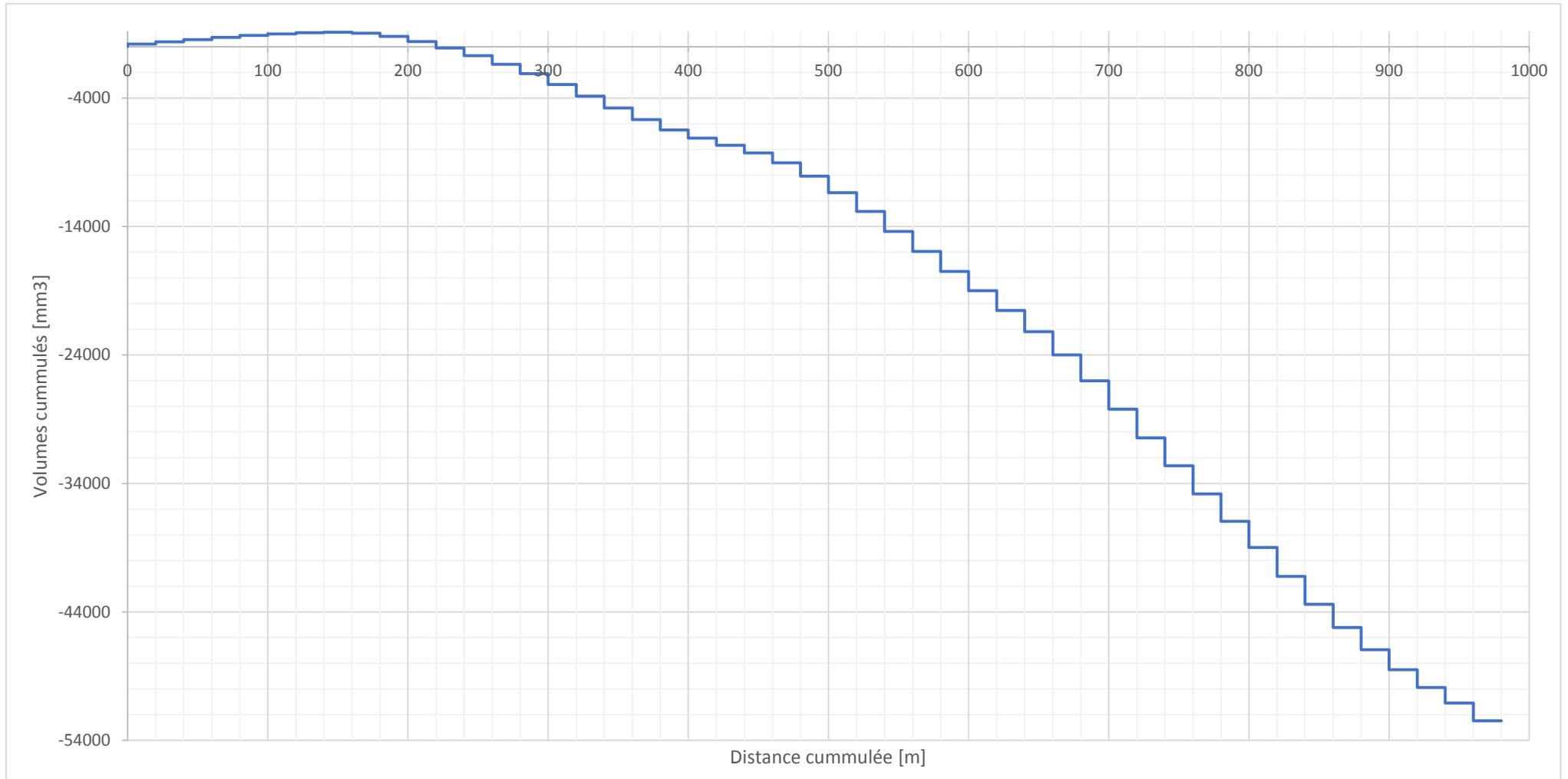


Figure 34. Epure de Lalanne du tronçon entre les profils PF1 et PF52.

➤ L'établissement de l'épure de Lalanne

L'épure de Lalanne est un moyen de représentation graphique des terrassements effectués, il s'établit de façon suivante :

- On porte sur une droite, dite ligne initiale, les distances entre centres de gravité (les positions des profils en travers). On ne porte pas les profils fictifs ;
- Perpendiculairement à cette ligne, on trace les cubes des remblais lus dans le tableau du mouvement des terres dans l'annexe D.
- On porte :
 - Le déblai bas en haut.
 - Le remblai haut en bas.
- Donc, on va présenter un exemple de l'épure de Lalanne du PF1 au PF52, à l'aide de Microsoft Excel 2016, dans la figure 29.

Le cube des déblais est très minime et les sols en déblais ne seront plus utilisés en remblais. Il faudra envisager un seul dépôt à gauche du PF1, et faire un ou plusieurs zones de stockages de TVN (emprunts) pour les remblais.

3. Dimensionnement de la chaussée

Pour le dimensionnement du corps de chaussée on va utiliser deux méthodes qui sont :

La méthode dite CBR et la méthode du catalogue des chaussées neuves « CTTP ».

3.1. Méthode CBR

❖ Les données de trafic

D'après les résultats de trafic qui nous ont été fournis par la DTP qui sont les suivants :

- Le trafic à l'année 2008 $TJMA_{2008} = 9561 v/j$;
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté $\alpha = 5 \%$;
- La vitesse de base sur le tracé $V_b = 80 \text{ km/h}$;
- Le pourcentage de poids lourds $Z = 35 \%$;
- L'année de mise en service sera en 2018;
- La durée de vie estimée de 20 ans.

❖ Projection future du projet

L'année considérée pour la mise en service est 2018.

$$TJMA_h = TJMA_0 (1 +)^n \quad (24)$$

- **TJMA_h** : le trafic à l'année horizon
- **TJMA₀** : le trafic à l'année de référence (origine 2008).

$$TJMA_{2018} = 9561(1 + 0,05)^{10} = 15573 \text{ (v /j)}.$$

Donc :

$$TJMA_{2018} = 15573 \text{ v/j}$$

Trafic a l'année (2038) pour une durée de vie de 20 ans.

$$TJMA_{2038} = 15573 \times (1 + 0,05)^{20} = 41319 \text{ v /j}.$$

Donc:

$$TJMA_{2038} = 41319 \text{ v/j}$$

❖ Calcul du trafic effectif

$$T_{\text{eff}} = [(1 - Z) + PZ] \times TJMA_h \quad (25)$$

- **P** : coefficient d'équivalence pour le poids lourd. Pour une route à bonne caractéristique et un environnement E₁, on a P = 3.
- **Z** : pourcentage de poids lourds est égale à 64 %.

$$T_{\text{eff}} = [(1 - 0,35) + 3 \times 0,35] \times 41319 = 70242 \text{ unv /j}.$$

Donc:

$$T_{\text{eff}} = 70242 \text{ unv/j}.$$

a. Débit de pointe horaire normale

$$Q = (1/n) \times T_{\text{eff}} \quad (26)$$

Avec :

(1/n): coefficient de pointe horaire pris est égale à 0,12.

$$Q = 0,12 \times 70242 = 8429 \text{ uvp/h}$$

Donc:

$$Q = 8429 \text{ uvp/h}$$

b. Débit admissible

Le débit que supporte une section donnée:

$$Q_{\text{adm}} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\text{th}} \quad (27)$$

- K_1 : coefficient correcteur pris égal à 0,75 pour E_1 .
- K_2 : coefficient correcteur pris égal à 1 pour environnement (E_1) et catégorie (C_1).
- C_{th} : capacité effective par voie.

Ce débit prévisible doit être inférieur au débit maximal que notre route peut offrir, c'est le débit admissible

$$Q \leq Q_{\text{adm}} \Rightarrow Q \leq K_1 \times K_2 \times C_{\text{th}} \Rightarrow C_{\text{th}} \geq \frac{Q}{K_1 \times K_2}$$

$$C_{\text{th}} = 8429 / (0,75 \times 1)$$

$$C_{\text{th}} = 11238 \text{ uvp/j}$$

$$Q_{\text{adm}} = 0,75 \times 1 \times 11238 = 8429 \text{ unités de véhicules particuliers uvp/h.}$$

Donc :

$$Q_{\text{adm}} = 8429 \text{ uvp/h}$$

c. Le nombre des voies

$$\text{On a : } n = S \cdot Q / Q_{\text{adm}} = (2 / 3) \times 8429 / 8429 = 2 \text{ voies/sens.}$$

$$\text{Donc: } n = 2 \text{ voies / sens}$$

D'après le calcul de capacité de la voie express, on constate que son profil en travers est de : Chaussée de 2 voie par sens ($2 \times 7,5 \text{ m}$), avec un TPC de 3 m et deux accotements de ($2 \times 2 \text{ m}$).

o Détermination de N_{PL2038}

$$\begin{aligned} \text{TJMA}_{2018} &= \text{TJMA}_{2008} (1 +)^{10} & (28) \\ \text{TJMA}_{2018} &= 9561 (1 + 0.05)^{10} \\ \text{TJMA}_{2018} &= 15573 \text{ v/j} \end{aligned}$$

$$N_{PL2038} = TJMA_{2018} \times 0.5 \times \%PL \times (1 +)^{20} \quad (29)$$

$$= 15573 \times 0.5 \times 0.35 \times (1 + 0.05)^{20}$$

$$N_{PL2038} = 7230 \text{ PL/j/sens/la voie la plus chargé}$$

○ Détermination de l'épaisseur équivalente

$$E_{eq} = \frac{100 + \sqrt{P} (75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5} \quad (30)$$

Avec :

E_{eq} : épaisseur équivalente.

I_{CBR} : indice CBR (sol support).

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

P : charge par roue $P = 6.5 \text{ t}$ (essieu 13 t) [20].

Log : logarithme décimal.

Donc :

$$E_{eq} = \frac{100 + \sqrt{\frac{13}{2}} (75 + 50 \log \frac{7230}{10})}{10 + 5}$$

$$E_{eq} = 43 \text{ cm}$$

Donc l'épaisseur équivalente :

$$E_{eq} = e_1 \cdot c_1 + e_2 \cdot c_2 + e_3 \cdot c_3 \quad (31)$$

Avec :

$e_1 \cdot c_1$: Couche de roulement.

$e_2 \cdot c_2$: Couche de base.

$e_3 \cdot c_3$: Couche de fondation.

Où:

$c_1 \ c_2 \ c_3$: Coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : Épaisseurs réelles des couches.

Généralement les épaisseurs équivalentes adoptées sont :

BB (0/20) = 6 - 8 cm ; GB (0/14) = 8 - 14 cm ; GC (0/31,5) = 15 - 25 cm ; TVN = 25cm.

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = 6\text{cm} \\ e_2 = 8\text{cm} \end{array} \right\} \text{ Donc : } e_3 = \frac{43 - (2 \times 6 + 1,2 \times 8)}{1}$$

$$e_3 = 21,4 \text{ cm}$$

$$E_{eq} = 6 \times 2 + 1,2 \times 8 + 21,4 \times 1$$

$$E_{eq} = 43 \text{ cm}$$

Tableau 18. Structure de la chaussée.

Couches	Epaisseurs réelles(cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseurs équivalente(cm)
BB	6	2	12
GB	8	1,2	9,6
GNT	21,4	1	21,4
Total	35,4		43

On adopte la structure de chaussée suivante:

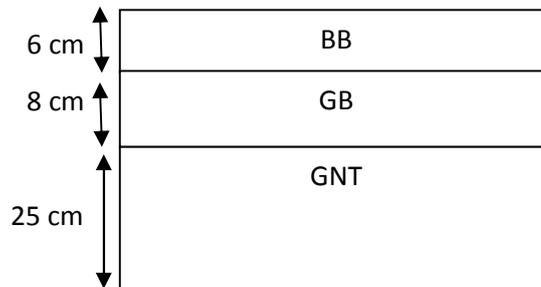


Figure 35. Corps de chaussée selon la méthode CBR.

Remarque: Pour assurer les besoins de ce projet en matériaux. La zone d'emprunt choisie pour les remblais en TVN est éloignée d'environ 10 km (Boulhaf Dir) et pour la GNT, elle provient de l'ENG Elma Labiod, soit de 30 km de distance. Donc, il n'y pas de problème dans l'aspect économique.

3.2. La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves

D'après les résultats de trafic qui ont été fournis par la D.T.P. de la wilaya de Tébessa qui sont les suivants:

➤ Trafic

- $TPL_i = 484 \text{ PL/J/sens}$
- Durée de vie: 20 ans
- Taux d'accroissement: = 4 %
- Pourcentage de poids lourds: $Z = 35 \%$
- $I_{CBR} = 10 \%$.

○ Classe de trafic

D'après le classement donné par le catalogue des structures, notre trafic est classé en TPL4 parce que le trafic PL/j/sens qui est compris entre 300 et 600 PL/J/sens.

○ Type de réseau

On a: $TJMA_{2010} = 9561 \text{ v/j} > 1500 \text{ v/j}$

La route principale présente intérêt économique et stratégique, donc c'est un réseau principal de niveau 1 (RP1).

○ La classe de portance du sol support

Le sol doit être classé selon la valeur de CBR de densité Proctor modifier maximal, donc l'ordre de portance de sol est de : S2, présente un I_{CBR} compris entre 10 à 25 %, $E = 50 \text{ MPa} = 500 \text{ bars}$ et $\mu = 0,35$.

○ Classes de portances de sols support pour le dimensionnement

Pour le dimensionnement des structures, de la classe de portance de sols supports est S2. Les valeurs des modules varient entre 50 et 125 MPa; ils ont été calculés à partir de la relation suivante:

$$E (\text{MPa}) = 5 \cdot \text{CBR} \quad (32)$$

➤ **Constitution des structures type par niveau de réseau routier**

La constitution des structures de chaussées est de structure type 1, c'est une structure de type : GB/GNT.

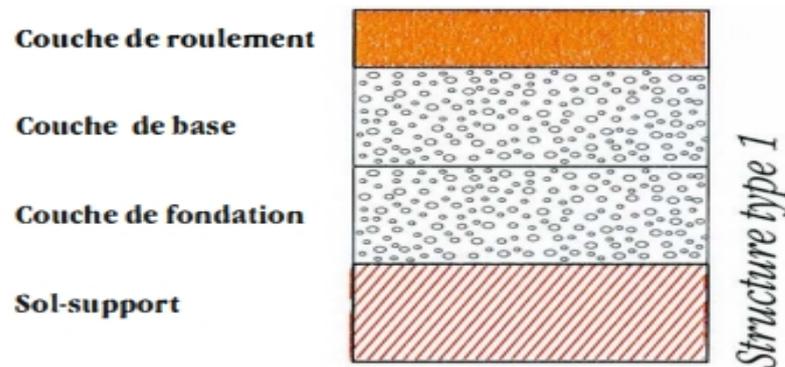


Figure36. Structure de chaussée type1 [20].

➤ **Le choix de la structure :** D'après les fiches du catalogue, on a une structure comme suit :

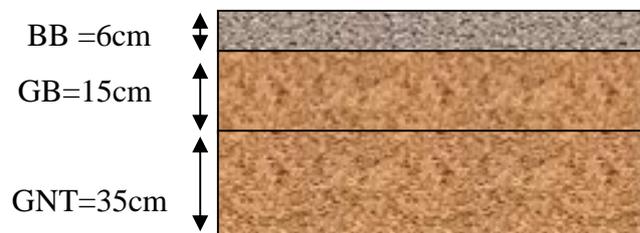


Figure 37. Corps de chaussée selon la méthode du catalogue algérien.

3.3. Choix du corps de chaussée

Les deux méthodes de dimensionnement utilisées étant empiriques ce qui explique ces différences et ces distorsions en matière d'épaisseur. Aussi par souci de stabilité et pour garder un niveau de service acceptable à long terme (pour toute la durée de service) on opte pour le dimensionnement obtenu par la méthode du catalogue algérien, tout en sachant que cette méthode est la plus utilisée en Algérie.

4. Modélisation des structures types et calcul des contraintes et déformations

4.1. Principe du programme ALIZE-LCPC

Ce programme, Alizé III est très largement utilisé pour le dimensionnement et la vérification des structures de chaussées et de renforcement. Il permet de calculer les contraintes et les déformations induites dans les différentes couches de la chaussée choisie. La charge prise en compte est une charge unitaire correspondant à un demi-essieu de 13 tonnes représenté par une empreinte circulaire (Figure 33). Les données à rentrer dans le modèle pour les différentes simulations sont [39] :

- ❖ Les épaisseurs de chaque couche ;
- ❖ Les modules de Young (E) ;
- ❖ Les coefficients de poisson (ν) de chaque couche y compris le sol support ;
- ❖ Les types d'interface entre les couches (conditions de collage).

On considère que la charge du véhicule est transmise à la chaussée par l'intermédiaire des pneus. On suppose alors pour le dimensionnement que : L'aire de contact pneu-chaussée est circulaire ; La distribution des pressions dans l'aire de contact est uniforme et La pression de contact est égale à la pression du pneu.

4.2. Les Données de calcul

- Sol de la plateforme : caractéristiques argileuses ;
- Couche de forme : en graves non traitée (GNT) ;
- Couche de base : grave bitume (GB);
- Couche de roulement : biton bitumineux ;
- Conditions aux interfaces : toutes les interfaces seront collées ;
- Trafic journalier du poids lourd de 9561 PL/J/voie ;
- Voie du réseau non structurant VRNS ;
- La durée de vie de service 20ans ;
- Taux d'accroissement est : 4 % ;
- Sol support type PF2 avec un module de 50 MPa.

4.3. Modélisation de la structure obtenue par la méthode de dimensionnement du catalogue Algérien

➤ Etape 01 : Créer et modifier les données Structurales (figure 38):

- On entre les valeurs des épaisseurs de chaque couche ;
- On choisit les interfaces entre les couche collé (matériaux bitumineux);
- On rentre les types des matériaux de chaque couche, les valeurs des modules de Young E et le coefficient de poisson ν apparent automatiquement par l'logiciel.

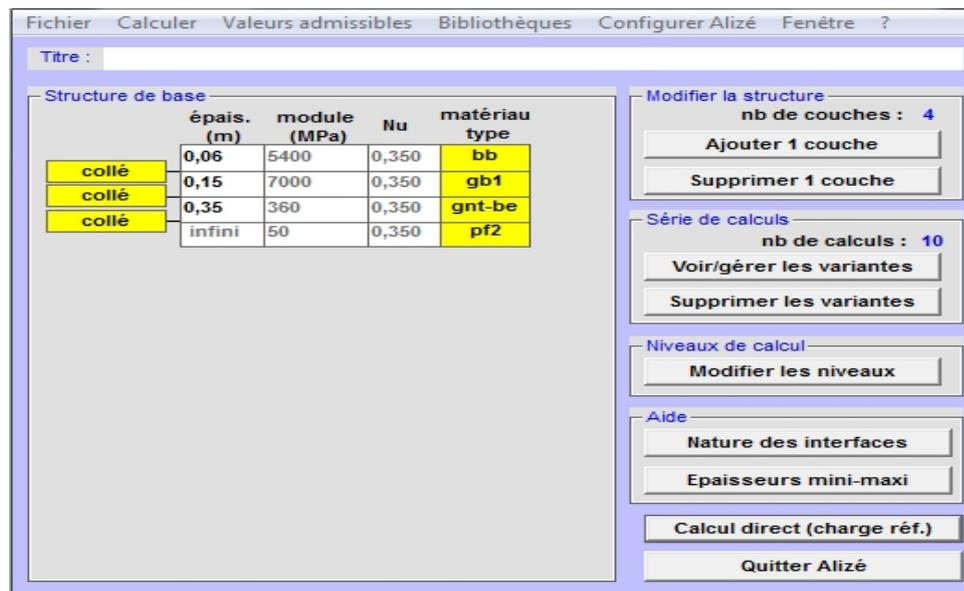


Figure 38. Définition de la structure de la chaussée selon le catalogue algérien.

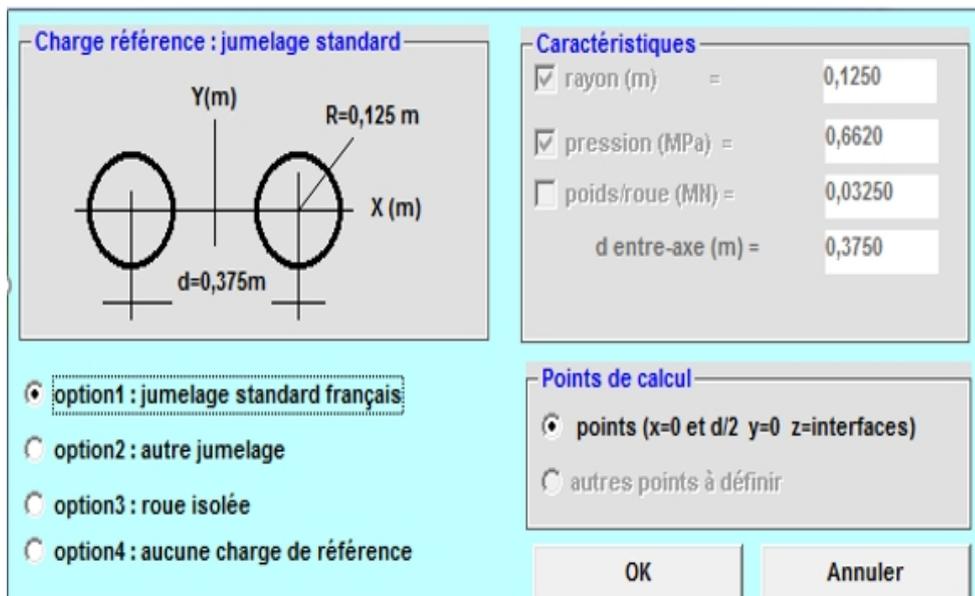


Figure 39. Définition de chargement : charge de référence.

- Etape 02 : Choix de la charge de référence:
 - Jumelage standard français (figure 39).
 - Le calcul est fait en deux points : sous une roue et entre deux roues.

- Etape 03 : les calculs mécaniques:
 - En choisit le calcul direct pour calculer et afficher les déformations et les contraintes vertical et horizontal de chaque couche (figure 40).

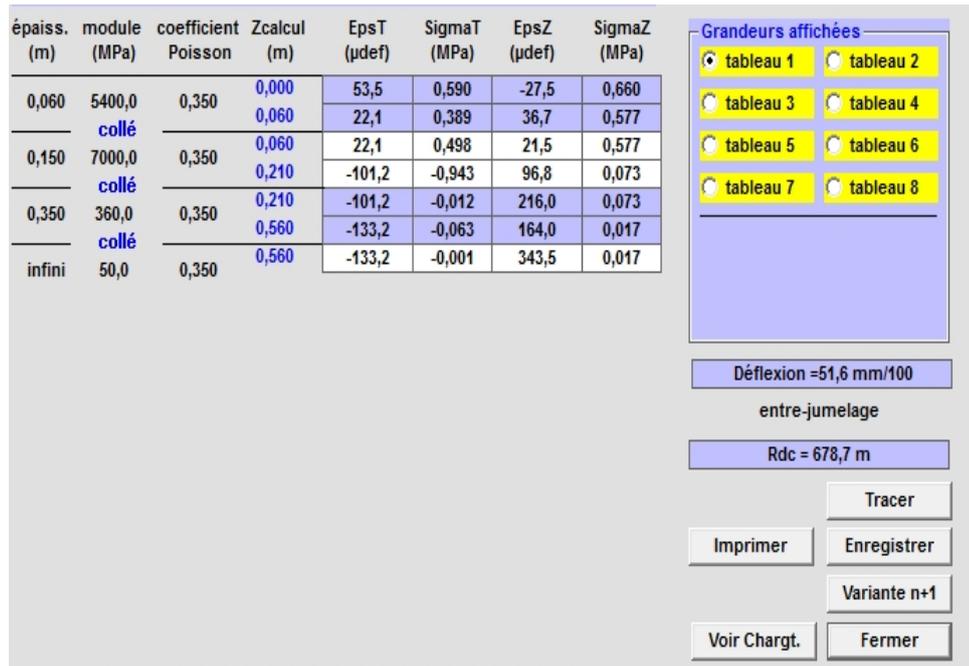


Figure 40. Résultat de calcul mécanique: Tableau des résultats.

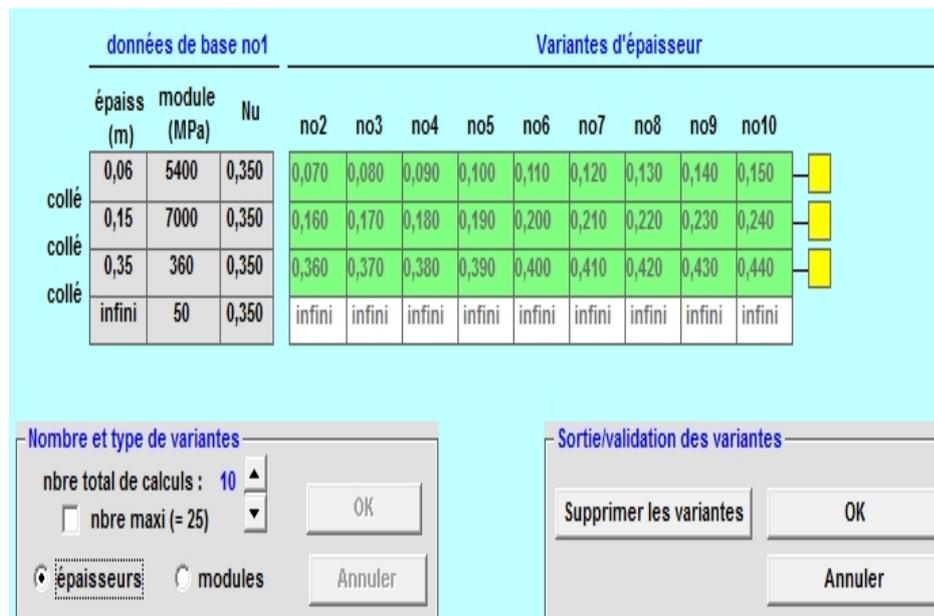


Figure 41. Choix de matériaux des différent couche.

- Etape 04 : Calculs de différentes variantes des épaisseurs :
 - On choisit les variantes de chaque couche : BB, GB, GNT (figure 41).
 - Et les variantes et le type de Trafic de la couche de forme (figure 42).

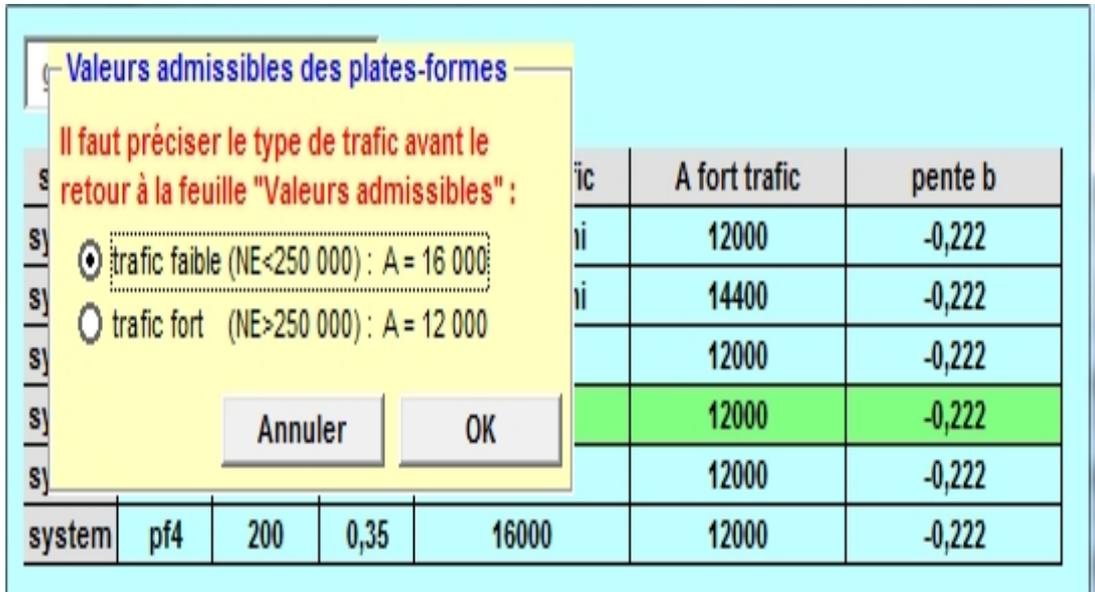


Figure 42. Choix des variantes de PF.

- Etape 05 : Calcul des valeurs admissibles:
 - Saisie des données du trafic (figure 43).
 - Classification du trafic et coefficient d'agressivité de BB et GB (figure 44).
 - Choix des risques de calcul (figure 45).

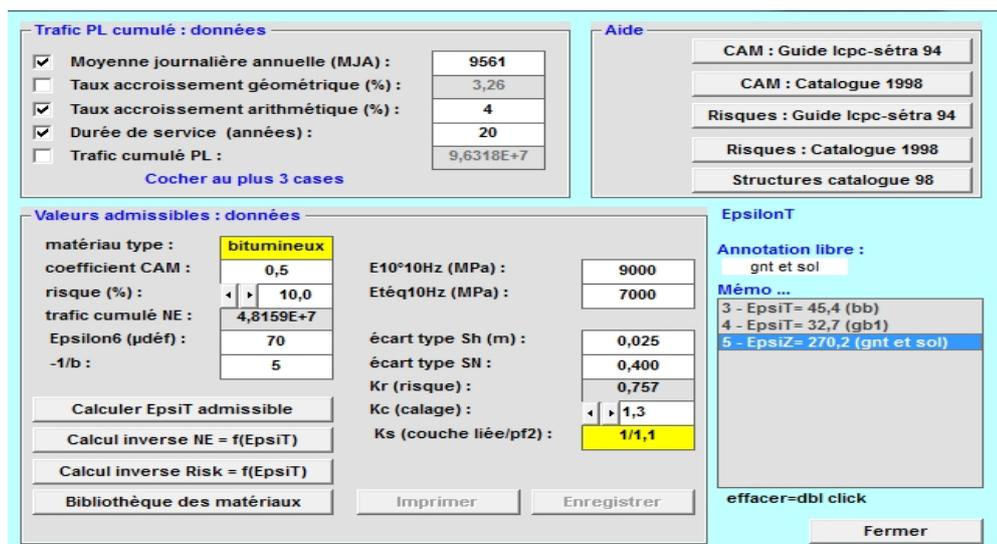


Figure43. Calculs de valeur admissible

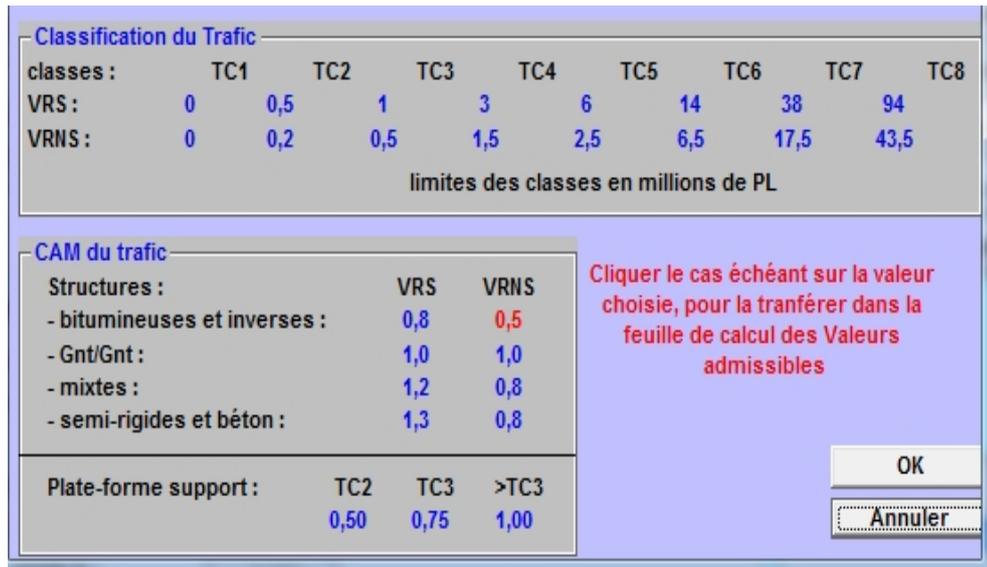


Figure44. Classification du trafic et coefficient d’agressivité de BB et GB.

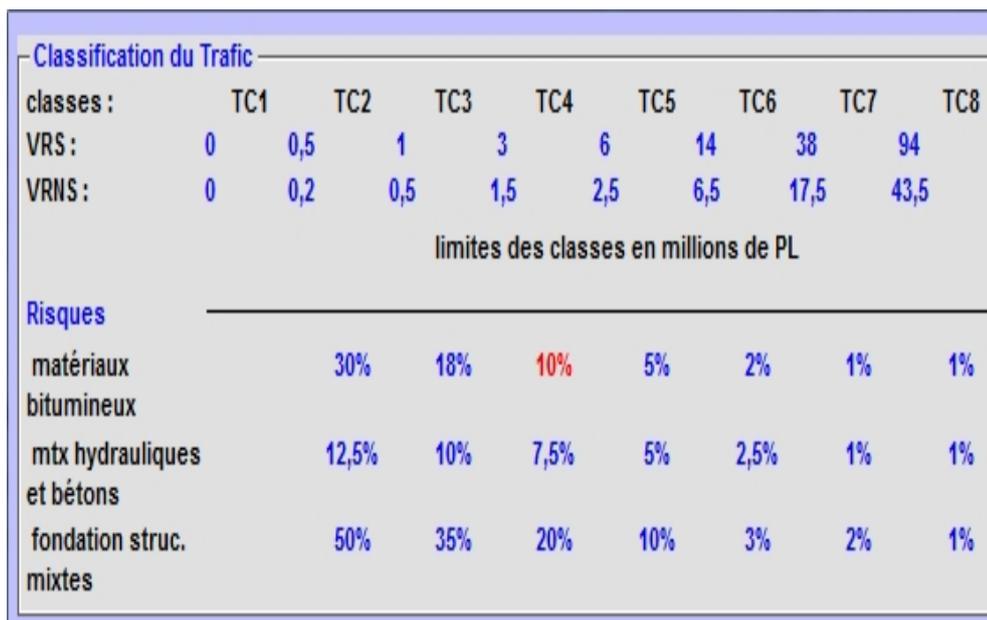


Figure 45. Choix des risques de calculs.

Les résultats des calculs (contraintes, déformation et déflexion) sont alors affichés dans une nouvelle fenêtre comme le montre la figure 46.



Figure 46. Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon le catalogue algérien.

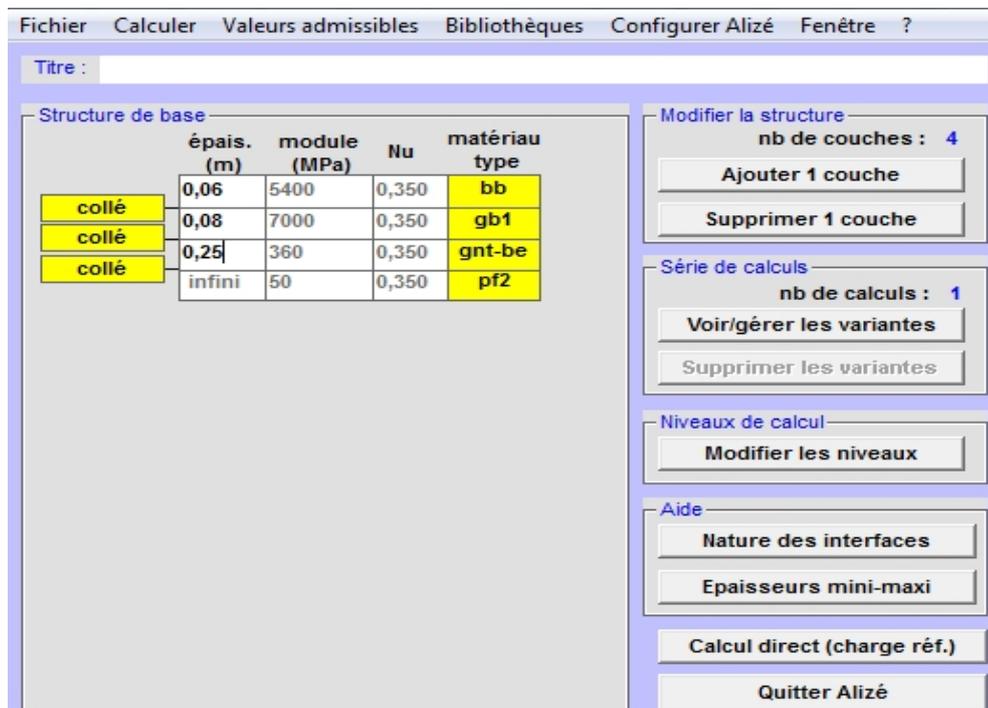


Figure 47. Définition de la structure de la chaussée selon la méthode CBR.

4.4. Modélisation de la structure obtenue par la méthode de dimensionnement CBR

On applique les mêmes étapes pour la modélisation par la méthode CBR (figures 47 et 48).

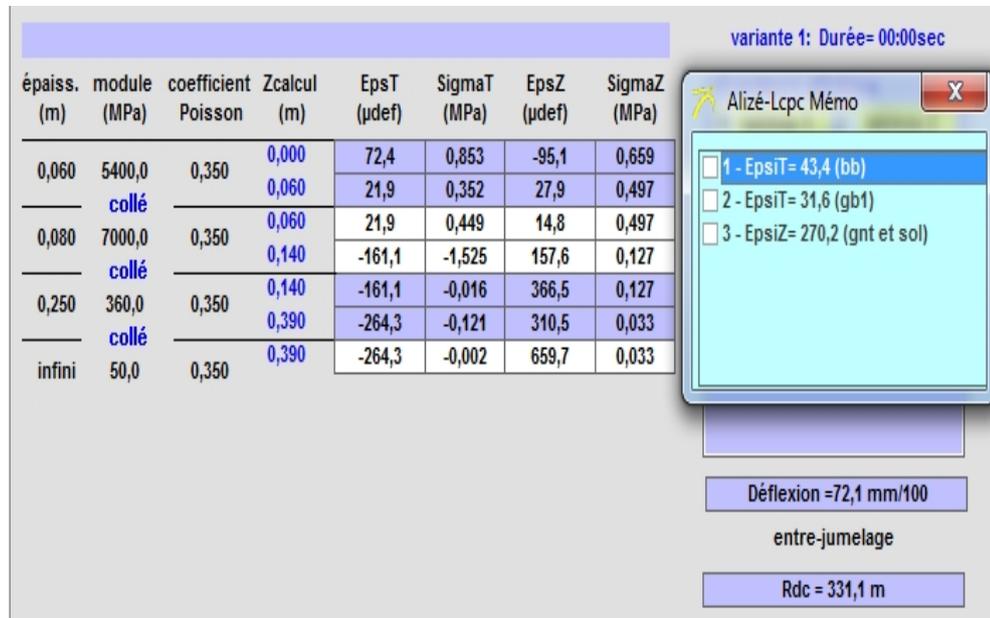


Figure 48. Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon la méthode de dimensionnement CBR.

5. Interprétation des résultats de calcul par ALIZE

Pour la structure adoptée par la méthode du catalogue algérien :

Selon la figure 40, les valeurs des déformations à la base des couches de base et de roulement sont inférieures aux déformations admissibles. Tandis que la déformation dans la couche de forme n'est pas acceptable (0,3435 ‰ > 0,2702 ‰).

En changeant les variantes dans ALIZE avec une incrémentation de 0,01 m d'épaisseur dans chaque couche, en obtient une valeur acceptable pour la 8^{ème} variante (figure 49). Soit une structure de : BB = 13 cm, GB = 15 cm et GNT = 32 cm.

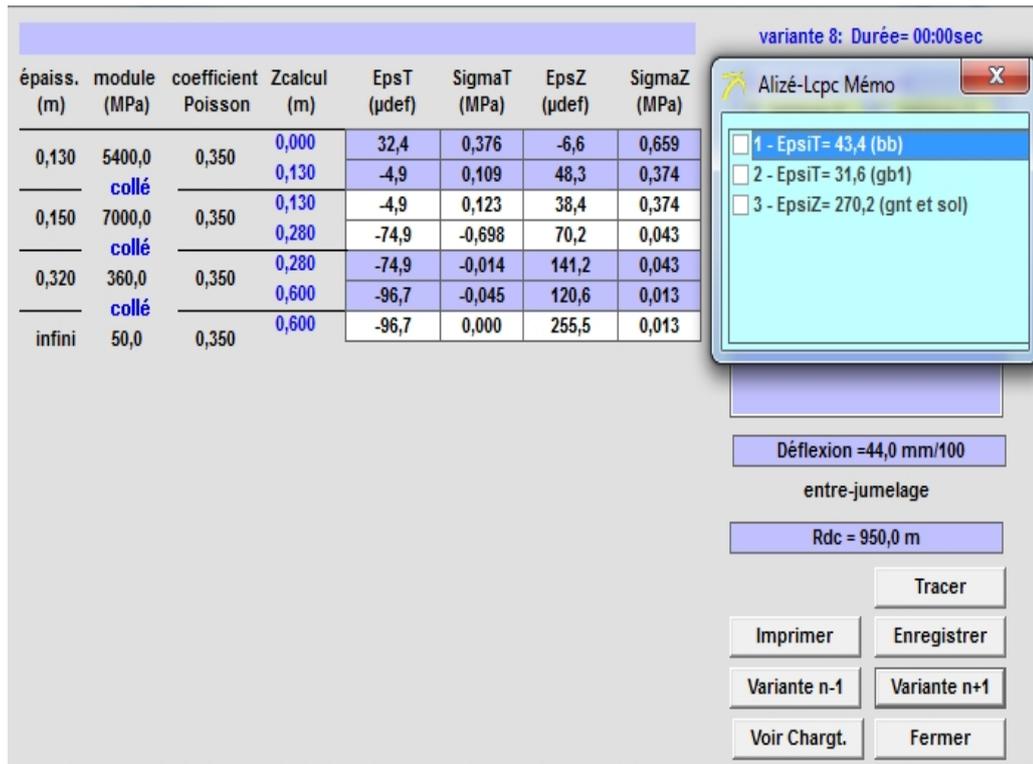


Figure 49. Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon le catalogue algérien, selon la 8^{ème} variante.

De même, pour les résultats de calcul de la structure proposée par la méthode de CBR (figure 48), la déformation dans la couche de forme est acceptable (0,6597 ‰ > 0,2702 ‰).

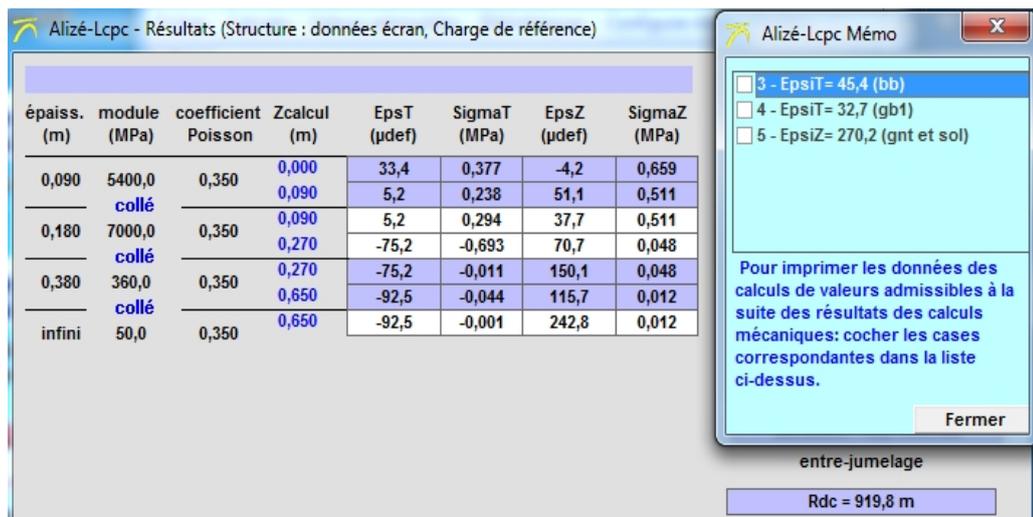


Figure 50. Résultats de calcul des contraintes et des déformations de la structure proposée selon le catalogue algérien, selon la 3^{ème} variante.

En changeant les variantes dans ALIZE avec une incrémentation de 0,01 m d'épaisseur dans chaque couche, on obtient une valeur acceptable pour la 3^{ème} variante (figure 50). Soit une structure de : BB = 9 cm, GB = 18 cm et GNT = 38 cm.

Cependant, Selon la Bibliothèque des matériaux dans le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées du SETRA/LCPC [40], l'épaisseur de la GB est comprise entre 10 à 16 cm et de 6 à 9 pour le BB.

Alors, la solution la plus pratique du point de vue technico-économique, c'est d'adopter une structure de : BB = 9 cm, GB = 18 cm et GNT = 40 cm.

On a pris GNT = 40 cm, pour prendre en compte les erreurs d'exécution. Généralement, on tolère une marge d'erreurs de ± 3 cm, lors du nivellement de couche de base.

6. L'étude de compactage

6.1. Étude de compactage du sol support

a- Choix du type de compacteur

Faire le choix de compacteur le plus adapté en fonction de l'épaisseur à mettre en œuvre (épaisseur la plus proche): L'épaisseur à mettre en œuvre est de 0,30 m. Puisque le compactage est faible (classification du sol). Les tableaux du GTR (voir Annexe E), propose les compacteurs VP4 et VP5 pour cette épaisseur. On suggère alors d'utiliser le compacteur VP4.

Le sol support est un sol humide, donc on procède à une aération de ce sol lors du compactage, en utilisant un compacteur à pieds dameurs.

On prend l'exemple du compacteur (VP), model Caterpillar CB45 B.

Données d'étude :

- La largeur des billes de ce compacteur est de 2,3 m [41];
- La surface à mettre en œuvre est un tronçon routier de 11,5m de largeur sur 28,43 m de longueur et de 0,30 d'épaisseur ;
- La durée prévisionnelle du chantier est de cinq (5) jours à raison de 8h de travail journalier ;
- Le chantier a un coefficient de rendement de 0,5.

b- Vitesse de compactage

Détermination de la vitesse de compactage de la couche de forme d'après la règle du calcul de GTR :

$$e_{ch} \times v_{ch} = e_{GTR} \times v_{GTR} \quad (33)$$

Soit : $0,30 \times v_{ch} = 0,30 \times 2,5$

$$v_{ch} = 2,5 \text{ km/h.}$$

c- Nombre de passe du compacteur n

Détermination du nombre de passes du compacteur :

$$N = \frac{1}{Q/s} \quad (34)$$

soit : $\frac{0,30}{0,085} = 3,52$ arrondi à 4

$N = 4$ application de charge

$$\frac{N}{n} = 2 \text{ donc } n = 2 \text{ passe}$$

d- Le débit linéique théorique

Calcul du débit linéique théorique du compacteur en $\text{m}^3/\text{h m}$

$$Q/L = 1000 \times V \times Q/S \quad (35)$$

Soit : $1000 \times 2,5 \times 0,085$

$$Q/L = 115 \text{ m}^3/\text{h.m}$$

e- Calcul du compactage réel $Q_{réel}$

$$Q_{réel} = \frac{L \times V_X}{N} K_1 \times K_2 \quad (36)$$

Alors : $K_1 = 0,5$

$K_2 = \frac{LC}{aL}$ / LC : largeur de chaussée à compacter

a : nombre de largeur de compacteur pour balayage à compacter au supérieur

L : largeur du compacteur

$$\text{Donc : } K_2 = \frac{28,43}{9 \times 2,3} \rightarrow K_2 = 1,37$$

$$\text{alors : } \frac{2,3 \times 2500 \times 0,30}{4} \times 0,5 \times 1,37$$

$$Q_{\text{réel}} = 295,41 \text{ m}^3/\text{h}$$

f- Débit pratique de compacteur

$$Q_{\text{prat}} = K \times (Q/L) \times L \times (N/n) \quad (37)$$

Soit : $0,5 \times 115 \times 2,3 \times 2$

$$Q_{\text{prat}} = 264,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

g- Vérification du délai de mise en œuvre

Le volume de couche de forme à compacter vaut:

$$V = 28,43 \times 0,30 \times 11500$$

$$V_{\text{cdf}} = 98083,5 \text{ m}^3$$

La durée de compactage est donc de:

$$98083,5 / (264,5 \times 5) = 74 \text{ jours}$$

$$\text{La durée} = 74 \text{ jrs}$$

6.2. Étude de compactage de la couche de forme

On dispose de compacteurs de type V_3 pour réaliser un remblai routier de 0,30 m d'épaisseur, avec un matériau de classe C_1V_1 .

On prend l'exemple du compacteur (V_3) model Caterpillar CB8

Données d'étude :

- La surface au sol du remblai à mettre en œuvre est un tronçon routier de 25,21m de largeur sur 11,5 m de longueur ;
- La largeur des cylindres de ces compacteurs est de 1,7 m [41]
- La durée de travail est de 8 h journalière ;
- Le chantier a un coefficient de rendement de 0,5.

a- Choix du type de compacteur

L'épaisseur à mettre en œuvre est de 0,30 m, On dispose de compacteurs de type V₃.

b- Vitesse de compactage

Détermination de la vitesse de compactage de la couche de forme d'après la règle du calcul de GTR :

$$e_{ch} \times v_{ch} = e_{GTR} \times v_{GTR} \quad (38)$$

Soit :

$$0,30 \times v_{ch} = 0,30 \times 4$$

$$v_{ch} = 4 \text{ km/h}$$

c- Nombre de passe du compacteur

Détermination du nombre de passes du compacteur :

$$N = \frac{e}{Q/s} \quad (39)$$

Soit

$$\frac{0,30}{0,125} = 2,4 \text{ arrondi à } 3$$

$$N = 3 \text{ passes}$$

d- Le débit linéique théorique

Calcul du débit linéique théorique du compacteur en m³/h.m

$$Q/L = 1000 \times V \times Q/S \quad (40)$$

Soit : 1000 x 4 x 0,125

$$Q/L = 500 \text{ m}^3/\text{h m}$$

e- Calcul de compactage réel Q_{réel} en m³/h

$$Q_{réel} = \frac{L \times V \times \epsilon}{N} K_1 \times K_2 \quad (41)$$

Alors : $K_1 = 0,5$

$$K_2 = \frac{LC}{aL} / LC : \text{largeur de chaussée à compacter}$$

a : nombre de largeur de compacteur pour balayage à compacter au supérieur

L : largeur du compacteur

$$\text{Donc : } K_2 = \frac{25,21}{7 \times 1,7} \rightarrow K_2 = 2,11$$

$$\text{alors : } \frac{1,7 \times 4000 \times 0,30}{3} 0,5 \times 2,11$$

$$Q_{\text{réel}} = 717,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

f- Débit pratique de compacteur

$$Q_{\text{prat}} = K \times (Q/L) \times L \times (N/n) \quad (42)$$

$$\text{Soit : } Q_{\text{prat}} = 0,5 \times 500 \times 1,7 \times 2$$

$$Q_{\text{prat}} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$$

g- Vérification du délai de mise en œuvre

Le volume de remblai vaut :

$$V_R = 54229,01 \times 11500 \text{ m}^3$$

La durée de compactage est donc de:

$$623633,62 / (850 \times 5) = 147 \text{ jours}$$

La durée : 147 jrs

6.3. Étude de compactage de la chaussée

➤ Le compactage de la couche de fondation

On dispose de compacteurs de type V_1 pour réaliser une couche de fondation routier de 0,35 m d'épaisseur, avec un matériau de classe B₄h.

On prend l'exemple du compacteur (V_1) model Caterpillar CS74B.

- La surface au sol de la couche de fondation à mettre en œuvre est un tronçon routier de 15 m de largeur sur 11,5 m de longueur ;
- La largeur des cylindres de ces compacteurs est de 2,13 m [41]
- La durée de travail est de 8h journalière ;

- Le chantier a un coefficient de rendement de 0,5.

a- Choix du type de compacteur

L'épaisseur à mettre en œuvre est de 0,40 m, on dispose de compacteurs de type V₁.

b- Vitesse de compactage

Détermination de la vitesse de compactage de la couche de forme d'après la règle du calcul de GTR:

$$e_{ch} \times v_{ch} = e_{GTR} \times v_{GTR}$$

Soit:

$$0,40 \times v_{ch} = 0,30 \times 2,5$$

$$v_{ch} = 2 \text{ km/h}$$

c- Nombre de passe du compacteur

Détermination du nombre de passes du compacteur:

$$N = \frac{1}{Q/s}$$

$$\text{Soit } \frac{0,40}{0,085} = 4,70 \text{ arrondi à } 5$$

$$N = 5 \text{ passes}$$

d- Le débit linéique théorique

Calcul du débit linéique théorique du compacteur en m³/h.m

$$Q/L = 1000 \times V \times Q/S$$

$$\text{Soit : } 1000 \times 2 \times 0,085$$

$$Q/L = 170 \text{ m}^3/\text{h.m}$$

e- Calcul de compactage réel Q_{réel}

$$Q_{\text{réel}} = \frac{L \times V \times}{N} K_1 \times K_2$$

Alors : $K_1 = 0,5$

$$K_2 = \frac{LC}{aL} / LC : \text{largeur de chaussée à compacter.}$$

a : nombre de largeur de compacteur pour balayage à compacter au supérieur

L : largeur du compacteur

$$\text{Donc : } K_2 = \frac{15}{7 \times 2,13} \rightarrow K_2 = 1$$

$$\text{alors : } \frac{2,13 \times 4000 \times 0,30}{5} 0,5 \times 1$$

$$Q_{\text{réel}} = 255,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

f- Débit pratique de compacteur

$$Q_{\text{prat}} = K \times (Q/L) \times L \times (N/n)$$

$$\text{Soit : } 0,5 \times 170 \times 2,13 \times 1$$

$$Q_{\text{prat}} = 181 \text{ m}^3/\text{h}$$

g- Vérification du délai de mise en œuvre

Le volume de vout:

$$V_{\text{GNT}} = 15 \times 11500 \times 0,40 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{GNT}} = 69000 \text{ m}^3$$

La durée de compactage est donc de:

$$69000 / (181 \times 5) = 77 \text{ jours}$$

$$\text{La durée} = 77 \text{ jrs}$$

Conclusion

A la fin de ce chapitre, on conclut que l'obtention de la qualité finale des réalisations routières repose sur les études géotechniques dès le début de la conception de tous les phases du projet. D'une autre part, une approche univoque, menée uniquement sous l'angle de la géotechnique conduirait à des erreurs de conception ou de mise en œuvre du projet.

En s'appuyant sur les contraintes de nature, de stabilité des sols, et les risques géotechniques, on recommande vivement l'application des missions géotechniques de la norme NF P 94-500 et qui doivent accompagner les différentes phases d'élaboration et de réalisation du projet routier afin d'assurer la gestion optimale de ces risques, et à la satisfaction du maître d'ouvrage.



Chapitre 05

Organisation et gestion du projet routier

UNIVERSITE DE TEBESSA

1. Introduction

La gestion de projet, ou conduite de projet est une démarche visant à structurer, assurer et optimiser le bon déroulement d'un projet suffisamment complexe pour devoir:

- Etre planifié dans le temps;
- Atteindre le niveau de qualité souhaité;
- Faire intervenir de nombreuses parties prenantes;
- Suivre des enjeux opérationnels et financiers importants.

2. Définition du Projet

Le projet est un processus unique et temporaire, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques, incluant des contraintes de délais, coûts et ressources [43].

3. Groupe de processus dans la gestion de projet

La gestion d'un projet porte sur les groupes de processus suivants [44]:

a- Gestion de l'intégration du projet

- Elaboration du plan de projet.
- Mise en œuvre du plan de projet.
- Contrôles intégrés des changements.

b- Gestion du contenu du projet

- Démarrage.
- Planification du contenu.
- Définition du contenu.
- Vérification du contenu.
- Contrôle des changements du contenu.

c- Gestion des délais du projet

- Définition des activités.
- Jalonnement des activités.
- Estimation de la durée des activités.
- Elaboration du planning.
- Contrôle du planning.

d- Gestion des couts du projet

- Planification des ressources.
- Estimation des coûts.
- Budgétisation.
- Contrôle des coûts.

e- Gestion de la qualité du projet

- Planification de la qualité.
- Assurance de la qualité.
- Contrôle de la qualité.

f- Gestion des ressources humaines du projet

- Planification de l'organisation.
- Obtention des ressources humaines.
- Développement de l'équipe.

g- Gestion des communications du projet

- Planification des communications.
- Diffusion de l'information.
- Rapport d'avancement.
- Clôture administrative.

h- Gestion des risques du projet

- Planification de la gestion des risques.
- Identification des risques.
- Analyse qualitative des risques.

- Analyse quantitative des risques.
- Planification des stratégies de réponse.
- Suivi et contrôle des risques.

i- Gestion des approvisionnements du projet

- Planification des approvisionnements.
- Planification des appels d'offres.
- Les appels d'offres.
- Les choix des fournisseurs.
- Administration des contrats.
- Clôture du contrat.

4. Structuration des projets**4.1. Organigramme d'un projet**

Le processus de découpage ou de segmentation du projet doit assurer sept fonctions fondamentales [44]:

- Il assure la cohérence objectif-coûts-délais-qualité (figure 51).
- Il permet d'avoir une définition exhaustive d'un projet.
- Il va constituer le squelette logique du système d'information du projet (dépenses, planning, gestion de configuration...).
- Il permet de résumer et synthétiser des informations par niveau d'intérêt et de délégation (support de la codification)
- Il sert de base à l'organigramme fonctionnel pour l'allocation des lots de travaux ainsi qu'à l'élaboration de la charte de responsabilité (il distribue donc précisément les responsabilités).
- Le choix du niveau de découpage est une question de bon sens. Il faut gérer des paquets simples mais visibles, compréhensibles. L'unité élémentaire de gestion et base de la délégation de responsabilité est le lot de travaux.
- Il ne peut y avoir de " base de données ", donc de capitalisation de l'expérience et du savoir-faire sans organigramme technique.

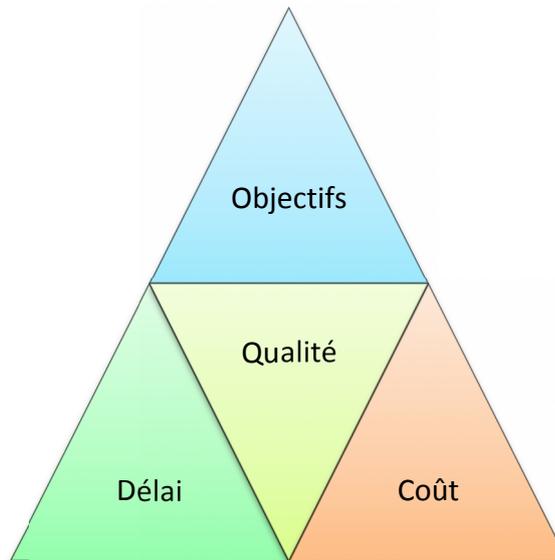


Figure 51. Les contraintes sur un projet.

L'intérêt du découpage: Oblige le management du projet à étudier l'ensemble du projet et imaginer tous les détails du projet. Aide à la mise en place du système d'information du projet. Permet de définir exactement la nature de chaque tâche ou activité. Permet la récapitulation. Cela nécessite pour son élaboration une bonne connaissance de projets similaires et d'associer toutes personnes impliquées dans le projet.

4.1.1. Le code WBS (Work Breakdown Structure) Structure de répartition du travail

Découpage hiérarchisé et arborescent de l'œuvre en éléments plus faciles à analyser et à maîtriser appelés Lots de travaux (LT) ou Tâches. Il doit répondre aux questions: que doit-on faire et comment doit-on s'y prendre. Le WBS permet de construire le Programme de réalisation, le Budget, le Plan Qualité, etc [44].

4.1.2. Le code PBS (Product Breakdown Structure) Structure de répartition du produit

Le PBS est la déclinaison du projet en une arborescence de produits. Il s'agit de décomposer le projet en produits cohérents du point de vue technologique (techniques et métier), géographique (localisation) et temporel (dates de réalisation) [44].

4.1.3. Le code OBS (Organisation Breakdown Structure) Structure de répartition de l'organisation

C'est l'Organigramme représentant la structure des niveaux de responsabilité de réalisation de l'ensemble des lots de travaux d'un même organigramme des tâches (OT) [44].

4.1.4. Le code RBS (Ressources Breakdown Structure) Structure de répartition des ressources)

C'est le recensement, selon les besoins, des ressources critiques nécessaires au projet [44].

4.1.5. Le code CBS (Costing Breakdown Structure) Structure de répartition des coûts)

C'est le processus d'affectation de coûts aux différentes tâches du WBS et qui aboutit au budget prévisionnel du projet [44].

5. Le projet routier**5.1. Cycle de vie d'un projet routier**

Un projet se démarque par son cycle de vie, qui est généralement présenté comme étant constitué de phases. Le nombre de phases ainsi que leur appellation peuvent varier d'une application à une autre, d'un domaine d'application à un autre et d'un auteur à un autre. On appelle « cycle de vie du projet » l'enchaînement dans le temps des étapes et des validations entre l'émergence du besoin et la livraison du produit [43].

Une route doit être considérée sur un cycle de vie : elle est planifiée, conçue, construite, utilisée, exploitée et entretenue.

Le cycle de vie d'un projet routier passe par quatre phases: « Études préalables », « Conception », « Construction » et « clôture ». Certaines des phases se composent de deux ou trois étapes. La figure 1.1 présente les grandes lignes de ce cycle explicité ci-dessous [43]:

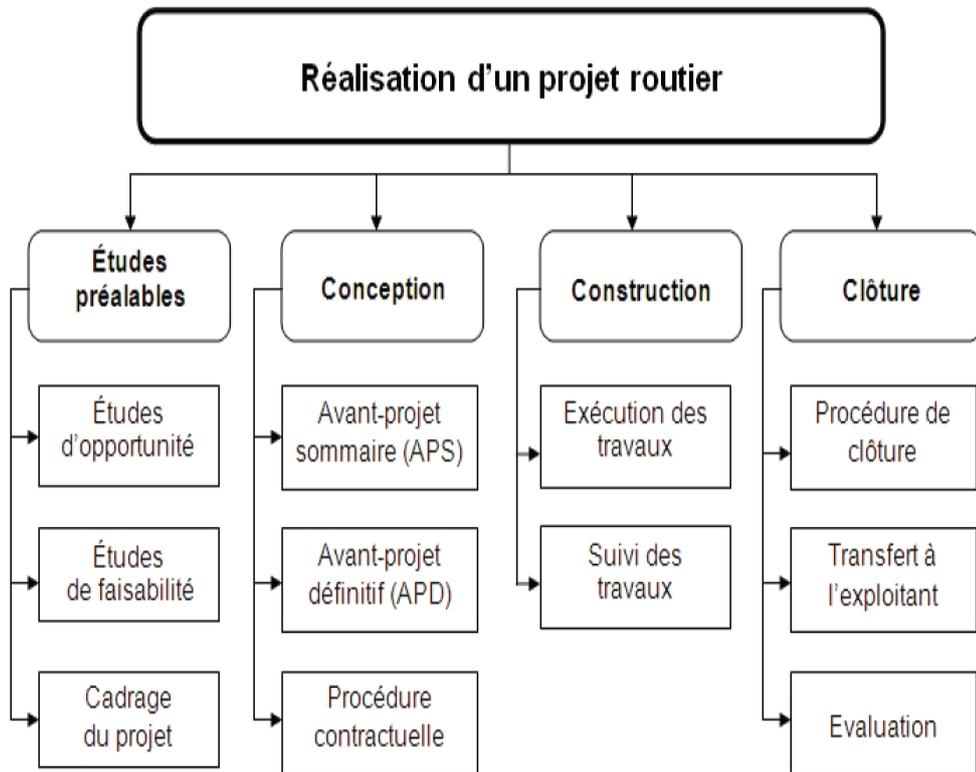


Figure 52. Cycle de vie d'un projet routier [43].

5.2. Phase 1: « Études préalables »

Cette phase vise à déterminer les besoins qui justifient l'existence, du projet et la faisabilité de l'opération. Elles peuvent comporter trois étapes et se concluent par le lancement de l'enquête publique [43].

5.2.1. Étape 1: Études d'opportunité

L'étude d'opportunité a pour objectif de faire émerger un projet en posant de façon claire les termes du problème.

Les études menées au cours de cette phase pouvant comporter une analyse des trafics et une évaluation socio-économique et environnementale, permettent de recenser les besoins de déplacements et d'identifier les objectifs auxquels une nouvelle infrastructure devrait répondre. Elles visent ainsi à définir le type d'infrastructure routière la mieux adapté, à préciser ses principales fonctionnalités et caractéristiques, ainsi que les enjeux socio-économiques et les impacts sur l'environnement et l'aménagement du territoire qui lui sont associés [43].

5.2.2. Étape 2: Études de faisabilité

L'étude de faisabilité vise à analyser la faisabilité économique, organisationnelle et technique de projet, elle doit comporter des renseignements généraux qui permettront au maître d'ouvrage, en toute connaissance de cause, de rendre la décision de poursuivre son projet [43].

5.2.3. Étape 3 : Cadrage du projet

Cette étape du cadrage du projet est essentielle pour la réussite du projet. Le but est de faciliter la compréhension et la manipulation du projet ; il s'agit d'énoncé le titre du projet où les mots clés doivent apparaître, de rendre l'idée du projet compréhensible [43].

5.3. Phase 2: « Conception »

Cette phase vise à concevoir la réponse la mieux appropriée aux besoins d'origine.

À partir des solutions énoncées à la phase précédente, plusieurs possibilités (scénarios et variantes) sont élaborées et analysées, pour finalement réaliser un projet qui répondra le mieux aux besoins tout en respectant le cadre budgétaire du projet. Elle est constituée de trois étapes « Avant-projet sommaire », « Avant-projet définitif » et « Procédure contractuelle » [43].

5.3.1. Étape 1: Avant-projet sommaire (APS)

- Définition des différentes options du tracé du projet et comparaison ;
- Description des impacts et mesures en faveur de l'environnement (biodiversité, paysage, air).
- Etudes géométriques, socio-économiques, de trafic, d'accidentologie :
 - étape 1 : état initial ;
 - étape 2 : étude et comparaison des variantes ;
 - étape 3 : étude de la solution retenue [43].

5.3.2. Étape 2 : Avant-projet définitif (APD)

Pendant le déroulement de cette étape, plusieurs études approfondies viennent appuyer la démarche d'optimisation et d'amélioration de la solution technique

entreprise depuis le début de préparation du projet. C'est généralement à cette étape que l'on amorce les procédures pour l'obtention des permis et autorisations nécessaires à la réalisation du projet. Elle se concentre sur la conception de variantes permettant d'optimiser l'ensemble des composantes du scénario. La variante retenue à l'issue de l'avant-projet sommaire est élaborée en profondeur avec une fixation des coûts à partir des calculs précis des quantités tout en définissant les caractéristiques des éléments nécessaires à sa réalisation [43].

5.3.3. Étape 3: Procédure contractuelle

Cette étape, est celle par laquelle le maître d'ouvrage lance le processus d'appel d'offres auprès des entrepreneurs, pour la réalisation des travaux de construction d'un ouvrage routier ou d'une infrastructure routière. Cette démarche se veut conformer au processus d'appel d'offres public, le maître d'ouvrage offre un contrat pour signature et exécution à l'adjudicataire qui présente l'offre la plus prometteuse.

En parallèle et lorsque la surveillance et le contrôle des matériaux sont réalisés par un ou des prestataires de services, le maître d'ouvrage doit préparer et accorder les mandats requis pour la réalisation de ces activités, et ce, en conformité avec les règles administratives en vigueur [43].

5.4. Phase 3: « Construction »

La phase de « construction » consiste principalement en la mise en œuvre des plans et devis, elle vise à concrétiser la solution retenue. Elle est constituée de deux étapes « Exécution des travaux » et « Suivi des travaux » [43].

5.4.1. Étape 1 : Exécution des travaux

C'est l'étape de la mise en œuvre du projet routier sur le terrain, donc du chantier [42].

5.4.2. Étape 2 : Suivi des travaux

Le but de cette étape est de mesurer et surveiller régulièrement la progression et la conformité du projet et d'assurer la bonne intégration des modifications où changements approuvés dans le cadre du projet. Elle impose l'établissement des procédures d'exécution qui décrivent la méthodologie, les moyens et les plans de contrôle et de suivi pour l'exécution des différents travaux [43].

5.5. Phase 4: « Clôture »

La phase de clôture est la dernière phase du projet, elle met formellement fin à toutes les activités du projet et permet d'évaluer l'adéquation de solution retenue avec les besoins d'origine [43].

5.5.1. Étape 1: Procédure de clôture

Le projet prend fin avec la réception finale des travaux, la recommandation de paiement final par le surveillant, l'évaluation du rendement de l'entrepreneur, des prestataires de services et des fournisseurs, etc.

Donc à l'issue de cette étape s'effectue la réception des travaux [43].

5.5.2. Étape 2 : Transfert à l'exploitant

Le transfert à l'exploitant constitue une étape clé, correspondant à un transfert des ouvrages à l'unité administrative responsable de l'entretien et de l'exploitation. Ce transfert contient tous les renseignements concernant le projet dont l'exploitant aura besoin pour mener à bien ses opérations courantes, notamment le rapport final de surveillance et les plans « Tel que construit » [43].

5.4.3. Étape 3 : Evaluation

L'évaluation de projets est une partie importante à l'évolution et à l'amélioration continues d'une organisation. Elle permet, sur la base de la documentation produite de passer en revue l'ensemble du projet. L'analyse des différents documents assurera la mise en évidence des belles réalisations et les moins réussies, et alimentera le processus d'amélioration continue du maître d'ouvrage pour sa gestion de projets routiers [43].

6. Les acteurs du projet routier

Le terme « acteur d'un projet » concerne l'ensemble des individus, des collectivités, et des personnes morales privées ou publiques qui participent à l'élaboration du projet.

Un projet associe un ensemble d'acteurs directement ou indirectement concernés, ils pourront être moteurs, décideurs, mais aussi opposants. Les acteurs et leurs fonctions, identifiés dans un projet routier sont présenté par la figure 53:

- Le maître d'ouvrage;
- Le bureau d'étude;
- Le maître d'œuvre;
- L'organisme de suivi technique;
- Les usagers.

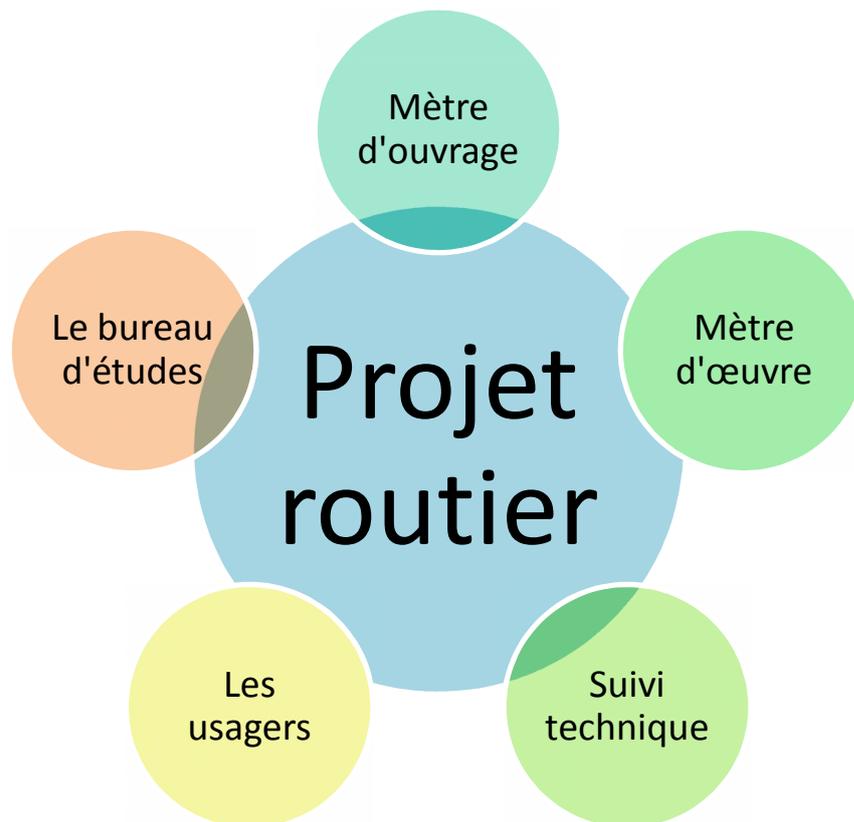


Figure 53. Les acteurs du projet routier.

7. Organisation du chantier

7.1. Organisation du chantier [44]

7.1.1. Les personnes

- Le conducteur de chantier:
 - Assure la conduite des travaux;
 - Etablir le planning des travaux;
 - Assiste aux réunions de chantier;
 - Etablit les commandes et suit les livraisons;
 - Assure le suivi financier et administratif du chantier;

- Détermine la composition des équipes en fonction des travaux à exécuter;
- Sélectionne et assure le suivi du matériel nécessaire au chantier;
- Est responsable de la bonne application des règles d'hygiène et de sécurité;
- Est joignable au siège de l'entreprise ou sur le chantier [44].

➤ Le chef du chantier:

- Exécute les travaux et dirige le travail des ouvriers;
- Est chargé du contrôle interne de la qualité (implantation, exécution des travaux);
- Contrôle la conformité des livraisons de fourniture ;
- Signale toutes les anomalies au conducteur de travaux (incidents, accidents, ...).

Il est joignable au bureau de chantier. C'est lui qui dirige les différentes équipes sur le chantier.

➤ Les chefs d'équipes et les ouvriers:

- Exécute les travaux en suivant les consignes et les procédures de pose;
- Applique les consignes de sécurité;
- Applique les consignes environnementales (nettoyage, tri des déchets);
- Applique le plan de circulation et d'installation de chantier.

➤ Le topographe géomètre:

- Assure l'implantation des terrassements;
- Assure un relevé régulier des points particuliers en tranchée ouverte;
- Assure l'implantation des ouvrages particuliers;
- Réalise le plan de récolement.

7.1.2. Le matériel

Tous les matériels utilisés pour réaliser les travaux est contrôlé périodiquement conformément à la réglementation en vigueur.

Le matériel sera adopté aux différentes opérations et cadences du chantier. Le stockage et l'entretien du matériel se fera dans des zones aménagées pour protéger l'environnement.

7.2. Préparation du chantier

7.2.1. Les objectifs de la préparation [44]

- Revue de site.
- Revue des descriptifs.
- Revue des intervenants extérieurs.
- Organisation générale du chantier.
- Terrassements et fondations.
- Revue des méthodes d'étude.
- Réservations.
- Interfaces- travaux.
- Charte d'opération.
- Plannings détaillés.

7.2.2. Préparation administrative du chantier

A réception de l'ordre de service de démarrer les travaux [44]:

- On rédige les déclarations d'intention de commencement de travaux (D.I.C.T) que l'on transmette aux différents services concernés;
- On demande l'agrément des matériaux;
- On met au point les plans de phasage;
- On demande les permissions de voirie nécessaires.

A réception des réponses aux D.I.C.T:

- On réalise une campagne de sondage si nécessaire;
- On établit les plans d'exécution;
- On fait un piquetage avec le Maître d'œuvre.

Avant le début des travaux nous vérifierons les autorisations de conduite, les habilitations, les permis, formation initiale minimum obligatoire (FIMO), formation continue obligatoire de sécurité (FCOS), formation continue obligatoire (FCO) du personnel intervenant sur le chantier. et aussi il faut vérifier également les contrôles techniques et assurances des différents engins et véhicules utilisés.

7.2.3. Préparation technique du chantier

On réalise en atelier le contrôle des éléments de sécurité et le bon fonctionnement des différents organes mécaniques avant le transfert des engins sur le chantier [44].

7.3. Préparation et installation de chantier [44]

- Mise en place de la signalisation ;
- Déboisement et débroussaillage de la zone;
- Décapage de la terre végétale;
- Moyens mise en œuvre;
- Mise en remblais des matériaux.

7.4. Mise en remblais des matériaux

- Mise en place des matériaux ;
- Moyen mise en œuvre.

7.5. Réhabilitation

- Mise de la terre végétal ;
- Révégitalisation ;
- Moyen mise en œuvre.

7.6. Contrôle

- Contrôle du chef de chantier ;
- Contrôle du géomètre ;
- Suivi des contrôles.

8. Techniques de planification:

La construction du planning passe par la modélisation du réseau de dépendance entre tâches sous forme graphique. Il s'agit d'une décomposition structurée du travail.

Il faut décomposer le projet en sous-ensembles plus simples (OT ou WBS).

Plusieurs représentations existent, à la base de toute construction de planning [45]:

- La technique Gantt : diagramme à barres;

- La technique PERT (Program Evaluation and Review Technique): méthode des potentiels étape et planning des tâches;
- Le réseau des antécédents : méthode des potentiels tâche.

8.1. le diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet [45].

La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois etc.).

Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil [45]:

- Les différentes tâches à envisager;
- La date de début et la date de fin de chaque tâche;
- La durée escomptée de chaque tâche;
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement;

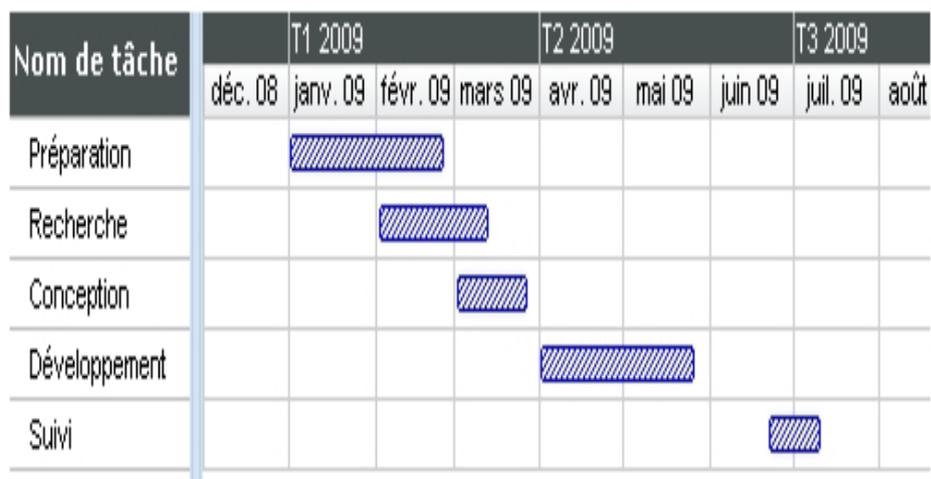


Figure 54. un exemple de diagramme de gantt simple [46].

La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble. En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning).

8.1.1. Données de base

Pour créer un graphique de Gantt, il vous faut un classeur qui présente [47] :

- D'abord le nom des tâches ;
- Puis les dates de début ;
- Et enfin la date de fin de vos tâches.

8.2. La technique PERT

La technique PERT est une technique américaine de modélisation de projet qui vient de l'américain Program Evaluation and Review Technique, ou technique d'évaluation et de révision de Programme. Elle consiste à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leurs dépendances et à leur chronologie permettent d'avoir un produit fini [45].

Les Caractéristiques de PERT sont les suivantes [47]:

- Les tâches sont représentées par des flèches;
- Le réseau visualise des dépendances entre tâches;
- Limites de la technique PERT : pas de représentation de notion de durée et de date.

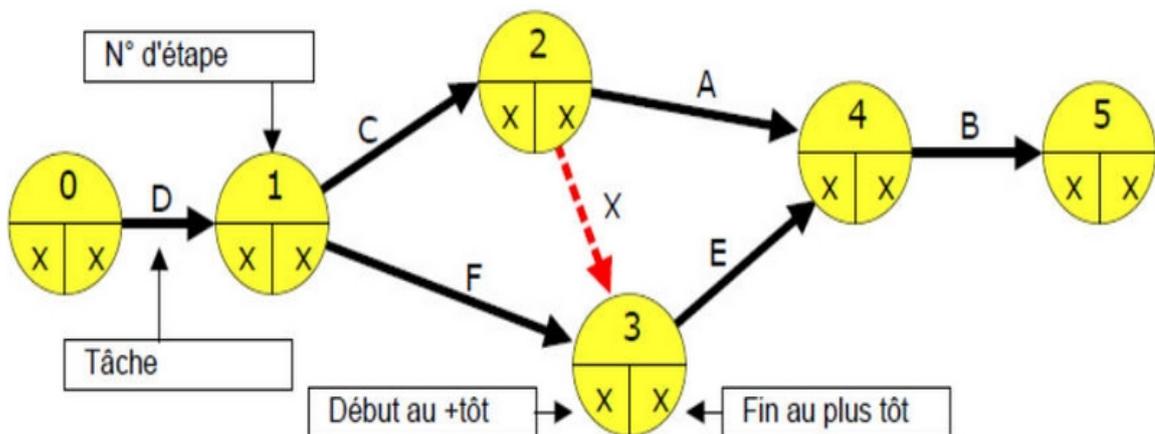


Figure 55. exemple de technique de PERT [48].

9. Présentation de Microsoft Project (MS Project)

Le Microsoft project est un outil informatique de gestion de project très performant [43]:

- Il permet de faire la planification d'un nombre très important de tache, en utilisant la méthode PERT-Potentiel.
- Il trace le digramme de Gantt sur un calendrier pouvant aller jusqu'à l'an 2049. Il peut structurer les taches sur plusieurs niveaux hiérarchiques.
- Il permet aussi l'affectation de plusieurs ressources de travail ou de matériel, ce qui donne le cout global des taches et du projet.

A l'aide de la visualisation de la répartition des ressources, l'utilisateur constate les sur utilisation et les sous utilisations des rousources, et l'outil permet l'optimisation les ressources à l'aide des commande de l'audit des ressources.

Après l'enregistrement de la planification initiale, l'outil permet de faire le suivi après le démarrage du projet en introduisant les informations sur le réel.il présente la comparaison entre le planifié et le réel. A partir de cette comparaison l'utilisateur peut faire les ajustements nécessaires pour respecter les délais planifiés.

Cet outil fait les calculs de l'audit des couts qui fait ressortir les éventuels déficits budgétaire ou les gains.

Il présente des rapports prêts à l'impression sur les différentes questions qui peuvent être posées lors des bilans ou lors des réunions d'analyse de l'état d'avancement des projets.

Enfin, le MS Project est un outil de communication des informations ou des affectations entre un groupe de travail dans la même entreprise, ou entre le maître de l'ouvrage, le maitred'œuvre et l'entrepreneur.

Cette communication se fait à l'aide d'un réseau intranet ou Intrenet par mail ou par le Server Microsoft Project.

Rôle de MS Project [49]

- La gestion de projet.
- La gestion des délais.

- La gestion des coûts.
- La gestion des ressources.
- La gestion des achats.
- La gestion de la communication.
- Simulation et analyse de scénarios.
- Analyse de la performance du projet.

10. La gestion de cas d'étude

Pour notre projet choisi, il y a 25 taches depuis l'installation du chantier jusqu'à la réception du projet.

Ces taches en été organisé par ordres dans le tableau 21 en définissant les prédécesseurs et les durées de chaque tâche et ainsi que le nombre des personelles nécessaires pour l'exécuter.

Les taches organisées sur le tab ces dessus sont ensuite introduite dans le logiciel MS Project pour la construction de diagramme de Gantt, ce logiciel permet d'organiser et d'optimisé l'exécution et la durée du projet.

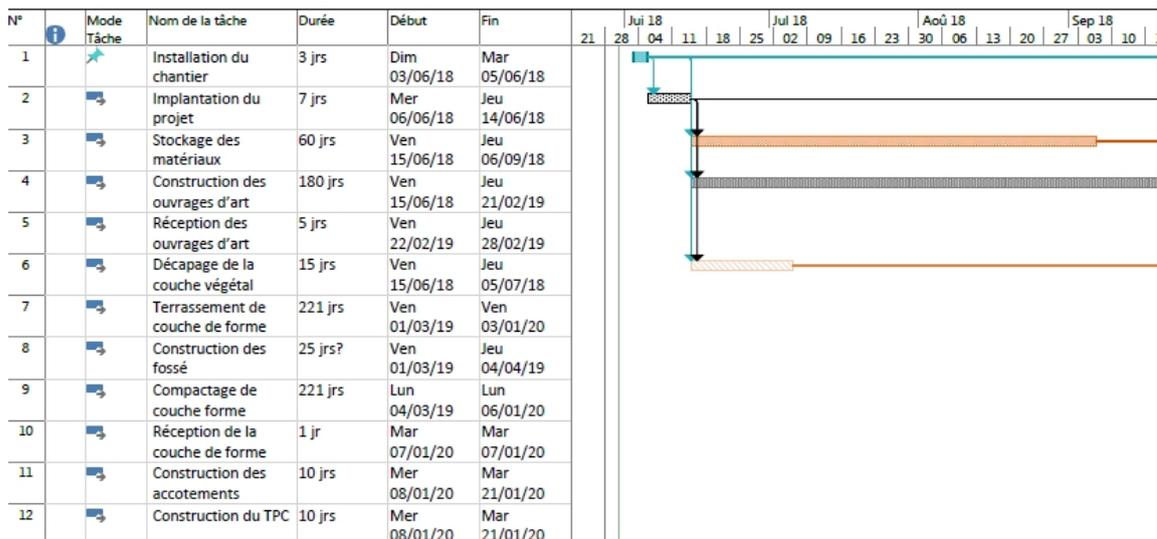


Figure 56. Partie de la courbe de Gantt par MS Project.

Tableau 19. Organisation des taches du projet.

N	Taches	Prédécedent	Ordre	Durée	Nombre d'intervenants (personnes)
A	Installation du chantier	/	1	3jours	6
B	Construction des ouvrages d'art	A, C	4	6 mois	16
C	Implantation du projet	A	2	7 jours	4
D	Terrassement de couche de forme	A, C, H, B, N, F	7	221 jours	4
E	Compactage de couche forme	A, C, H, B, N, F, D	9	221 jours	3
F	Décapage de la couche végétal	A, C	6	15 jours	4
G	Couche de fondation	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G	13	77 jours	4
H	Stockage des matériaux	A, C	3	60 jours	5
I	Compactage de la couche de fondation	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I	14	77 jours	3
J	Réception de la couche de forme	A, C, H, B, N, F, D, E, J	10	7 jours	7
K	Réception de la couche de fondation	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K	15	7 jours	7
L	Réception de la couche base	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q	17	14 jours	7
M	Réception de la couche de roulement	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q, L, R	19	14 jours	7
N	Réception des ouvrages d'art	A, C, B	5	5 jours	5
O	Réception du projet	A, C, H, B, N, F, D, S, E, J, P, T, G, I, K, Q, L, R, M, X, U, V, W, Y	25	2 jours	4
P	Construction des accotements	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P	11	10 jours	5
Q	Construction et compactage de la couche de base	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K	16	30 jours	3
R	Construction et compactage de la couche de roulement	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q, L	18	30 jours	3
S	Construction des fossé	A, C, H, B, N, F, D	8	25 jours	4
T	Construction du TPC	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P	12	10 jours	5
U	Réception des accotements	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q, L, R, M	21	1 jour	6
V	Marquage de la route	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q, L, R, M, X, U, V	22	7 jours	3
W	Signalisation routières	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q, L, R, M, X, U, V	23	1 jour	4
X	Réception du TPC	A, C, H, B, N, F, D, E, J, P, T, G, I, K, Q, L, R, M	20	1 jour	6
Y	Réception des fossés	A, C, H, B, N, F, D, S	24	1 jour	2

D'après le diagramme de Gantt construit par MS Project (figure 48), la durée estimée pour l'exécution du projet est de 26 mois, à raison de 5 jours ouvrables par semaine (voir l'annexe F).

On a importé le fichier du MS Project au logiciel Gantt Project, pour pouvoir enregistrer une vue globale du diagramme de Gantt de notre projet (annexe F).

En prenant en compte les jours fériés, et les jours des intempéries:

- En Algérie on compte 14 jours fériés par ans;
- On compte aussi 60 jours d'intempéries approximativement.

Le délai global prévu pour la réalisation du projet est d'environ 29 mois (28 mois et demi), 63 % du temps estimé par le DTP.

11. Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu les différentes techniques et démarches pour organiser et gérer un projet (particulièrement, un projet routier), et on a dressé un diagramme de Gantt pour synchroniser les tâches et optimiser leurs délais d'exécution, et par conséquent le délai global de la réalisation du projet.

The background features a large, light gray watermark of the University of Tébessa logo. The logo consists of a central emblem with a sunburst or fan-like shape above an open book, flanked by stylized architectural elements. Below the emblem, the text 'UNIVERSITE DE TEBESSA' is written in a sans-serif font.

Conclusion générale et recommandations

UNIVERSITE DE TEBESSA

Conclusion générale et recommandations

Dans le présent travail, on a entamé l'étude géotechnique d'un projet routier (Tranche 2 de l'évitement de Tébessa, de 11,5 x 2 km de linéaire).

On a donc effectué la classification des sols et des matériaux envisagés pour la construction du projet selon le GTR, à partir des essais effectués par le LTP-Est Tébessa.

Le dimensionnement de la chaussée a été fait par deux méthodes de calcul (CBR et le catalogue Algérien), puis on a utilisé le logiciel ALIZE-LCPC pour vérifier les déformations admissibles dans les différentes couches de la chaussée et de la couche de forme.

Le logiciel ALIZE-LCPC a permis d'optimiser le dimensionnement de la chaussée d'une façon à minimiser les déformations transmises à la couche de forme en dessous de la déformation admissible, et de diminuer ainsi les risques de déformations et de détérioration ultérieures dans la couche de surface. Ces détériorations qui sont généralement dues aux déformations du sol support (couche de forme dans notre cas).

L'intérêt d'une étude géotechnique adéquate est clairement démontré ici. Une phase importante de l'étude des projets routiers, qui est souvent négligée pas seulement dans notre pays, mais aussi dans certains pays développés comme la France.

On a aussi fait le calcul des mouvements des terres (terrassment), ainsi que les choix du matériel de compactage selon le GTR et le calcul du débit et de temps nécessaire de compactage.

Enfin, on étudie l'organisation et la gestion du projet cas d'études, pour définir le nombre de personnel intervenant dans chaque LT (ou tâche) et la construction du diagramme de Gantt, à l'aide du logiciel Ms Project. Ce diagramme permet d'organiser et synchroniser les tâches entre elles.

Le temps estimé pour la réalisation du projet par MS Project est de 29 mois environ pour 11,5 km. Alors que la DTP a estimé un délai de 18 mois pour seulement 4,5 km. Soit, une optimisation des délais 1,5 fois plus courte.

Conclusion générale et recommandations

Comme recommandations et perspective de ce travail:

- Le bon choix du matériel et le calcul du compactage permettront d'éviter des dégradations futures et les coûts d'entretien ou de renforcement d'un tel projet important et vital pour la ville de Tébessa.
- L'emploi des méthodes de gestion des projets permettront au maître d'ouvrage d'éviter les coûts supplémentaires dus à la hausse des prix des articles du marché du projet, et au maître d'œuvre d'éviter les pénalités de retard.

Bibliographie

- [1] Rapport de travaux, Institut National du Bâtiment et des travaux public du RDC, Disponible sur, <http://congovirtuel.com>, consulté le 20-10-2017.
- [2] Z. Benghazi, Les voies de transports terrestres, Cours de construction des pistes 2017-2018, Institut des mines, Université de de Tébessa
- [3] P. Teodor, Conception et réalisation se structures routières à hautes Performances. Thèse de doctorat, université Politécnica de TIMI OARA, (2011).
- [4] Les ruines romaine, Timgad, Algérie, disponible sur, www.easyvoyage.com, consulté le 10-12-2017.
- [5] D. Adama, Dimensionnement routier au Sénégal, quelles perspectives, Mémoire Master, Université cheikh Anta Diop de DAKAR, 2011.
- [6] Site Officiel du Ministère des travaux public, www.mtp.gov.dz, consulté le 11-10-2017.
- [7] Les services d'études techniques des routes et autoroute, Guide technique, 1994.
- [8] Réalisation des remblais et des couches de formes, LCPC, 2000.
- [9] Proposition de classification fonctionnelle – Réseau national, régional et collecteur, Ministère des transports du Québec, Canada, juin 1985.
- [10] C. Haouache et A. Chettouh, Etude de modernisation et de renforcement de la RN46 Sur 15 km (PK 00+000 au PK 15+000), Mémoire de Master Académique, 2016.
- [11] I. Traore et A. Kone Boubacar, Mémoire de master, Etude et Dimensionnement d'un tronçon routier, 2015.
- [12] R. COSTESCU, Caractéristiques générales des chaussées, 2011.
- [13] A. NAHAOUA, Cours caractérisation des chaussées. Département de Génie civil, Faculté : TECHNOLOGIE-U.F.A.S, 2013
- [14] K. BELKIDAR, Contribution à la notion d'adhérence sur les chaussées du réseau Algérien, Mémoire de magister, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou, 2018.
- [15] Dimensionnement des chaussées Ministère de transports, DGAC, 1983.
- [16] M. KRIM, Étude de dédoublement routière de la RN47 sur 08KM entre la ville d'Elbaydh et centre universitaire, Mémoire d'ingénieur d'état en génie civil, 2014.

- [17] Hypothèses et données de dimensionnement, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, CTTTP, 2001.
- [18] F. Visa, Chapitre 0 : Caractéristiques générales des chaussées, Cours d'étude géotechnique routière 2008-2009, IUT de Saint Pierre, 13 pages.
- [19] B40.Normes technique d'aménagement des routes en Algérie, Ministre des travaux public, 1977.
- [20] Catalogue de Dimensionnement Algérien, Catalogue de Dimensionnement des Chaussées neuves, Fascicule 2: Hypothèses et Données de Dimensionnement, 2001.
- [21] Guide Technique: Recommandations Techniques pour la conception Générale et la géométrie de la route, SETRA, 1994.
- [22] Formation professionnelle et de la promotion du travail, Direction recherche et ingénieur de formation, résumé théorique et guide de travaux pratique, module09.
- [23] Organisation internationale de normalisation, La norme ISO 6165,2012.
- [24] M. Ourahou, Matériels du chantier « TERRASSEMENTS », 2004.
- [25] Géotechnique, Ingénierie des sols et des fondations, ARVOR, disponible sur www.mairie-besne.fr, consulté le 04-04-2018.
- [26] Remblayage des tranchées et réfection des chaussées, Aide mémoire, Extraits du Guide technique SETRA – LCPC, 1994.
- [27] A. Nahaoua, Cours d'Etude de compactage et des déferents matériels, Département de Génie civil, Faculté : TECHNOLOGIE-U.F.A.S, 2013.
- [28] J. Berthier, Projet et construction de routes, l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1992.
- [28] A. Hamoudi et Y. Lasri, Etude de la bretelle principale a de l'échangeur de la RN02 sur Km avec un Pont cadre, Diplôme de Master en Génie Civil, 2012.
- [29] : A. Nahaoua, Cours: Cubature et mouvement des terre, Département de Génie civil, Faculté : TECHNOLOGIE-U.F.A.S, 2013.
- [30] Cours de terrassement, Rotation d'engin, 2018, disponible sur, www.geniecivilstore.com, Consulté le 10-05-2018.
- [31] NF. P 94 500 relative à la classification des missions géotechniques type, Novembre 2013.
- [32] Site officiel de la ville de Tébessa, www.wilya-tebessa.dz.
- [33] Site El- Ma-labiod-Tébessa-Algérie, www.researchgate.net.
- [34] A. Ghrieb, L'acquisition de la salinité des eaux souterraines en zone semi-aride, Mémoire de master, 2011.

- [35] La carte topographique de la ville de Tébessa, disponible sur <https://www.google.fr>.
- [36] M. Rahmoni, Etude des techniques de dépoussiérage au niveau de la cimenterie D'Elma-Labioud, Mémoire de master, 2008.
- [37] Climat, Tébessa, disponible sur fr.climat-data.org, consulté le 27-04-2018.
- [38] Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, Guide du Terrassement Routier, 2000.
- [39] I. Gueye, et A. san, Amélioration des graveleux latéritiques au ciment en couche de chaussées au Burkina Faso, diplôme de Master, 2012.
- [40] Guide technique des enrobés hydrocarburés à chaud, LCPC, 2003.
- [41] Compacteurs, disponibles : www.cat.com, consulté le 13-05-2018.
- [40] AFNOR 50-105, D'après PMI, Project Management Institute, D'après ISO 9000:2000, février 2008.
- [41] W. Fellahi, Caractéristique et résilience des risques géotechniques dans un projet routier, Diplôme de master en génie civil, 2012.
- [42] J. Drevet, mise en dépôt de matériaux sur la commune du Freney, mémoire technique, 2014.
- [43] Techniques de planification : Gantt, PERT, la gestion du projet, disponible sur www.gestiondeprojet.net, Consulté sur 15-05-2018.
- [44] Diagramme de Gantt, disponible sur www.gantt.com/fr, Consulté le 20-05-2018.
- [45] Diagramme de PERT, www.excel-exercice.com, Consulté le 20-05-2018.
- [46] Définition de la méthode de Pert, www.idelog.fr, Consulté le 20-05-2018.
- [47] A. Ladouani, organisation de chantier et gestion de projet, Mémoire de master, 2001.

The background features a large, light gray watermark of the University of Tébessa logo. The logo consists of a central sunburst with a semi-circle at its base, flanked by two stylized buildings. Below the sunburst is an open book with many pages. The entire logo is enclosed in a double-line border.

Annexe A

Etude

géotechnique

UNIVERSITE DE TEBESSA

Annexe A : Etude géotechnique

Types de sols	Granulométrie				Interprétation
	D max (mm)	2 mm	0.080 mm	< 0.080 mm	
Argile brunâtre	2	> 94%	> 90%	> 90%	<ul style="list-style-type: none"> - Riche en fines - Très sableuse. - Non graveleuse
Limons argileux noirâtres	2	100%	≥ 92%	≥ 90%	<ul style="list-style-type: none"> - Riches en fines. - Très sableux. - Non graveleux
Argile limoneuse brunâtre	2	100%	> 95%	> 90%	<ul style="list-style-type: none"> - Riche en fines - Très sableuse. - Non graveleuse.
Marne jaunâtre à grisâtre	2	100%	> 95%	> 90%	<ul style="list-style-type: none"> - Riche en fines - Très sableuse. - Non graveleuse
Limons brunâtres	20	> 95%	≥ 80%	> 80%	<ul style="list-style-type: none"> - Riches en fines - Très sableux - Graveleux
Tufs argileux rougeâtres	20	95.60%	91.40%	90%	<ul style="list-style-type: none"> - Riches en fines - Très sableux - Graveleux
TVN caillouteux	50 à 80	38%	38%	10% à 30%	<ul style="list-style-type: none"> - Peu argileux - Sableux - Caillouteux

Annexe B

Classification

du sol



UNIVERSITE DE TEBESSA

Annexe B : classification du sol

Nature du sol	Classification G.T.R	We%	d	h	Sr%	CaCO ₃	VBS	ES%	Limites D'Atterberg		Proctor modifié		ICBR 95%	Interprétation
									WL%	IP%	W _{opm} %	yd _{opm} (t/m ³)		
Argile brunâtre	Classe A S/CL A ₃	10.51	1.50	1.75	50	47.11	5.83	-	44	34	16	1.85	4.36	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau élevée - Très plastique - Portance médiocre - Matériau non réutilisable
		à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à		
		15.80	1.87	2.04	78	58.46	8.67		58	37	18	4.47		
Limons argileux noirâtres	Classe A S/CL A ₃	18.07	1.51	1.82	70	47.69	7.30	-	62	36	20	1.66	8	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau élevée - Très plastique - Faible portance ; - Matériau non réutilisable
		à	à	à	à	à	à	-	à	à				
		19.42	1.58	1.93	81-	51.38	7.90		64	39				
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Argile limoneuse brunâtre	Classe A S/CI A ₃	12.34	1.62	1.86	56	44.62	5.67	-	45	27	16	1.94	14.20	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau élevée - Plastique - Moyenne portance - Matériau non réutilisable
		à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à		
		17.66	1.73	1.99	76	64.36	7.26		59	38		16.60		
Marne jaunâtre à grisâtre	Classe A	17.12	1.72	2.01	81	61.98	6.83	-	62	42	14	1.87	3.96	<ul style="list-style-type: none"> - -Teneur en eau élevée - -Très plastique - Portance médiocre - Matériau non réutilisable

	S/CI A ₃													
Marne limoneuse jaunâtre	Classe A S/CI A ₃	13.40	1.73	1.98	64	45.45	5.83	-	48	31	14	1.87	3.91	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau élevée - Plastique - Portance médiocre - Matériau non réutilisable
Tufs argileux rougeâtres	Classe A S/CI A ₂	12	-	-	-	47.69	5.3	8	38	23	16	1.85	7	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau élevée - Plastique - Faible portance - Matériau non réutilisable
TVN caillouteux	Classe C S/CI C ₁ A ₁	5 à 9.53	-	-	-	56.20 à 86.15	1.17 à 3.67	13.18 à 29.73	31	14	8	1.94 à 2.11	16.60 à 36.11	<ul style="list-style-type: none"> - Faible teneur en eau - Moyennement plastique - Densité_{opm} élevée - Bonne portance - Bon matériau de remblai



Annexe C
Conditions
d'utilisation
des matériaux
selon GTR

UNIVERSITE DE TEBESSA

Annexe C : condition d'utilisation des matériaux selon GTR

I. Condition d'utilisation en remblai

Sol	Observation générale	Situation météorologique		Condition d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
A2h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible La mise en dépôt provisoire et le drainage préalable ne sont habituellement pas des solutions envisageables dans le climat français moyen. Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase – terrassement.	+	Pluies faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	Non
		=	Ni pluies, ni évaporation importante	Solution01 : Traitement T : traitement à la chaux C : compactage faible	0 0 0 2 0 2 0
				Solution 02 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de faible hauteur (5m)	0 0 0 0 3 1
		-	Evaporation importante	Solution 01 : aération E : extraction en couche. W : réduction de la teneur en eau par aération. R : couche mince. C : compactage moyen. H : remblai de hauteur moyen (10 m).	1 0 1 0 1 2 2
Solution 02 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0				
A3h	Sols difficiles à mettre en œuvre en Raison : - de leur caractère collant ou glissant dû à leur grande plasticité et à leur faible perméabilité - de leur portance faible La mise en dépôt provisoire n'est pas une solution dans le climat français moyen. Le drainage préalable ne permet Pas de réduire utilement la teneur en eau W.	++	Pluie Forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	Pluie Faible	C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (5 m)	0 0 0 0 3 1
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (5 m)	0 0 0 0 3 1
				Solution 1 : traitement	

				T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 2 0 2 0
			Évaporation Importante	Solution 2 : 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
C ₁ A ₁	Ces sols sont très difficiles à mettre en œuvre en raison de leur faible portance ; ils peuvent conserver des pressions interstitielles après mise en œuvre La présence de blocs peut entraîner des difficultés lors de la réalisation des traitements		Pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		=	Ni pluie, Ni évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (5 m)	0 0 0 0 0 3 1
				Solution 2 : traitement G : élimination des éléments supérieurs à 250 mm pour traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 2 0 1 0 2 0
		-	Évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (5 m)	0 0 0 0 0 3 1
				Solution 2 : aération E : extraction en couches W : réduction de teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen	1 0 1 0 1 2 0

II. Différents cas possibles de partie sup P.S.T

Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe De l'AR	Commentaires
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B2, B4, B5, B6, C1, R12, R13, R34 et certains matériaux C2, R43 et R63 dans un état	AR1	Dans ce cas de PST, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement

		hydrique (h). Contexte. PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme A et sans possibilité d'amélioration à long terme B.	principalement à la chaux vive et selon un technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anti contaminant à l'interface PST - couche de forme).
--	--	---	--

A : Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme
B : Situation pendant la "phase de construction" de la chaussée.

III. Condition d'utilisation en couche de forme

Classe de Sol	Observations générales	Situation Météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée
A2h	La sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter	+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une	NON	

<p>le plus souvent en associant chaux + liant hydraulique étant donné l'importance de la fraction argileuse qu'ils peuvent contenir. L'association avec de la chaux peut par ailleurs s'imposer pour ajuster leur état hydrique lorsqu'ils sont trop humides. Lorsqu'ils sont dans un état sec, il est nécessaire de les humidifier pour les ramener à l'état moyen et dans ce cas la chaux peut avantageusement être introduite sous forme de lait de chaux dont la concentration doit être adaptée au cas de chantier considéré. Ces sols se traitent presque toujours en place pour la phase de prétraitement à la chaux et éventuellement en centrale pour la phase traitement au ciment.</p>			<p>maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)</p>		(1)
	=	<p>ni pluie ni évaporation</p>	<p>T : Traitement mixte : chaux + liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté</p>	0 0 3 2	
	-	<p>Évaporation Importante</p>	<p>T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté</p>	0 0 2 2	

A3h	<p>La sensibilité à l'eau et la plasticité élevée des sols de cette classe implique un traitement associant chaux et liant hydraulique pour pouvoir les utiliser en couche de forme.</p> <p>Pour les plus plastiques d'entre eux un traitement à la chaux seule peut être envisagé notamment s'il n'y a pas de risques d'apparition de gel peu après la réalisation.</p> <p>Ces sols se traitent exclusivement en place.</p> <p>Lorsqu'ils sont dans un état humide, la chaux est très efficace pour faciliter leur malaxage et ajuster leur état hydrique.</p> <p>Lorsqu'ils sont dans un état sec leur emploi en couche de forme est à déconseiller en raison de la difficulté qu'il y a à les humidifier de manière homogène.</p>	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON	
		pas de pluie	<p>Solution 1 :</p> <p>T : Traitement mixte : chaux + liant hydraulique</p> <p>S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté</p>	0 0 3 2	(1)
			<p>Solution 2 :</p> <p>T : Traitement à la chaux seule</p> <p>S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté</p>	0 0 4 2	

C1A1h	Les sols de cette classe sont sensibles à l'eau et plus ou moins plastiques malgré la présence d'une fraction granulaire grossière assez importante.		pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON	(1)
	Leur emploi en couche de forme implique donc nécessairement un traitement soit avec des liants hydrauliques pour les moins argileux soit avec de la chaux associée aux liants hydrauliques pour les plus plastiques et les plus humides. Le traitement n'est cependant possible que dans la mesure où un malaxage homogène à l'aide d'un malaxeur à outils animés (pulvmixers...) est réalisable dans des conditions économiques acceptables. Ceci suppose soit que l'on		pas de pluie	G : Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol avec le (ou les) liant(s) T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	2 0 2 1	

	procède à l'élimination préalable des éléments grossiers interdisant le fonctionnement correct du malaxeur, soit que le malaxeur utilisé puisse absorber et fragmenter ces éléments grossiers.					
--	--	--	--	--	--	--

Annexe D

Cubature du

PF1 au PF52



UNIVERSITE DE TEBESSA

Annexe D : Cubature du PF1 au PF52

Tableau de mouvement des terres

Hauteur m	Distance m	Surface m ²	Volume m ³	Volume cumulé m ³	Distance cumulée m	(V*d)mdt
0,44	20	9,97	194,75	-194,75	20	-3895
0,42	20	9,50	180,81	-375,56	40	-3616,24
0,38	20	8,58	169,22	-544,78	60	-3384,39
0,37	20	8,35	173,85	-718,64	80	-3477,07
0,4	20	9,04	160,04	-878,68	100	-3200,83
0,31	20	6,96	118,77	-997,44	120	-2375,35
0,22	20	4,91	89,21	-1086,66	140	-1784,24
0,18	20	4,01	42,29	-1128,94	160	-845,75
0,01	20	0,22	85,66	-1043,29	180	1713,1
0,37	20	8,35	252,05	-791,24	200	5040,94
0,73	20	16,86	401,10	-390,15	220	8021,9
0,99	20	23,25	505,34	115,19	240	10106,78
1,15	20	27,28	591,97	707,16	260	11839,42
1,33	20	31,91	669,67	1376,83	280	13393,42
1,45	20	35,05	727,58	2104,41	300	14551,5
1,55	20	37,70	838,13	2942,54	320	16762,63
1,86	20	46,11	911,18	3853,72	340	18223,6
1,82	20	45,01	919,47	4773,19	360	18389,35
1,89	20	46,94	911,24	5684,43	380	18224,86
1,79	20	44,19	797,68	6482,11	400	15953,5
1,47	20	35,58	638,86	7120,96	420	12777,1
1,19	20	28,30	550,80	7671,76	440	11015,9
1,13	20	26,78	599,92	8271,68	460	11998,39
1,38	20	33,22	771,29	9042,97	480	15425,84
1,78	20	43,91	1030,26	10073,23	500	20605,24
2,32	20	59,11	1294,49	11367,72	520	25889,72
2,7	20	70,34	1467,50	12835,22	540	29350
2,9	20	76,42	1543,69	14378,90	560	30873,75
2,95	20	77,95	1568,34	15947,25	580	31366,87
2,98	20	78,88	1543,76	17491,01	600	30875,19
2,87	20	75,50	1509,91	19000,91	620	30198,14
2,87	20	75,50	1540,67	20541,58	640	30813,34
2,97	20	78,57	1640,16	22181,74	660	32803,1
3,19	20	85,44	1821,22	24002,95	680	36424,31
3,54	20	96,68	2016,04	26018,99	700	40320,71
3,79	20	104,93	2206,84	28225,83	720	44136,86
4,11	20	115,76	2230,28	30456,11	740	44605,51

3,86	20	107,27	2168,97	32625,07	760	43379,35
3,93	20	109,63	2189,17	34814,24	780	43783,39
3,92	20	109,29	2142,16	36956,40	800	42843,15
3,79	20	104,93	2035,66	38992,06	820	40713,23
3,6	20	98,64	2234,25	41226,31	840	44685,07
4,37	20	124,79	2175,70	43402,01	860	43513,99
3,42	20	92,78	1817,20	45219,21	880	36343,92
3,3	20	88,94	1718,63	46937,84	900	34372,63
3,11	20	82,93	1562,88	48500,72	920	31257,63
2,8	20	73,36	1380,30	49881,02	940	27606,03
2,51	20	64,67	1217,64	51098,66	960	24352,78
2,25	20	57,09	1372,14	52470,81	980	27442,87
3,02	20	80,12	1758,21	54229,01	1000	35164,15

Annexe E

Conditions de
compactage pour
l'utilisation des
matériaux selon

GTR

UNIVERSITE DE TEBESSA

Annexe F

Diagramme

de Gantt par

MS Project

UNIVERSITE DE TEBESSA

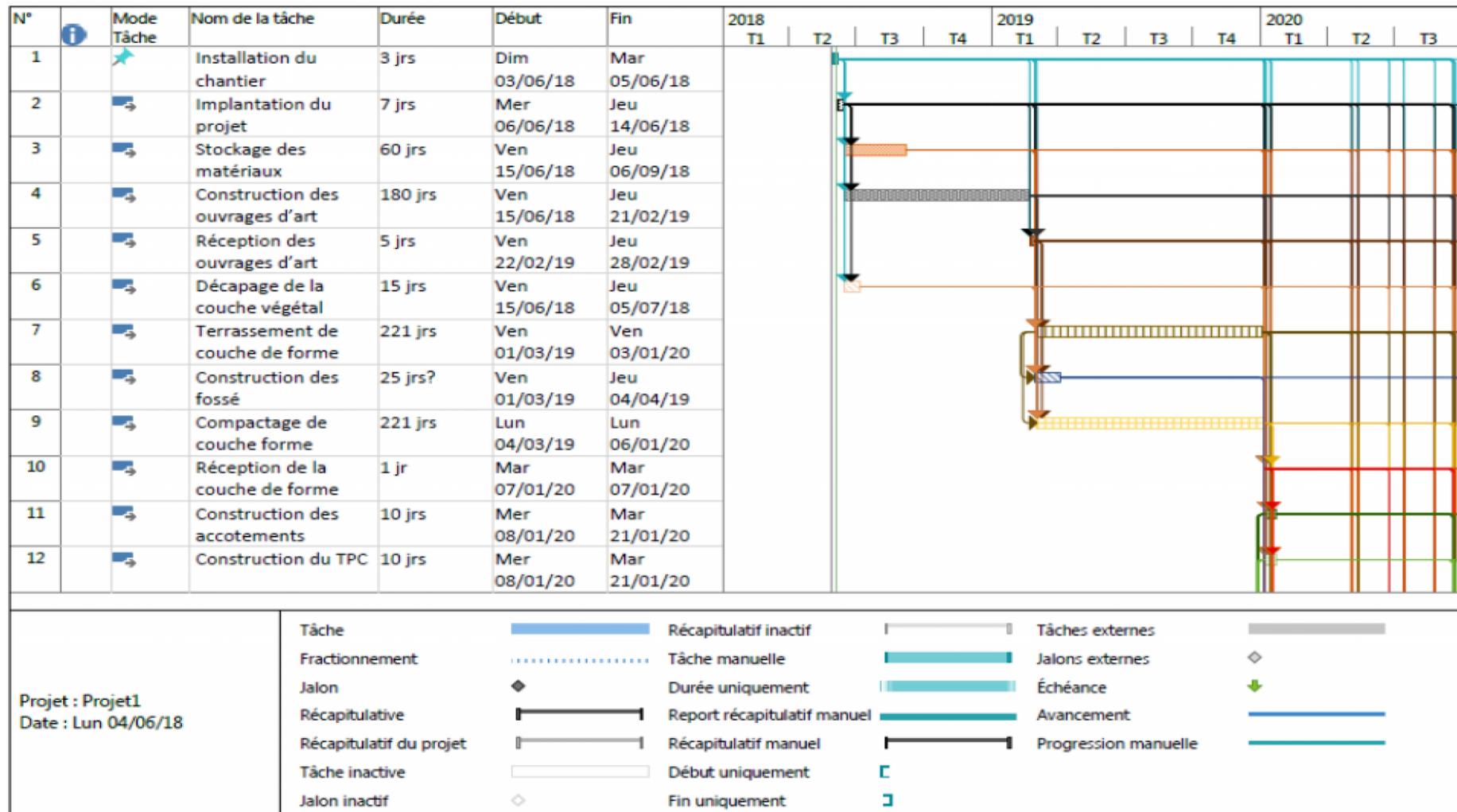
A₃, C₁A₃ (*)

Compacteur		P1	P2	P3	V1	V2	V3		V4		V5		VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	SP1	SP2	PQ3	PQ4	
Modalité																						
Energie de compactage faible	Q/S	0.020	0.040	0.060		0.040	0.055		0.070		0.085			0.040	0.070	0.085	0.110	0.040	0.070			
	e	0.20	0.25	0.35	0	0.20		0.25	0.30	0.35	0.30	0.45	0	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	0	0	
	V	5.0	5.0	5.0		2.0		2.0	2.5	2.0	3.0	2.0		2.0	2.0	2.5	3.0	8.0	8.0			
	N	10	7	6		5		5	5	5	4	6		5	4	4	4	7	5			
	Q/L	100	200	300		80		110	175	140	255	170		80	140	215	330	320	560			
Energie de compactage moyenne	Q/S		0.030	0.050			0.035		0.045		0.055				0.045	0.055	0.070	0.025	0.045			
	e	0	0.20	0.30	0	0		0.20		0.25		0.30	0	0	0.20	0.25	0.30	0.20	0.25	0	0	
	V		5.0	5.0				2.0		2.0		2.0			2.0	2.0	2.0	8.0	8.0			
	N		7	6				6		6		6			5	5	5	8	6			
	Q/L		150	250				70		90		110			90	110	140	200	360			
Energie de compactage intense	Q/S			0.030					0.030		0.035					0.035	0.045		0.025			
	e	0	0	0.20	0	0	0	0		0.20		0.25	0	0	0		0.20	0.25	0	0.20	0	0
	V			5.0						2.0		2.0				2.0	2.0		8.0			
	N			7						7		8				6	6		8			
	Q/L			150						60		70				70	90		200			

A_1, C_1, A_1 (*)

Compacteur		P1	P2	P3	V1	V2	V3		V4		V5		VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	SP1	SP2	PQ3	PQ4	
Modalité																						
Energie de compactage faible	Q/S	0.080	0.120	0.180	0.065	0.085	0.125		0.165		0.205		0.055	0.085	0.165	0.205	0.265	0.070	0.100		0.065	
	e	0.30	0.45	0.60	0.25	0.35	0.30	0.50	0.35	0.65	0.40	0.80	0.25	0.30	0.30	0.35	0.40	0.25	0.40		0.20	
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.5	4.0	2.5	5.0	2.5	5.0	2.5	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	8.0	8.0	0	(1)	
	N	4	4	4	5	5	3	4	3	4	2	4	5	4	2	2	2	4	4		3	
	Q/L	400	600	900	110	215	500	315	825	415	1025	515	110	255	660	1025	1325	560	800		65	
Energie de compactage moyenne	Q/S	0.045	0.065	0.095		0.040	0.065		0.085		0.100			0.040	0.085	0.100	0.130	0.040	0.070			
	e	0.25	0.35	0.45	0	0.25	0.30	0.40	0.30	0.50	0.30	0.60	0	0.25	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30		0	0
	V	5.0	5.0	5.0		2.0	2.5	2.0	3.5	2.0	4.0	2.0		2.0	2.5	3.5	4.0	8.0	8.0			
	N	6	6	5		7	5	7	4	6	3	6		7	4	3	3	5	5			
	Q/L	225	325	475		80	165	130	300	170	400	200		80	215	350	520	320	560			
Energie de compactage intense	Q/S		0.035	0.050		0.025	0.040		0.050		0.055			0.025	0.050	0.065	0.085		0.035			
	e	0	0.20	0.30	0	0.20		0.30	0.30	0.40	0.30	0.45	0	0.20	0.30	0.30	0.30		0.25		0	0
	V		5.0	5.0		2.0		2.0	2.5	2.0	3.0	2.0		2.0	2.0	2.5	3.0		8.0			
	N		6	6		8		8	6	8	5	7		8	6	5	4		8			
	Q/L		175	250		50		80	125	100	195	130		50	100	165	255		280			

Annexe F: Diagramme de Gantt par MS Project.



N°	Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	2018				2019				2020		
						T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3
13		Couche de fondation	77 jrs	Mer 15/01/20	Jeu 30/04/20											
14		Compactage de la couche de fondation	77 jrs	Jeu 16/01/20	Ven 01/05/20											
15		Réception de la couche de fondation	7 jrs	Lun 04/05/20	Mar 12/05/20											
16		Construction et compactage de la couche de base	30 jrs	Mer 13/05/20	Mar 23/06/20											
17		Réception de la couche base	14 jrs	Mer 24/06/20	Lun 13/07/20											
18		Construction et compactage de la couche de roulement	30 jrs	Mar 14/07/20	Lun 24/08/20											
19		Réception de la couche de roulement	14 jrs	Mar 25/08/20	Ven 11/09/20											
20		Réception du TPC	1 jr	Ven 18/09/20	Ven 18/09/20											
21		Réception des accotements	1 jr	Ven 18/09/20	Ven 18/09/20											

Projet : Projet1
Date : Lun 04/06/18

Tâche		Récapitulatif inactif		Tâches externes	
Fractionnement		Tâche manuelle		Jalons externes	
Jalon		Durée uniquement		Échéance	
Récapitulative		Report récapitulatif manuel		Avancement	
Récapitulatif du projet		Récapitulatif manuel		Progression manuelle	
Tâche inactive		Début uniquement			
Jalon inactif		Fin uniquement			

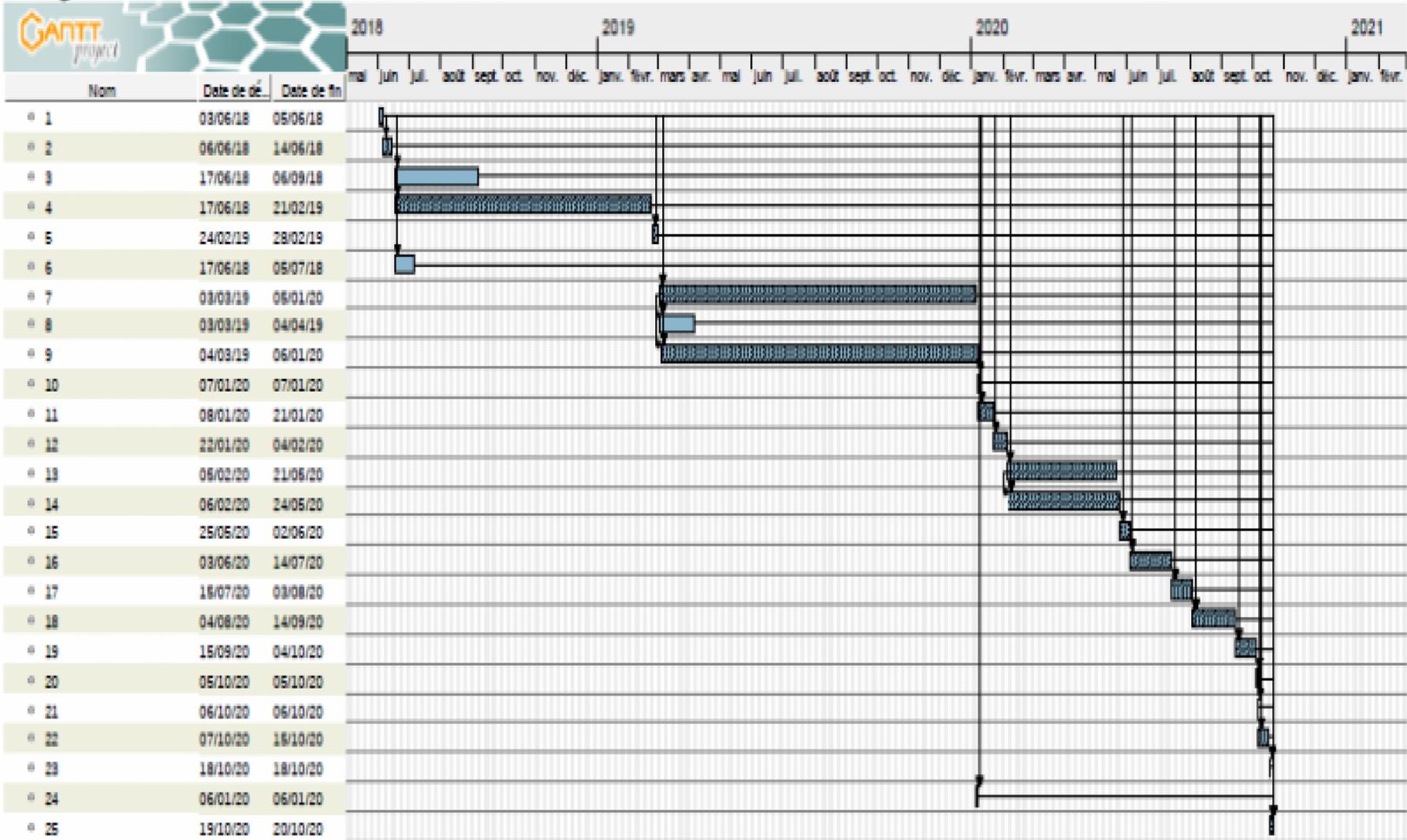
Diagramme de Gantt par Gantt Project

Tâches

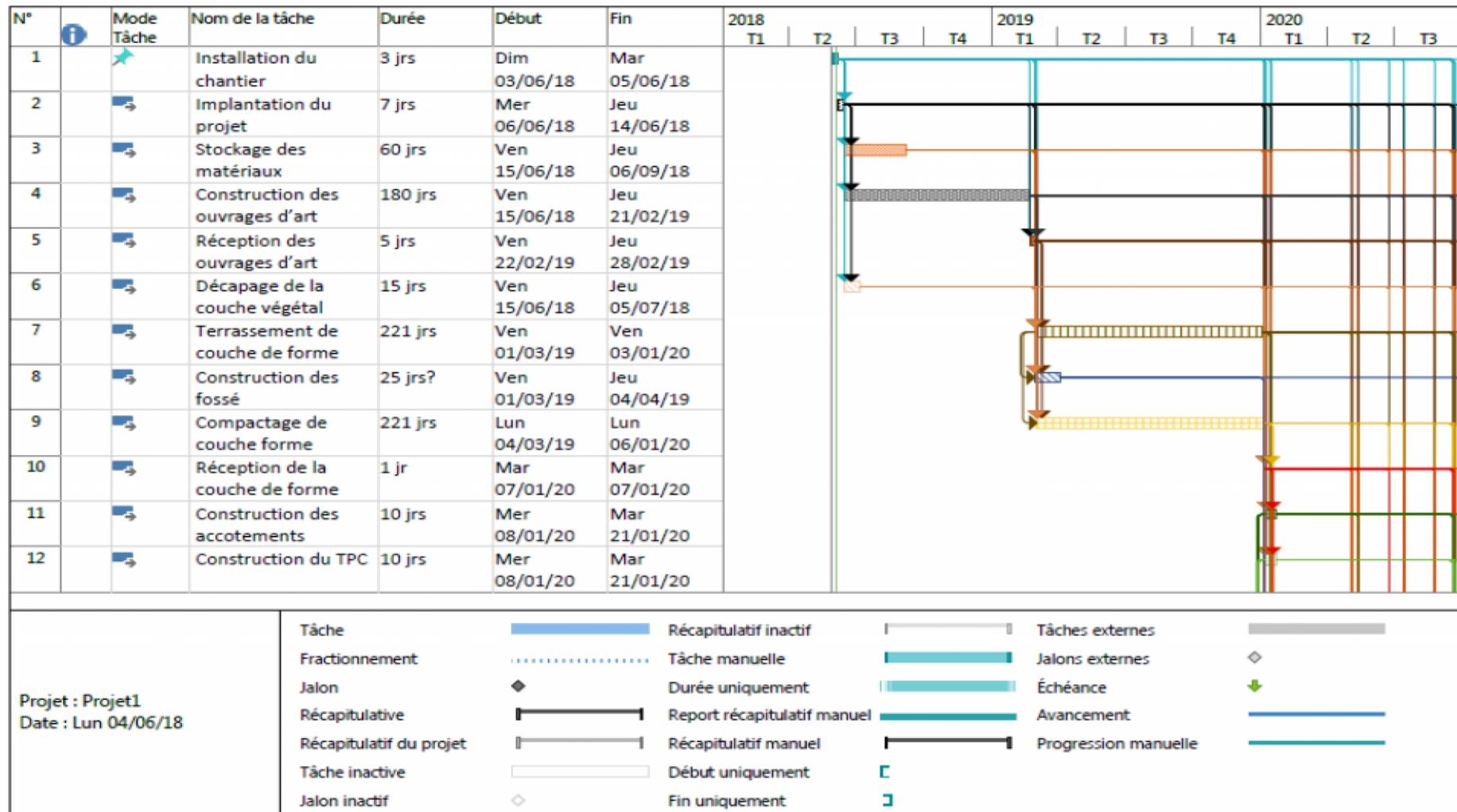
2

Nom	Date de début	Date de fin
1	03/06/18	05/06/18
2	06/06/18	14/06/18
3	17/06/18	06/09/18
4	17/06/18	21/02/19
5	24/02/19	28/02/19
6	17/06/18	05/07/18
7	03/03/19	05/01/20
8	03/03/19	04/04/19
9	04/03/19	06/01/20
10	07/01/20	07/01/20
11	08/01/20	21/01/20
12	22/01/20	04/02/20
13	05/02/20	21/05/20
14	06/02/20	24/05/20
15	25/05/20	02/06/20
16	03/06/20	14/07/20
17	15/07/20	03/08/20
18	04/08/20	14/09/20
19	15/09/20	04/10/20
20	05/10/20	05/10/20
21	06/10/20	06/10/20
22	07/10/20	15/10/20
23	18/10/20	18/10/20
24	06/01/20	06/01/20
25	19/10/20	20/10/20

Diagramme de Gantt



Annexe F: Diagramme de Gantt par MS Project.



N°	Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	2018				2019				2020					
						T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3			
13	→	Couche de fondation	77 jrs	Mer 15/01/20	Jeu 30/04/20														
14	→	Compactage de la couche de fondation	77 jrs	Jeu 16/01/20	Ven 01/05/20														
15	→	Réception de la couche de fondation	7 jrs	Lun 04/05/20	Mar 12/05/20														
16	→	Construction et compactage de la couche de base	30 jrs	Mer 13/05/20	Mar 23/06/20														
17	→	Réception de la couche base	14 jrs	Mer 24/06/20	Lun 13/07/20														
18	→	Construction et compactage de la couche de roulement	30 jrs	Mar 14/07/20	Lun 24/08/20														
19	→	Réception de la couche de roulement	14 jrs	Mar 25/08/20	Ven 11/09/20														
20	→	Réception du TPC	1 jr	Ven 18/09/20	Ven 18/09/20														
21	→	Réception des accotements	1 jr	Ven 18/09/20	Ven 18/09/20														

Projet : Projet1
Date : Lun 04/06/18

Tâche		Récapitulatif inactif		Tâches externes	
Fractionnement		Tâche manuelle		Jalons externes	
Jalon		Durée uniquement		Échéance	
Récapitulative		Report récapitulatif manuel		Avancement	
Récapitulatif du projet		Récapitulatif manuel		Progression manuelle	
Tâche inactive		Début uniquement			
Jalon inactif		Fin uniquement			

Diagramme de Gantt par Gantt Project

Tâches

2

Nom	Date de début	Date de fin
1	03/06/18	05/06/18
2	06/06/18	14/06/18
3	17/06/18	06/09/18
4	17/06/18	21/02/19
5	24/02/19	28/02/19
6	17/06/18	05/07/18
7	03/03/19	05/01/20
8	03/03/19	04/04/19
9	04/03/19	06/01/20
10	07/01/20	07/01/20
11	08/01/20	21/01/20
12	22/01/20	04/02/20
13	05/02/20	21/05/20
14	06/02/20	24/05/20
15	25/05/20	02/06/20
16	03/06/20	14/07/20
17	15/07/20	03/08/20
18	04/08/20	14/09/20
19	15/09/20	04/10/20
20	05/10/20	05/10/20
21	06/10/20	06/10/20
22	07/10/20	15/10/20
23	18/10/20	18/10/20
24	06/01/20	06/01/20
25	19/10/20	20/10/20

Diagramme de Gantt

