



**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES
COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-
EST DU BOULEVARD DES TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER D'INGENIERIE**

SPECIALITE : GENIE CIVIL-BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 26 Juillet 2021 par

Faychâal ILBOUDO (n° 20150013)

Encadrant 2iE : M. Louis Arnaud OUEDRAOGO, Enseignant à 2iE

**Maître de stage : M. Henri T. Rudolf NEMARO, Ingénieur géotechnicien, responsable
géotechnique de SOGEA-SATOM BURKINA FASO**

Structure (s) d'accueil du stage : SOGEA-SATOM BURKINA FASO

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr Abdou LAWANE GANA

Membres et correcteurs : Dr Seick Omar SORE
M. Malundama Succès KUTANGILA

Promotion 2020-2021

DEDICACES

*A ma mère Zoenabo TAPSOBA et à mon père Boureima ILBOUDO pour l'amour, le soutien,
les conseils et leurs prières qui n'ont cessé de m'accompagner depuis ma naissance.*

Ainsi qu'à toute la famille pour le soutien et la patience dont ils ont fait preuve.

CITATION

« It always seems impossible until it's done »

Nelson Mandela

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail.

Je saisis cette occasion pour remercier particulièrement :

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), toute son équipe administrative et son corps enseignant pour la formation de qualité que nous avons reçue tout au long de ces cinq (05) années d'études ;

M. Louis Sountong-Noma Arnaud OUEDRAOGO, Enseignant à 2iE ;

Le Directeur d'agence de SOGEA-SATOM BURKINA FASO, M. Robin TESTOT-FERRY pour m'avoir accepté comme stagiaire dans sa structure ;

M. Henri T. Rudolf NEMARO, Ingénieur géotechnicien, responsable géotechnique de SOGEA-SATOM BURKINA FASO, pour sa contribution en tant que maître de stage, son orientation et ses remarques fructueuses. Merci de m'avoir encadré tout au long de ce mémoire.

M. Souleymane KAFANDO, Ingénieur géotechnicien, assistant responsable géotechnique de SOGEA-SATOM, pour sa disponibilité tout au long de la rédaction de mon mémoire ;

Mme TOURE/BAYILI Bintha Yolande, Directrice des Ressources Humaines de SOGEA-SATOM BURKINA FASO ;

M. Abdul-Kader GUIAO, Directeur des Travaux à SOGEA-SATOM BURKINA FASO, pour sa disponibilité, ses remarques, ses recommandations et ses conseils ;

M. Ghislain KABORE, Ingénieur des travaux à SOGEA-SATOM BURKINA FASO ;

M. Moumouni OUEDRAOGO, Ingénieur génie hydraulique, chef de projet AGEIM ;

M. Sié Brice DA, Responsable de la topographie à SOGEA-SATOM BURKINA ;

M. Souradjou OROUNLA, Projeteur de topographie à SOGEA-SATOM BURKINA ;

M. Franck BAMBARA, ingénieur génie hydraulique et hydrologique, chef de projet à AGEIM ;

M. Abdramane KONE, Ingénieur travaux à SOGEA-SATOM BURKINA FASO ;

M. Elom KLU, ingénieur génie civil, chef de projet à AGEIM ;

Pr Abdou LAWANE GANA, président du jury ;

Dr Seick Omar SORE, correcteur ;

M. Malundama Succès KUTANGILA, correcteur ;

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin par leurs connaissances et leur soutien pour le bon déroulement de mon stage et du projet sur lequel j'ai eu à travailler.

RESUME

Le projet d'amélioration de la Rocade Sud-Est du Boulevard des Tansoba situé dans la ville de Ouagadougou, d'une longueur de 6,970 km est exécutée sur financement non remboursable de la république du Japon afin de contribuer à la séparation du trafic mixte et au renforcement des services de transport et de la gestion de la sécurité.

Le présent mémoire consiste à faire d'une part, la conception et le dimensionnement de la Rocade Sud-Est du Boulevard des Tansoba et de ses ouvrages d'assainissement et d'autre part, présenter les procédures de mise en œuvre des couches d'assise.

Notre projet débute au niveau de l'échangeur porte de l'Est (PK 0+000) et prend fin à l'extrémité du rond-point avant l'échangeur de Ouaga 2000 (PK 6+970). Au terme de notre étude, nous avons obtenu :

Une structure de chaussée en 2x3,5m voies autos et une piste cyclable de 3,5m pour chaque sens de circulation (à gauche et droite) du terre-plein central sur tout le long. Les paramètres adoptés pour la géométrie sont fonction de la vitesse de référence qui est de 80 km/h. Le sol support du projet est de classe S5 et le trafic que la chaussée supportera est de type T4.

Des caniveaux de sections rectangulaires variables en béton armé, 65 dalots longitudinaux de sections rectangulaires variables en béton armé et 5 dalots transversaux (PK0+035, PK 2+200, PK 3+150, PK 4+400 et au PK 5+600) de sections rectangulaires en béton armé.

L'étude d'impact environnemental et social a été réalisée dans le but de prévoir et d'anticiper les différents impacts que le projet causera à son milieu récepteur et environnant.

Mots Clés :

-
- 1 - Dimensionnement**
 - 2 - Assainissement**
 - 3 - Amélioration**
 - 4 - Conception**
 - 5 - Processus**

ABSTRACT

The project of improvement of the South-East Rocade of the Boulevard des Tansoba located in the city of Ouagadougou with a length of 6.970 km executed by the non-reimbursable financing of the Republic of Japan in order to contribute to the separation of the mixed traffic and to the reinforcement of the transport services and the management of the safety

The present end of study thesis consists to do the design and sizing of the South-East Tansoba Boulevard bypass and its drainage works on the one hand, and the procedures for the implementation of the sub-base layers on the other.

Our project starts at the end of the East Gate of interchange (KP 0+000) and ends at the end of the traffic circle before the Ouaga 2000 interchange (KP 6+970). At the end of our study, we obtained:

A pavement structure of 2x3.5 car lanes and a 3.5 bike lane on both sides (left and right) of the central median along the entire length. The parameters adopted for the geometry are based on the reference speed of 80 km/h. The project's subgrade is class S5 and the traffic that the roadway will support is type T4.

Gutters with variable rectangular sections in reinforced concrete, 65 longitudinal gutters with variable rectangular sections in reinforced concrete and 5 transverse gutters (KP0+035, KP 2+200, KP 3+150, KP 4+400 and at KP 5+600) with rectangular sections in reinforced concrete. The environmental and social impact study was carried out in order to foresee and anticipate the various impacts that the project will cause to its receiving and surrounding environment.

Key words:

-
- 1 - Sizing**
 - 2 - Sanitation**
 - 3 - Improvement**
 - 4 - Design**
 - 5 – Process**

LISTE DES ABREVIATIONS

2IE	: Institut International de l'Eau, de l'ingénierie et de l'environnement
AGEIM	: Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvre
ARP	: Aménagement des Routes Principales
BAEL	: Béton Armé aux Etats Limites
BB	: Béton Bitumineux
BBME	: Béton Bitumineux a Module Elevé
BV	: Bassin versant
CAM	: Coefficient d'Agressivité Moyenne
CBR	: Californian Bearing Ratio
CCTP	: Cahier des Clauses Technique Particulière
CEBTP	: Centre Expérimental de Recherche et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics
CIEH	: Comité Inter africaine d'Etude Hydraulique
DGIR	: Direction Générale des Infrastructures Routières
DGNETC	: Direction générale de la normalisation, des études techniques et du contrôle
GB	: Grave Bitume
GNT	: Grave Non Traitée
HA	: Haute Adhérence
IGB	: Institut géographique du Burkina
JICA	: Agence Japonaise de Coopération International
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
PF	: Plateforme
PK	: Point Kilométrique
PST	: Partie Supérieur de Terrassement
PST-2	: Programme Sectoriel des Transport phase 2
PTR/HIMO	: Projet de travaux routiers à haute intensité de main d'œuvre
SC3 :	: Sol Ciment de classe 3
SETRA	: Service des Transports et des Autoroutes
TMJA	: Trafic Moyen Journalier Annuel
TPC	: Terre-plein central

TABLE DES MATIERES

DEDICACES.....	i
CITATION.....	ii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
TABLE DES MATIERES.....	1
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES	5
INTRODUCTION	6
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET ..	8
I.1. Présentation de la structure d'accueil	8
I.1.1. Historique	8
I.1.2. Domaines d'activité.....	8
I.1.3. Responsabilité	10
I.1. 4. Parc machine	10
I.1.5. Le respect de l'environnement	10
I.2. Présentation du projet.....	10
I.2.1. Localisation du Projet.....	10
I.2.2. Les différents acteurs du projet	11
I.2.3. Contexte et justification	12
I.2.4. Etat des lieux	13
I.2.5. Objectif général	15
I.3. Données de base	15
I.4. Méthodologie de conception	15
I.4.1. Etude technique	15
a. Etude du tracé	15
b. Etude géotechnique	15
c. Etude du trafic.....	16
d. Vérification du dimensionnement de la première structure de chaussée proposée par le bureau d'étude	16

e. Proposition de variantes et dimensionnement de la structure de chaussée.....	16
f. Dimensionnement des ouvrages d'assainissement.....	17
I.4.2. Etude d'impact environnemental et social et cout du projet.....	17
I.5. Matériel utilisé.....	17
I.5.1. Support physique ou numérique	17
I.5.2. Logiciels	17
CHAPITRE II : ETUDE TECHNIQUE.....	19
Introduction.....	19
II.1. Etude du tracé.....	19
II.1.1. Contenu de l'étude	19
II.1.2. Norme géométrique	19
II.1.3. Définition de la géométrie de la chaussée	20
II.1.4. Résultat de l'étude	23
II.2. Etude géotechnique.....	23
II.2.1. Contenu de l'étude	24
II.2.2. Récapitulatif des résultats et analyse de l'étude.....	24
II.3. Vérification du dimensionnement de la structure de chaussée et proposition de variante :.....	24
II.3.1. Etude du trafic.....	24
II.3.2. Vérification du dimensionnement de la première structure de chaussée proposée mise en œuvre ...	27
II.3.3. Proposition de deux variantes et vérification de dimensionnement de leurs structures de chaussée	28
II.4. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques.....	33
II.4.1. Etude hydrologique	33
II.4.2. Dimensionnement hydraulique des ouvrages d'assainissement.....	38
II.4.3. Dimensionnement structural des ouvrages d'assainissement.....	47
II.5. Sécurité routière.....	55
II.5.1. Signalisation routière	56
II.5.2. Eclairage public	58
Conclusion Partielle	58
CHAPITRE III : PROCEDURE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX.....	59
Introduction.....	59
III.1. Procédure de mise en œuvre.....	59
III.1.1. Mise en œuvre de la couche de fondation et de base (GNT)	59
III.1.2. Mise en œuvre de la couche de liaison et la couche de roulement	60

III.2. Contrôle qualité	62
Conclusion partielle	62
CHAPITRE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL	59
Introduction.....	59
IV.1. Rappel du cadre législatif régissant le projet.....	59
IV.2. Rappel des composantes et phases du projet	59
IV.3. Identification et évaluation des impacts	60
IV.4. Plan de gestion environnemental et social.....	60
IV.5. Analyse des risques	61
Conclusion Partielle	61
CONCLUSION.....	62
BIBLIOGRAPHIE	64
ANNEXES	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : coordonnées géographiques.	11
Tableau 2 : Documents techniques de conception géométrique routière	19
Tableau 3 : Aménagements adaptés et les conditions générales de leur emploi.....	20
Tableau 4 : Paramètres géométriques du tracé en plan.....	21
Tableau 5 : Paramètres géométriques du profil en long.....	21
Tableau 6 : dimensionnement de la bande dérasée	22
Tableau 7 : Pente transversale et devers courbe	23
Tableau 8 : Classe de trafic exprimée en nombre cumulé d'un essieu équivalent.	26
Tableau 9 : Classe de portance du sol rencontré en pays tropicaux.....	26
Tableau 10 : Structure de chaussée proposée par le bureau d'étude.....	27
Tableau 11 : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.	27
Tableau 12 : Variante 1.....	28
Tableau 13 : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.	28
Tableau 14 : Variante 2.....	29
Tableau 15 : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.	29
Tableau 16 : Récapitulatif des résultats.	30
Tableau 17 : Etude financière variante 1.	31
Tableau 18 : Etude financière variante 2.	32
Tableau 19 : Le tableau ci-dessous présente l'analyse comparative des variantes étudiées... 33	
Tableau 20 : caractéristiques des bassins versants.....	35
Tableau 21 : Coefficient de ruissellement en fonction de la nature du bassin versant	38
Tableau 22 : calcul des débits associés.	40
Tableau 23 : valeur du coefficient de Strickler en fonction de la nature du matériau	41
Tableau 24 : Section des caniveaux.	45
Tableau 25 : Sections des dalots transversaux.....	46
Tableau 26 : Sections des dalots longitudinaux gauche.....	46
Tableau 27 : Sections des dalots longitudinaux droit.	47
Tableau 28 : Charges appliquée à chaque partie du caniveau.	48
Tableau 29 : Sollicitations maximales.	49
Tableau 30 : Récapitulatif des sections d'acier du caniveau 200 X 190 sur 1 ml.....	49
Tableau 31 : Récapitulatif du pré-dimensionnement du dalot.	51
Tableau 32 : Charge permanentes appliqué au dalot.	52
Tableau 33 : Récapitulatif des surcharges routières et charges sur le remblai.	53
Tableau 34 : Sollicitations et Effort appliqués sur le dalot.	54
Tableau 35 : Récapitulatif des sections d'acier du dalot 4 X 300 X 180 sur 1 ml.....	55
Tableau 36 : Illustration des différents types de marquage au sol.....	57
Tableau 37 : Composante du projet.	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique du projet.	11
Figure 2 : Projet d'aménagement du périphérique.	13
Figure 3 : Situations du caniveau et du revêtement	14
Figure 4 : Photos des côtés de la route.	14
Figure 5 : Délimitation des bassins versants.	34
Figure 6 : Schéma de principe d'association.....	39
Figure 7 : schéma de principe caniveau.	47
Figure 8 : Classification des ponts.	51
Figure 9 : Modélisation du dalot.	51
Figure 10 : charge appliquée au dalot.	52
Figure 11: Schéma statique de l'ouvrage.	53
Figure 12 : Panneaux de signalisation verticale	56
Figure 13 : Feux tricolores	58

INTRODUCTION

La construction routière constitue aujourd'hui une des priorités de la politique d'ajustement structurel visant à répondre à la demande croissante de la mobilité des personnes, de transport et fourniture de quantités importantes de marchandises à travers l'ensemble du pays. Le gouvernement Burkinabé sur une perspective de long terme a mis en place la « Stratégie de Développement du Secteur des Transports au Burkina Faso 2011-2025 ». Celle-ci définit les axes stratégiques du sous-secteur du transport routier interurbain et international comme suit :

- ❖ Développer et renforcer le réseau routier
- ❖ Améliorer les conditions de transit sur les corridors internationaux
- ❖ Renforcer la gestion du patrimoine routier
- ❖ Renforcer la compétitivité des services de transport
- ❖ Consolider l'intégration régionale

Notre projet s'articule autour de ces axes stratégiques ci-haut cités. Elle a pour objet les axes du réseau urbain de Ouagadougou et vise l'amélioration des routes qui font partie du corridor de croissance de l'Afrique de l'ouest, objet de l'aide de la JICA pour sa réalisation. L'entreprise japonaise DAI NIPPON CONSTRUCTION a été attributaire l'exécution du projet. Celle-ci a établi un partenariat (du point de vue personnel, matériel, matériaux, organisationnel, etc.) avec SOGEA-SATOM BURKINA FASO, une entreprise compétente installée sur le territoire depuis des décennies. Le contrôle des travaux est assuré par la société japonaise INGEROSEC.

Le projet routier a une longueur de 6,970 Km, allant de l'échangeur de l'Est PK début au rond-point avant l'échangeur de Ouaga 2000 PK fin.

Notre étude dont le thème est « *études en phase projet et procédures de mise en œuvre des couches d'assise : cas du projet d'amélioration de la rocade sud-est du boulevard des Tansoba à Ouagadougou au Burkina Faso* »

Consiste à vérifier le dimensionnement de la structure de chaussée, dimensionner les différents ouvrages hydrauliques dans les règles de l'art et décrire le processus de mise en œuvre des différentes couches d'assise.

Nos objectifs spécifiques visent à :

-  Vérifier le dimensionnement de la structure de chaussée
-  Dimensionner les ouvrages d'assainissement
-  Mise en œuvre du processus d'exécution des couches d'assise

Le présent mémoire est structuré comme suit :

-  Présentation de la structure d'accueil et du projet
-  Etude technique
-  Procédure de mise en œuvre des couches d'assise
-  Etude d'impact environnemental et social

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

I.1. Présentation de la structure d'accueil

L'entreprise SOGEA-SATOM est l'une des principales composantes internationales du groupe français connu sous le nom de VINCI Construction. Ce groupe s'est implanté dans 116 pays où il intervient dans le domaine de la construction des infrastructures (routes, barrages, châteaux d'eau, etc.).

I.1.1. Historique

Filiale africaine du groupe Français VINCI CONSTRUCTION, SOGEA-SATOM est un acteur majeur du BTP en Afrique, présent dans plus de vingt (20) pays à travers son réseau de filiale depuis près de 90 ans (Cameroun, Tchad, Niger, Burkina-Faso, Maroc, Bénin, etc.).

Opérateur stable et permanent en Afrique, SOGEA-SATOM a commencé son aventure dès les années 1930, au Maroc, avec l'ouverture de l'usine Sidi Bouknadel et la fourniture des premiers conduits d'adduction d'eau de Rabat. Puis, elle se poursuit en plein cœur du continent africain en 1948, lorsqu'elle s'implante au Gabon, puis en 1951, avec la signature de ses premiers contrats de travaux routiers au Niger et au Tchad. Aujourd'hui SOGEA SATOM Burkina est comme le chef de file des entreprises du BTP au Burkina Faso suite à l'immensité des projets que le groupe a déjà eu à réaliser, notamment en ce qui concerne les travaux routiers et d'ouvrage d'art.

Parmi les clefs du succès et de la force de SOGEA-SATOM, il y a :

- ✓ L'ancienneté et la solidité de ses liens administratifs avec l'Afrique ;
- ✓ La capacité de disposer de moyens humains et matériels adéquats ;
- ✓ Le respect des normes techniques et des règles de sécurité ;
- ✓ La bonne organisation et la qualité observée lors de l'exécution des travaux ;
- ✓ La prise en compte du volet environnemental et social dans chaque projet.

I.1.2. Domaines d'activité

Routes et terrassements

En plaine ou en montagne, à travers les déserts ou la forêt équatoriale, des milliers de véhicules circulent chaque jour sur des routes réalisées par la SATOM. SOGEA-SATOM a construit plus de dix mille kilomètres de routes bitumées et réhabilité environ cinq mille kilomètres de voies défoncées ou ravinées par les pluies. Ses interventions couvrent l'ensemble des travaux : étude

de tracé, reconnaissance géotechnique, exploitation des carrières, terrassement, assainissement, ouvrages d'art, couches de chaussée, revêtement, signalisation.

Génie civil

En génie civil, les équipes de SOGEA-SATOM s'adaptent aux demandes des pays africains, quels que soient leurs besoins, leur programme de développement ou leur situation géographique. En collaboration éventuelle avec les sous-traitants locaux, les équipes de génie civil de SOGEA-SATOM participent à la conception, au pilotage et à la réalisation :

- ✓ D'infrastructures hydrauliques (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration et de traitement) ;
- ✓ D'infrastructures aéroportuaires (aérogares, tours de contrôle, pistes, etc.).
- ✓ Les ports en eau profonde ;
- ✓ Les ponts, passages supérieurs ou inférieurs et viaducs ;
- ✓ Les barrages de régulation ou liés à la production d'électricité ;
- ✓ Les centrales thermiques notamment celle de Kotu (en Gambie) et celle de Tombo 3 (en Guinée).

Hydraulique et assainissement

L'expertise en travaux hydrauliques de SOGEA-SATOM permet d'assurer l'accès à l'eau et à l'assainissement aux populations sur tous les territoires. Il y'a des dimensionnements, la réalisation et la rénovation de prises d'eau en lac ou barrage, la construction de réservoir de stockage, de stations de traitement d'eau potable et usées, fourniture du matériel pour la maintenance des installations de pompage, de traitement et d'épuration etc. La certification ISO 9001/2008 du service Hydraulique de SOGEA-SATOM garantit l'emploi de procédés basés sur une technologie de pointe.

Bâtiment

L'Afrique poursuit le développement de ses infrastructures urbaines. Ici et là, SOGEA-SATOM réalise des édifices tels que les hôpitaux, hôtels, lycées et collèges, logements, bureaux, marchés ou les centres culturels. Ainsi, SOGEA-SATOM intervient dans la réalisation de plusieurs types de bâtiment. Ces bâtiments ont dans certains cas, des conceptions simples pour servir et durer avec un minimum de maintenance dans les zones éloignées des agglomérations urbaines. Ils peuvent également constituer des structures sophistiquées, en mettant en œuvre des matériaux et des techniques plus modernes comme dans le cas des quatre sièges nationaux de la BCEAO

réalisés au Togo, au Niger, au Bénin et au Burkina Faso et aussi comme la construction du nouveau siège de la BOA (Bank Of Africa) au Burkina Faso à Ouagadougou.

I.1.3. Responsabilité

SOGEA-SATOM donne beaucoup de priorité à la prévention. Afin de préserver l'intégrité physique de ses collaborateurs, des sous-traitants et des riverains. L'objectif visé est le zéro accident, et pour réussir cet impératif de prévention, toute personne étant sur un chantier doit respecter les règles d'or établies qui sont des bonnes conduites à tenir sur un chantier comme le port obligatoire des EPI (Equipement de Protection Individuel), ne pas travailler en état d'ivresse ainsi qu'une vigilance permanente. Une formation « manager la sécurité » est suivie par tous les managers de l'entreprise et même par ceux des sous-traitants.

I.1. 4. Parc machine

SOGEA-SATOM dispose d'un parc de près de 8500 machines sur le continent africain. L'entreprise effectue la maintenance de l'ensemble de son parc avec des équipes locales dans ses propres ateliers, qui sont formées en permanence à l'utilisation des outillages adaptés à ces opérations.

I.1.5. Le respect de l'environnement

L'entreprise mène, dès la conception de ses projets, une démarche rigoureuse pour réduire au maximum l'impact de son activité sur l'environnement et les ressources naturelles. Pour protéger la qualité de l'air, une optimisation énergétique des engins de chantier est en train d'être réalisée et les chauffeurs sont formés à l'éco-conduite.

I.2. Présentation du projet

I.2.1. Localisation du Projet

Dans le cadre de sa politique de développement à travers la promotion des infrastructures routières, le gouvernement Burkinabé a reçu un financement de la république du Japon pour le **projet d'amélioration de la rocade sud-est du boulevard des Tansoba long de 6,970 Km.**

L'emprise de la route est de 60 m.

Les coordonnées géographiques des points kilométriques sont renseignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : coordonnées géographiques.

Désignation	X	Y
PK 0+000	666382,51	1370129,37
PK 6+970	663240,02	1364171,35

La figure ci-dessous nous renseigne sur la localisation géographique du projet du projet d'amélioration de la rocade sud-est.

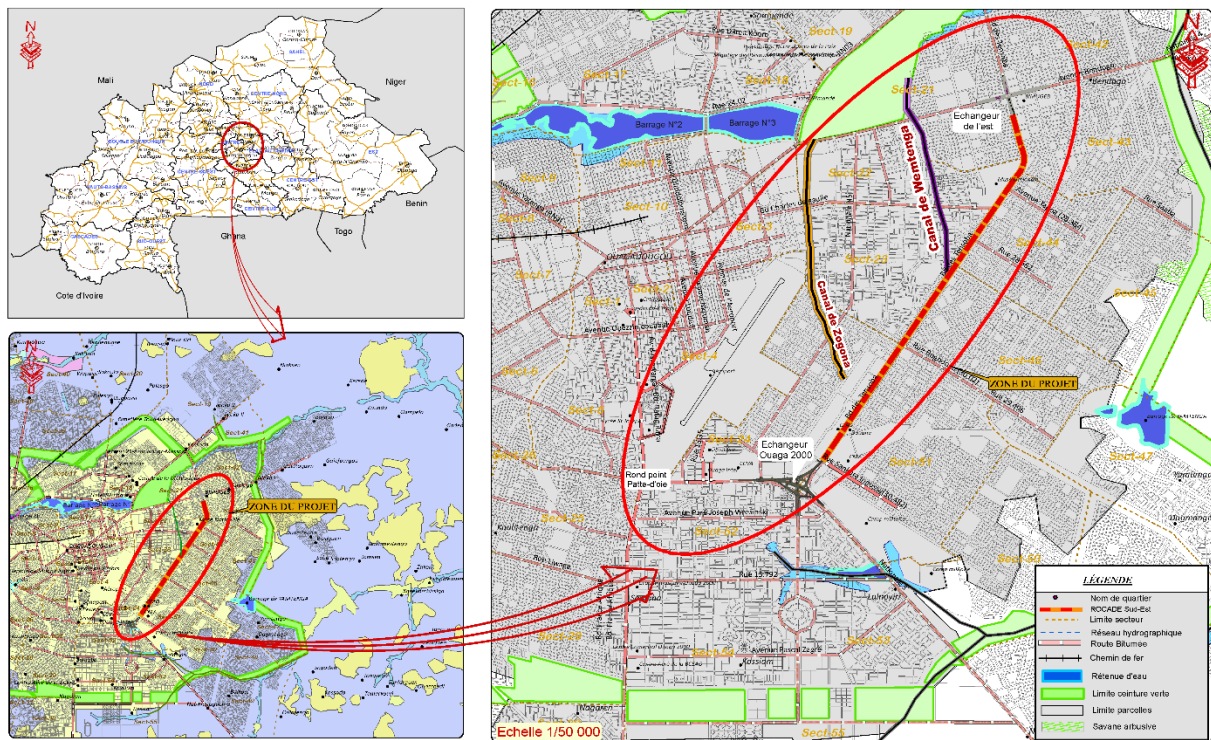


Figure 1 : Localisation géographique du projet (Mission d'étude de la JICA, 2017).

I.2.2. Les différents acteurs du projet

- ✚ **Maître d'Ouvrage** : Ministère des Infrastructures du Burkina Faso
- ✚ **Maître d'œuvre** : Direction Générale des Infrastructure Routière (DGIR)
- ✚ **Bénéficiaire** : la population Burkinabé
- ✚ **L'étude Technique** : INGEROSEC CORPORATION JAPON
- ✚ **L'entreprise chargée des travaux** : DAI NIPPON CONSTRUCTION
- ✚ **Sous-traitant** : SOGEA-SATOM BURKINA FASO
- ✚ **Le Contrôle Technique représentant le maître d'œuvre** : INGEROSEC CORPORATION JAPON
- ✚ **Durée** : 36 mois
- ✚ **Année de début du projet** : 2019

I.2.3. Contexte et justification

Ces dernières années le gouvernement burkinabé a enregistré un accroissement rapide de son trafic routier entraînant une congestion et une dégradation rapide de son réseau routier. Voulant offrir un meilleur cadre de vie aux citoyens, le gouvernement burkinabé a mis au centre de ses priorités, l'aménagement, le bitumage et l'assainissement des voiries. Pour ce faire, il avait été créé le Programme d'ajustement Sectoriel des Transports (PASEC-T) élaboré comme plan de développement du secteur routier de 1993 à 2000 relayé par la suite par le PST-2 sur une perspective à long terme « Stratégie de Développement du Secteur des Transports au Burkina Faso 2011-2025 » avec comme axes stratégique de :

- ✚ Développer et renforcer le réseau routier
- ✚ Améliorer les conditions de transit sur les corridors internationaux
- ✚ Renforcer la gestion du patrimoine routier
- ✚ Renforcer la compétitivité des services de transport
- ✚ Consolider l'intégration régionale

Ainsi grâce au financement non remboursable de la république du Japon, le projet d'amélioration de la Rocade Sud-Est du Boulevard des Tansoba été lancé pour répondre aux besoins de renforcement des infrastructures. Ce projet vise à :

- ✚ Elargissement de la chaussée et création d'une nouvelle voie pour les deux roues
- ✚ Construction de nouveaux trottoirs
- ✚ Ouvrages de drainage
- ✚ Arrêt de bus
- ✚ Poteaux éclairage public
- ✚ Feux de signalisation
- ✚ Passerelles piétonnières
- ✚ Dos-d'âne
- ✚ Contre allées (à la charge du gouvernement Burkinabè)

La figure ci-dessous nous renseigne sur le projet d'aménagement du périphérique de Ouagadougou.

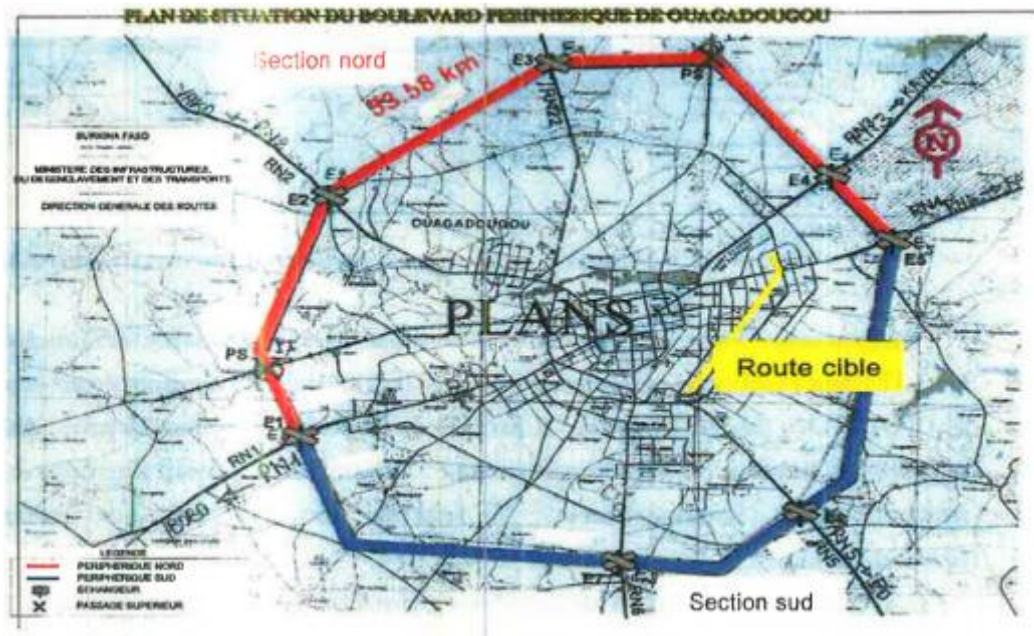


Figure 2 : Projet d'aménagement du périphérique(Mission d'étude de la JICA, 2017).

I.2.4. Etat des lieux

Avant la mise en place du projet, la chaussée avait une largeur de 16m composée de 2x2 voies. Chaque sens de circulation avait une largeur totale de 6,8 à 7 m. Les deux sens de circulation étaient séparés par un terre-plein central de 2,3 m. L'emprise totale de la route était de 60m. Entre les extrémités de la chaussée et les limites de l'emprise (distance d'environ 22 m sur chaque côté) s'étaient installés de petits commerces qui par endroits empiétaient de trop l'emprise. Une bonne partie des commerçants exerçait leurs activités avec autorisation. Entre l'extrémité de la chaussée et les limites de l'emprise, des caniveaux de drainage étaient mis en place par endroits.

La figure ci-dessous nous montre l'état des caniveaux et du revêtement avant le début du projet.



Figure 3: Situations du caniveau et du revêtement (Mission d'étude de la JICA, 2017).

La figure ci-dessous nous renseigne sur les limites entre terrain publics et privé.



Figure 4 : Photos des côtés de la route (la limite entre les terrains publics et privé, 60m de largeur est indiquer par une flèche en rouge diriger vers le bas) (Mission d'étude de la JICA, 2017).

I.2.5. Objectif général

L'objectif principal de cette étude est la compréhension et l'analyse des études en phase projet d'un projet routier.

I.3. Données de base

Nous avons eu de l'entreprise d'exécution les données provenant d'études préliminaires telles que celles du trafic, topographiques et géotechniques.

- + Durée de vie : 15 ans
- + Essieu de référence : 13 tonnes
- + Trafic moyen journalier annuel : 661 PL/jour
- + Taux de croissance du trafic : 6,8 %
- + Coefficient d'agressivité moyen (CAM) : 1,3
- + Portance de la plateforme de terrassement : 30
- + Fond topographique.
- + Les résultats des essais d'identification sur les matériaux du projet ;
- + Les coupes géotechniques de la chaussée existante ;

I.4. Méthodologie de conception

Pour la réalisation de nos objectifs spécifiques, une méthodologie bien structurée doit être appliquée pour l'atteinte de résultats scientifiquement acceptables et fiables. Afin de réaliser une chaussée et des ouvrages d'assainissement de très bonne qualité, de nombreuses études doivent être menées que nous citerons et définirons ci-dessous.

I.4.1. Etude technique

a. Etude du tracé

La conception géométrique de la route consiste à faire une proposition de tracé géométrique (le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers) en se basant sur le cahier des clauses techniques particulières (par exemple la distance d'arrêt, les devers, la visibilité en angle saillant, rentrant) et le fond topographique.

b. Etude géotechnique

La géotechnique est la science qui étudie les sols et les ouvrages en sol aux points de leur résistance mécanique. Il permet de connaître les caractéristiques mécaniques et physico-

chimiques du sol (sol de plateforme, sol de fondation et la couche de base).(Paul Raul, J & Lacroix, J. L, n.d.)

Les études géotechniques permettent de choisir les matériaux adéquats et d'avoir les données nécessaires pour le dimensionnement des différents ouvrages (contrainte du sol, profondeur du bon sol, etc.), et vérifier si ces ouvrages ont été bien exécutés (conformément aux caractéristiques prédéfinies).

✚ **Essais aux laboratoires** : Les résultats des essais aux laboratoires permettent d'apprécier les caractéristiques des différentes couches de sol et leurs profondeurs, les caractéristiques des matériaux que l'on utilisera pour la réalisation des travaux.

✚ **Essais In-situ** : ce sont des essais qui se font directement sur le terrain. La majeure partie consiste à des essais de réception des travaux (essais visant à déterminer des paramètres de conformité des travaux).

c. Etude du trafic

L'étude de trafic d'un projet routier a pour objet de connaître les différents flux de véhicules empruntant le réseau routier dans lequel s'insère le projet, par tronçon tant en nature qu'en quantité, à un instant donné puis à une période donnée, en appliquant l'évolution prévisible de l'activité humaine impactant le réseau routier en question.

De l'Office National de Sécurité Routière (ONASER), nous avons obtenu des données provenant des environs de la frontière Burkina-Togo (Bittou), concernant des véhicules dont la probabilité d'utiliser la route cible est très élevée, de la période du 1er février au 30 mars 2016.

d. Vérification du dimensionnement de la première structure de chaussée proposée par le bureau d'étude

Elle consistera à faire des calculs de vérification de la tenue de la structure exécutée dans le cadre du projet. Cette vérification se basera sur la structure réelle mise en œuvre, les données issues de l'étude d'avant-projet détaillé (trafic poids lourds cumulé, durée de vie, etc.) et celles issues de l'étude en phase projet menée par SOGEA SATOM (portance de la plateforme, etc.).

e. Proposition de variantes et dimensionnement de la structure de chaussée

La proposition de dimensionnement, consistera à définir des variantes de structure de chaussée sur la base des données du projet et des guides de dimensionnement normalisés (les matériaux

et leurs épaisseurs de mise en œuvre) et de vérifier leur tenue vis-à-vis du trafic et de la durée de vie. Cette démarche pourra faire l'objet d'une étude comparative qualité/prix dans un but d'optimisation.

f. Dimensionnement des ouvrages d'assainissement

Il s'agit d'abord de déterminer le débit de l'eau transitant au près ou travers la route (étude hydrologique) ; puis, à partir des études hydrologiques, de faire l'étude hydraulique (définition du type d'ouvrage permettant d'évacuer convenablement les eaux de surface) et enfin faire le dimensionnement structural (déterminer le ferrailage) pour les différentes sections hydrauliques déterminées dans l'étude hydraulique.

I.4.2. Etude d'impact environnemental et social

Dans l'étude d'impact environnemental et social, nous présenterons les études qui ont été réalisées à savoir les impacts négatifs, positifs ainsi que les mesures d'atténuations du projet sur la zone d'étude.

I.5. Matériel utilisé

Il s'agit ici des supports numériques ou physiques et les logiciels qui nous ont permis de rédiger ce présent document.

I.5.1. Support physique ou numérique

Il s'agit essentiellement :

-  Support de cours reçu lors de notre formation ;
-  Certaines normes internationales en vigueur dans le génie civil ;
-  Des rapports de l'étude géotechnique, du trafic et topographique ;
-  Certains rapports de fin d'étude ;

I.5.2. Logiciels

Pour le traitement des données, nous avons utilisé plusieurs logiciels :

-  Dimensionnement chaussée : Microsoft Excel
-  Vérification du dimensionnement de la chaussée : ALIZE-LCPC
-  Traitement de texte et image : Microsoft Word, Paint

- ✚ Lecteur de fichier PDF : Microsoft Edge
- ✚ Conception géométrique : Autopiste
- ✚ Dimensionnement de dalot : Microsoft Excel
- ✚ Délimitation et caractérisation des bassins versant : Global Mapper, Microsoft Excel

CHAPITRE II : ETUDE TECHNIQUE

Introduction

Dans cette partie notre mémoire nous nous concentrerons sur l'étude technique. Elle consistera à faire la vérification de la structure de chaussée proposé, faire une proposition de variante, faire une conception et un dimensionnement de la chaussée ainsi que des ouvrages d'assainissement pluvial.

II.1. Etude du tracé

L'étude du tracé est une étape incontournable dans la réalisation d'un projet routier. Des spécifications ont été définies pour la conception de la route au Burkina Faso que l'on peut trouver en annexe 2.

II.1.1. Contenu de l'étude

L'étude du tracé consiste à se baser sur des normes et le cahier des charges pour concevoir la vue en plan, le profil en travers type et le profil en long de la route. La conception a été faite avec Autopiste, un logiciel de conception routière.

II.1.2. Norme géométrique

Pour les projets de construction routière, plusieurs documents techniques guident la conception et le choix des différentes caractéristiques géométriques du projet. Dans le tableau ci-dessous figurent quelques documents techniques.

Tableau 2 : Documents techniques de conception géométrique routière (Source : ICTAVRU 2009, ARP 1994, ICTAAL 2000, ACI 1998).

Document technique	Domaine d'application
ARP	Conception des routes principales
ICTAAL	Projet d'autoroute interurbaine
ICTAVRU	Projet routier (ou autoroutier) en milieu urbain
ACI	Carrefours interurbains sur les routes principales

✚ ARP. Les routes principales sont des routes nationales ou départementales (elles supportent en général un trafic journalier moyen supérieur à 1500 véhicules).(SETRA, 1994)

✚ Une autoroute est une route à chaussée séparée comportant chacune au moins deux voies.

✚ Le terme interurbain désigne la communication d'une ville à une autre ville.

Notre projet est une route principale. De ce fait, dans le cadre de notre étude, nous utiliserons la norme française ARP, qui entre dans notre contexte.

II.1.3. Définition de la géométrie de la chaussée

Le tracé de la route doit offrir un confort, une sécurité et une rapidité désirable tout en restant dans l'enveloppe raisonnable. La géométrie d'un projet est caractérisée par :

- ✚ Sa vue en plan
- ✚ Son profil en travers
- ✚ Son profil en long

Notre étude s'est focalisée sur le dimensionnement d'une voie urbaine de type « R » (route multifonctionnelle).

La vitesse de référence dans un projet d'aménagement ou de construction d'une route, est le paramètre qui permet de définir les caractéristiques d'aménagement des points particuliers d'une section de route, de telle sorte que la sécurité du véhicule isolée soit assurée.

La catégorie de vitesse que nous avons retenue est R80 (généralement bien adaptée lorsque les contraintes de relief sont faibles.).

Pour l'aménagement de carrefours nous avons conçu des carrefours plans (en croix ou en té) en référence à la norme ARP, comme le tableau ci-dessous le montre.

Tableau 3 : Aménagements adaptés et les conditions générales de leur emploi(SETRA, 1994).

Aménagement possibles	Conditions générales d'emploi
Carrefour giratoire Carrefour plan (croix, té) Cas particulier : demi-carrefour (1)	Trafic secondaire relativement important, ou problème de sécurité Autres cas : à exclure sur les routes à 2x2 voies et plus Routes à 2x2 voies

Tracée en plan

Elle est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée, l'axe étant formé d'une succession de segments droites raccordés entre eux par des courbes qui peuvent être soit des cercles, soit des clothoïdes, soit une combinaison des deux (02). La vitesse de référence adoptée pour notre projet est de 80 Km/h selon la norme du Burkina Faso.

Les valeurs minimales de rayon permettant d'atteindre principalement les objectifs de confort et de sécurité sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Paramètres géométriques du tracé en plan(SETRA, 1994)

Désignation du paramètre			Symbole et unité	Catégorie de route				
				4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.
Vitesse de référence			V_r (km/h)	40	60	80	100	120
Tracé en plan	Devers maximal		$\delta M(\%)$	7	7	7	7	7
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers δM)	RH_m	40	120	240	425	665
		Minimal normal (dévers)	RH_n ($\delta\%$)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
		Au dévers minimal	$RH' (2,5\%)$	250	450	650	900	1500
		Non déversé	RH_{nd}	400	600	900	1300	1800

Les rayons utilisés pour la conception de notre route sont des rayons, dont les valeurs limites traduisent principalement des objectifs de confort et de sécurité.

Profil en long

Il est composé d'éléments rectilignes caractérisés par leur déclivité, et des raccordements paraboliques caractérisés par leur rayon. Ses paramètres géométriques doivent respecter les caractéristiques limites données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Paramètres géométriques du profil en long(SETRA, 1994).

Désignation du paramètre			Symbole et unité	Catégorie de route				
				4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.
Vitesse de référence			V_r (km/h)	40	60	80	100	120
Profil en long	Déclivité maximal en rampe		$\pi M(\%)$	8	7	6	5	4
	Rayon en angle saillant RV(m)	Minimal absolu	RV_m	500	1500	3000	6000	12000
		Minimal normal	RH_n	1500	3000	6000	12000	12000
	Rayon en angle rentrant RV'(m)	Minimal absolu	RV_m'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal	RV_n'	1500	2200	3000	4200	6000

Profil en travers type

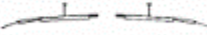
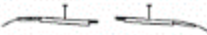
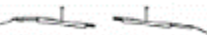
Il peut être défini comme étant la coupe traversable de la chaussée et de ses dépendances. Il fait ressortir l'emprise, l'assiette de la route ainsi que les différentes déclivités. Elle permet de définir le plan général et de calculer les volumes de déblai et de remblai nécessaires à la réalisation du projet. Le profil en travers du projet montre la constitution de la chaussée.

Tableau 6 : dimensionnement de la bande dérasée(SETRA, 1994).

Types de route	Dimensionnement et traitement de la bande dérasée (de droite dans le cas d'une route à 2 x 2 voies)	
	Route neuve	Aménagement sur place
Type R, 2 et 3 voies	Bande dérasée de 2 m (minimum 1,75 m) revêtue, ou stabilisée ; dans ce dernier cas un entretien permanent permet d'éviter la végétalisation et de maintenir la largeur effective (1).	Mêmes dispositions à terme. Prévoir à court terme une bande dérasée, de 1,75 m en général, au moins stabilisée (2), avec les précautions énoncées ci-contre.
Type R, 2 x 2 voies	Bande dérasée de 2 m revêtue, ou stabilisée avec les mêmes réserves que ci-dessus. Des dispositions différentes peuvent être retenues lorsque le site est en voie de devenir suburbain (3).	Mêmes dispositions à terme. Prévoir à court terme une bande dérasée de 2 m, au moins stabilisée (2). En cas de travaux importants (passage de 2 à 2 x 2 voies) traiter l'accotement de façon complète, selon les dispositions définitives.
Type T, 2 et 3 voies	Bande dérasée de 2,50 m (minimum 2 m) revêtue (1).	Mêmes dispositions à terme. Prévoir à court terme une bande dérasée, en général de 2 à 2,50 m, au moins stabilisée (2).
Routes en relief difficile	Un traitement beaucoup plus sommaire de l'accotement est possible selon les contraintes rencontrées (voir chapitre 6).	

La pente transversale et le devers a été choisie en fonction du tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Pente transversale et devers courbe(SETRA, 1994)

Pentes transversales	Pente(s) de la chaussée et de la surlargeur structurelle	Accotements		Bandes dérasées de gauche éventuelles
		Bande(s) dérasée(s) (1)	Bermes	
En alignement et courbe non déversée	2,5 % 	4 % (stabilisée) 2,5 à 4 % (revêtue) 	8 %	2,5 % 
En courbe avec dévers < à 4 %	P% < 4 % 	4 % (stabilisée) 2,5 à 4 % (revêtue) (2) 	8 %	P% 
En courbe avec dévers > à 4 %				
- Côté intérieur		P% 	8 %	P% 
- Côté extérieur	P% > 4 % 	1,5 % (revêtue) 2,5 % (stabilisée) vers l'extérieur (2) 	8 %	P% 

II.1.4. Résultat de l'étude

Trace en plan

La vue en plan est présentée ci-dessous en annexe 12.

Profil en long

Le profil en long est présenté ci-dessous en annexe 12.

Profil en travers type

Le profil en travers est présenté ci-dessous en annexe 13.

II.2. Etude géotechnique

L'étude géotechnique concernait les sols de terrain. Elle sert à déterminer les caractéristiques mécaniques des terrains qui vont être amenés à supporter une construction. Elle permet également d'appréhender les risques naturels susceptibles d'impacter le projet et d'apprécier leurs aléas dans la zone où s'établira la construction. Une étude géotechnique permet, entre autres, de déterminer et d'optimiser les principes de fondations qui seront utilisés pour soutenir

la future construction.

II.2.1. Contenu de l'étude

Les essais en laboratoire concernent entre autres des essais d'identification des matériaux naturels (l'analyse granulométrique, la détermination des limites d'Atterberg, le Proctor Modifié, le CBR après 96 heures d'immersion, etc.), bitumineux (Essai Marshall, etc.) et de contrôle de qualité de mise en œuvre (mesure des épaisseurs et de compacité, détermination de la teneur en bitume, etc.).

Les essais In-situ concernent entre autres de réceptions de travaux non destructifs (l'essai de déflection, densité, essai de plaque, etc.).

II.2.2. Récapitulatif des résultats et analyse de l'étude

Dans cette partie sont présentées les études qui ont été faites en fonction des différents PK de tous les tronçons de la route (PK 0+000 au PK 6+970). Le récapitulatif des résultats et analyses de l'étude est joint en annexe1.

II.3. Vérification du dimensionnement de la structure de chaussée et proposition de variante :

La vérification du dimensionnement de la structure de chaussée mise en œuvre (premier plan d'exécution) et la proposition de variantes de structure se feront en s'appuyant sur divers documents dont les principaux sont :

Guide technique, Conception et dimensionnement des structures de chaussée du SETRA-LCPC de décembre 1994.

Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP de 1984.

II.3.1. Etude du trafic

Données

-  Durée de vie : 15 ans
-  Essieu de référence : 13 tonnes
-  Trafic moyen journalier annuel : 661 PL/jour
-  Taux de croissance du trafic : 6,8 %
-  Coefficient d'agressivité moyen (CAM) : 1,3
-  Portance de la plateforme de terrassement : 30

Calcul du nombre d'essieu équivalent NE :

$$NE = N * CAM$$

$$N = 365 * TMJA * C$$

N : Trafic moyen journalier annuel

CAM : Coefficient d'agressivité moyen

Dans notre cas, nous avons utilisé un cas de croissance exponentiel.

Calcul du facteur de cumul :

$$C = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

i: Taux de croissance du trafic

C: facteur de cumul

AN :

$$C = \frac{(1 + 0,068)^{15} - 1}{0,068}$$

$$C = 24,745$$

Calcul de NE

AN :

$$NE = 365 * 661 * 24,745 * 1,3$$

$$NE = 7,76 \text{ } 10^6 \text{ PL}$$

Détermination de la classe de trafic :

Le tableau ci-dessous(CEBTP, 1984) nous renseigne sur les classe de trafic exprimée en nombre cumulé d'un essieu équivalent.

Tableau 8 : Classe de trafic exprimée en nombre cumulé d'un essieu équivalent (Source : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux).

Essieu équivalent (13tonnes)
$T_1 < 5.10^5$
$5.10^5 < T_2 < 1,5.10^6$
$1,5.10^6 < T_3 < 4.10^6$
$4.10^6 < T_4 < 10^7$
$10^7 < T_5 < 2.10^7$

D'après le tableau ci-dessus du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP, notre trafic correspond à la **classe T4** ; Ce qui sera utilisé pour le calcul de l'épaisseur de la chaussée.

Classe de portance du sol support :

Nous avons un CBR minimum de 30 de plateforme⁷.

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la classe de portance du sol rencontré en pays tropicaux.(CEBTP, 1984)

Tableau 9 : Classe de portance du sol rencontré en pays tropicaux (Source : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux).

Portance	CBR de la plateforme
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

D'après le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP, et de notre indice de portance CBR, nous considérerons la classe de **portance S5**.

II.3.2. Vérification du dimensionnement de la première structure de chaussée proposée mise en œuvre

De notre étude de trafic nous avons une classe de trafic T4 et une classe de portance S5 de la plateforme.

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la structure de chaussée qui a été proposé par le bureau d'étude.

Tableau 10 : Structure de chaussée proposée par le bureau d'étude.

COUCHES	Matériau	Epaisseur (cm)
Revêtement	BBME	5
Couche de liaison	BBME	5
Base	GNT 0/31,5	20
Fondation	GNT 0/40	25

NB : toutes les structures sont collées.

Ci-dessous vous pouvez voir le récapitulatif des efforts engendrés sur la structure et en annexe le détail des calculs.

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.

Tableau 11 : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.

COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (μdef)	Déformation calculé (μdef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	0,8	OK
Couche de liaison	BBME	5 cm	3190		-257,8	NON
Base	GNT 0/31,5	20 cm	400	375,80	357,4	OK
Fondation	GNT 0/40	25 cm	200		303,0	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		398,2	NON

Les résultats des calculs de vérification consignés dans le tableau ci-haut nous renseignent que les déformations à la traction observées au niveau de la couche de roulement en BBME sont conformes aux limites admissibles. Ceci n'est pas le cas de la couche de liaison qui enregistre des déformations à la traction élevée. Aussi, les déformations verticales observées sur les

couches de base et de fondation en GNT sont conformes aux limites admissibles. Ceci n'est pas le cas du sol support.

Le trafic pourrait donc engendrer des déformations extrêmement élevées sur la couche de liaison et le sol support occasionnant ainsi des dommages significatifs sur la chaussée et impactant de ce fait négativement sa durée de vie.

De par ces résultats, nous avons entrepris des calculs de dimensionnement visant à proposer de nouvelles variantes susceptibles d'assurer la tenue de la route. Deux variantes sont issues de nos calculs.

II.3.3. Proposition de deux variantes et vérification de dimensionnement de leurs structures de chaussée

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la structure de chaussée de notre variante 1.

Tableau 12 : Variante 1.

COUCHES	Variante 1	
	Matériau	Epaisseur (cm)
Revêtement	BBME	5
Couche de liaison	GB	14
Base	GNT 0/31,5	20
Fondation	GNT 0/40	25

Ci-dessous nous pouvons voir le récapitulatif des efforts engendrés sur la structure et en annexe le détail des calculs.

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.

Tableau 13 : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.

COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (μdef)	Déformation calculé (μdef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	33,6	OK
Couche de liaison	GB	14 cm	3190	152,8	152,4	OK
Base	GNT	20 cm	400	375,80	223,0	OK
Fondation	GNT	25 cm	200		200,8	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		263,4	OK

La vérification de cette structure nous donne des résultats admissibles en termes de contraintes et déformations.

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur la structure de chaussée de notre variante 2.

Tableau 14 : Variante 2.

COUCHES	Matériau	Epaisseur (cm)
Revêtement	BB	7
Base	SC3	30
Fondation		

Ci-dessous nous pouvons voir le récapitulatif des efforts engendrés sur la structure et en annexe le détail des calculs.

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.

Tableau 15 : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée.

COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm	Déformation calculé	Vérification
Roulement	BB	7 cm	1300	123 μdef	18,3 μdef	OK
Base	SC3	30 cm	17200	0,707 MPa	0,688 MPa	OK
Fondation						
Sol support	Sol support	Infini	120	375,8 μdef	109,7 μdef	OK

La vérification de cette structure nous donne des résultats admissibles en termes de contraintes et déformations.

Tableau 16 : Récapitulatif des résultats.

Structure initial						
COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (udef)	Déformation calculé (udef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	0,8	OK
Couche de liaison	BBME	5 cm	3190		-257,8	NON
Base	GNT 0/31,5	20 cm	400	375,8	357,4	OK
Fondation	GNT 0/40	25 cm	200		303	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		398,2	NON
Variante 1 : proposée						
COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (udef)	Déformation calculé (udef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	33,6	OK
Couche de liaison	GB	14 cm	3190	152,8	152,4	OK
Base	GNT 0/31,5	20 cm	400	375,8	223	OK
Fondation	GNT 0/40	25 cm	200		200,8	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		263,4	OK
Variante 2 : proposée						
COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm	Déformation calculé	Vérification
Roulement	BB	7 cm	1300	123 μdef	18,3 μdef	OK
Base	SC3	30 cm	17200	0,707 MPa	0,688 MPa	OK
Fondation						
Sol support	Sol support	Infini	120	375,8 μdef	109,7 μdef	OK

NB : les différentes couches de structure sont collées.

De ce tableau récapitulatif, nous pouvons retenir que la structure initialement exécutée sur le projet au moment de notre stage présente des insuffisances du point de vue mécanique. Nous avons de ce fait proposé deux variantes de structures de chaussée qui présentent des résultats satisfaisants en termes de tenue sur la durée de vie impartie. Il se fait utile de faire une évaluation financière afin de déterminer l'impact financier que le choix d'une ou l'autre des variantes proposées pourrait occasionner sur le budget du projet.

Etude financière des différentes variantes proposées

Nous proposerons une étude financière de nos deux variantes en prenant comme hypothèse d'un mètre carré d'une structure de chaussée de chacune d'elles. Le poids volumique de nos différents matériaux qui composent la structure de chaussée est :

$$\text{GNT} = 2,645 \text{ t/m}^3$$

$$\text{GB} = 2,424 \text{ t/m}^3$$

$$\text{BBME} = 2,424 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Emulsion bitume} = 1,05 \text{ t/m}^3$$

Le tableau ci-dessous nous donne l'étude financière de notre variante 1.

Tableau 17 : Etude financière variante 1.

VARIANTE 1					
	PU (F CFA)	Unité	Q		PT (F CFA)
I-Approvisionnement					
BBME	48 553	t	0,05	m³	5 884,62
Couche d'accrochage	487	m²	1,00	m²	487,00
GB	42 500	t	0,14	m³	14 648,90
Couche d'accrochage	487	m²	1,00	m²	487,00
Imprégnation	883	m²	1,00	m²	883,00
GNT 0/31,5	12 500	t	0,53	T	17 490,06
GNT 0/40	12 500	t	0,66	T	21 862,58
II-Personnels					
chef équipe	2 700	H	0,20	H	540,00
ouvrier qualifié	520	H	0,20	H	104,00
Manœuvre	490	H	0,20	H	98,00
Manœuvre	490	H	0,20	H	98,00
Signaleur	490	H	0,20	H	98,00
Signaleur	490	H	0,20	H	98,00
III-location matériels					
Niveleuse	34 500	H	0,05	H	1 725,00
Camion-citerne émulsion	10 500	H	0,11	T	1 155,00
Finisseur	42 500	H	0,15	H	6 375,00
Camion benne location	17 000	H	1,66	T	28 154,21
Compresseur d'air	3 600	H	0,08	H	298,80
Compacteur a pneu	10 900	H	0,10	H	1 090,00
Compacteur monocylindre	12 500	H	0,10	H	1 250,00
camion-citerne eau 18 m3	9 500	H	0,10	H	950,00
Chargeur pneu	20 000	H	0,08	H	1 660,00
SOUS TOTAL					105 437,17

Le tableau ci-dessous nous donne l'étude financière de notre variante 2.

Tableau 18 : Etude financière variante 2.

VARIANTE 2					
	PU (F CFA)	Unité	Q		PT (F CFA)
I-Approvisionnement					
BB	48 553	t	0,07	m³	8 238,47
Accrochage	487	m²	1,00	m²	487,00
Imprégnation	883	m²	1,00	m²	883,00
SC 3	22 003	m³	0,30	m³	6 600,90
II-Personnels					
chef équipe	2 700	H	0,15	H	405,00
ouvrier qualifié	520	H	0,15	H	78,00
Manœuvre	490	H	0,15	H	73,50
Manœuvre	490	H	0,15	H	73,50
Signaleur	490	H	0,15	H	73,50
Signaleur	490	H	0,15	H	73,50
III-location matériels					
Niveleuse	34 500	H	0,08	H	2 863,50
Camion-citerne émulsion	10 500	t	0,05	T	525,00
Finisseur	42 500	H	0,08	H	0,00
Camion benne location	17 000	t	0,17	T	2 884,56
Recycleuse	45 320	H	0,08	H	3 761,56
Compacteur a pneu	10 300	H	0,03	H	309,00
Compresseur d'air	3 600	H	0,03	H	108,00
Camion-citerne eau 18 m3	9 500	H	1,00	H	9 500,00
Compacteur monocylindre	24 613	H	0,13	H	3 199,73
Chargeur pneu	20 000	H	0,09	H	1 800,00
SOUS TOTAL					41 937,73

D'après l'étude financière de nos deux variantes ci-dessus, nous constatons que la variante 1 (structure : GNT 0/40 =25 cm, GNT 0/31.5= 20 cm, GB = 14cm, BBME = 5 cm) est plus chère que celle de la variante 2 (structure : SC= 30cm, BB= 7 cm).

Analyse comparative des différentes variantes envisagées

Tableau 19 : Le tableau ci-dessous présente l'analyse comparative des variantes étudiées.

Critères	Variante n°1	Variante n°2	Observations
Délai	++++	+++	Réalisation de la variante 2 plus rapide
Faisabilité	+++	+++	Technique maîtrisée et matériau disponible
Durabilité	++++	++++	Durabilité assurée pour les deux variantes
Entretien	++++	++++	Faible entretien pour les deux
Sécurité des usagers	++++	++++	Sécurité assurée pour les deux variantes
Esthétique	++++	++++	Les deux variantes sont assez esthétiques
Coût	++++	++	La variante 2 a le coût le plus faible
Impact environnemental	+	+	Impact environnemental faible

Très élevé : +++++

Elevé : +++

Moyen : ++

Faible : +

D'après les analyses ci-dessus, nous proposerons la **variante n°2** à l'entreprise.

II.4. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques

II.4.1. Etude hydrologique

L'hydrologie joue un rôle capital dans le domaine de l'ingénierie et des sciences environnementales. Elle concerne aussi bien les mécanismes d'écoulement des eaux dans les systèmes naturels (bassin versant) ou anthropisés (zone industrielles ou urbanisées) que le dimensionnement des ouvrages hydrauliques utiles à l'exploitation et à la gestion des eaux. Cette étude consiste à délimiter les bassins versants de la zone du projet afin de calculer les débits de crue de projet des différents bassins.

Délimitation et caractéristiques des bassins versant

Un bassin versant est une surface qui draine l'ensemble de ses eaux vers un exutoire commun. (A l'Huissier, 1996) Avec le logiciel Global Mapper, du plan de lotissement de la zone et de quelques sorties de terrain (vu que l'on est en zone urbaine, il peut y avoir des obstacles, bâtiment, monument, etc.), nous avons réussi à délimiter 27 bassins versants.

La figure suivante nous montre les différents bassins versant qui ont été délimité.

Tableau 20 : caractéristiques des bassins versants.

BASSINS VERSANTS	SURFACE EQUIVALENTE DU BASSIN VERSANT (km2)	PERIMETRE (KM)	ZMAX (m)	ZMIN (m)	PENTE (%)	LONGUEUR ECOULEMENT (Km)
BV1	0,4115	4,191	307	297	1,4	1,715
BV2	0,03358	0,74102	302	299	1,51	0,17129
BV3	0,123	1,471	306	300	1,4	0,63419
BV4	0,3795	3,191	311	302	1,04	1,585
BV5	0,1119	1,571	309	304	1,32	0,61744
BV6	0,0663	1,351	310	303	1,48	0,58783
BV7	0,2152	3,643	316	303	1,35	1,718
BV8	0,1132	1,48	309	302	1,5	0,6906
BV9	0,705	4,61	318	302	1,22	1,791
BV10	0,0581	1,113	306	302	0,94	0,47175
BV11	0,2603	3,73	318	302	1,25	1,792
BV12	0,3253	3,527	318	302	1,25	1,546
BV13	0,3836	3,608	318	300	1,3	1,654
BV14	0,1819	2,089	310	300	1,34	0,85194
BV15	0,4777	4,186	317	298	1,31	1,713
BV16	0,690	0,376	317	298	1,36	0,147
BV17	0,04078	2,373	311	301	1,7	0,03673
BV18	0,729	6,027	321	310	1,19	2,451
BV19	0,4278	3,666	320	311	1,19	1,838
BV20	0,3701	3,552	321	311	1,15	1,437
BV21	0,3004	2,649	320	313	1,12	1,202
BV22	0,0511	1,489	318	311	0,9	0,5467
BV23	0,02376	0,6384	315	312	1,4	0,25688
BV24	0,02274	0,62847	312	309	1,35	0,23438
BV25	0,1404	1,57	312	308	1,24	0,54266
BV26	0,142	1,692	310	304	1,26	0,69524
BV27	0,0898	1,357	306	299	1,32	0,40905

Evaluation du débit décennal

En Afrique tropicale subsaharienne il existe principalement quatre méthodes de calcul de la crue de projet à savoir, la méthode rationnelle, la méthode CIEH la méthode ORSTOM et la méthode de CAQUOT.

La méthode rationnelle est une méthode empirique simplifiée permettant le calcul du débit maximum à l'exutoire d'un bassin versant de surface A et de coefficient de ruissellement C, soumise à une précipitation d'intensité moyenne i sur la durée t_c du bassin versant.

La méthode CIEH est une méthode basée sur les caractéristiques physique et hydrologique de 162 bassins versants couvrant moins de 2500 km² et de pluie annuelle moyenne < 2000 mm.

La méthode ORSTOM est une méthode qui se base sur une approche d'un modèle global pluie-débit en considérant que le bassin versant constitue une entité homogène tant en ce qui concerne les apports pluviométriques que ses caractéristiques physiques.

La méthode de CAQUOT est une méthode globale de calcul du débit maximum, elle se base sur la conservation des volumes mis en jeu dans le ruissellement et s'applique aux bassins versants dont la superficie est inférieure a 2 km², $Cr \geq 0.2$, et enfin avec la condition de la pente $0,002 \leq \text{pente} \leq 0,05$ (Guide technique de l'assainissement 3ème édition, 2008).

Pour l'évaluation du débit décennal pour notre étude nous avons choisi d'utiliser la méthode de CAQUOT qui est une méthode parmi tant d'autres.

La méthode CAQUOT est une amélioration de la méthode rationnelle et elle permet le calcul du débit maximal d'un bassin versant urbanisé. Elle est utilisable pour des bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km², un coefficient de ruissèlement supérieur à 0,2 et une pente dans l'intervalle comprise 0,002 et 0,05. Elle est donc adaptée pour le calcul des débits de crue décennale de notre projet.

La formule sous forme générale s'écrit comme suit :

$$Q = \left[\frac{a * \mu^b}{6 * (\beta + \delta)} \right]^{\frac{1}{1-b*f}} * C^{\frac{1}{1-b*f}} * I^{\frac{c*b}{1-b*f}} * A^{\frac{d*b+1-\varepsilon}{1-b*f}}$$

Après ajustement des paramètres de la formule de CAQUOT pour l'Afrique.(A l'Huissier, 1996)

Sighomnou (1986) procède à un réajustement de ces paramètres. Il considère que :

$$\mu = 0,19M^{0,84}$$

$$c = -0,41$$

$$d = 0,507$$

$$\beta + \delta = 1,40$$

$$f = -0,287$$

$$\varepsilon = 0,05$$

On la trouve souvent sous la forme ci-dessous :

Q = débit maximal à l'exutoire pour la période de retour considérée, (en m³/s) ;

C = coefficient de ruissellement ;

I = pente moyenne du bassin (en m/m) ;

A = superficie du bassin versant en ha ;

a, b, ε Paramètres de la pluie ;

β + δ Caractérisant le bassin versant ;

$$p = \frac{d*b+1-\varepsilon}{1-b*f} ; v = \frac{c*b}{1-b*f} ; u = \frac{1}{1-b*f} ; k = \left[\frac{a*\mu^b}{6*(\beta+\delta)} \right]^{\frac{1}{1-b*f}}$$

K, u, v, p des coefficients et exposants dépendant des unités choisies et des coefficients de Montana.

Cette formule a été adaptée aux conditions régionales par le CIEH. S'appuyant sur des valeurs expérimentales, ils ont proposé la prise en compte d'un facteur correctif qui tient compte de l'allongement du bassin et qui s'exprime comme suit :

$$m = \left(\frac{M}{2} \right)^{0,7b}$$

$$\text{Avec l'allongement du bassin } M = \frac{L(Km)}{\sqrt{A(Km^2)}}$$

L : plus long chemin hydraulique

A : superficie du bassin versant

La formule de Caquot est donnée pour M = 2 et M doit être supérieur à 0,8 (bassin versant en forme de demi-cercle). Quand la valeur de l'allongement est différente de 2 le débit de pointe doit être corrigé en multipliant le facteur correctif m par le débit.

Les coefficients de MONTANA ont été considérés à la station de OUAGADOUGOU pour une durée inférieure à une (01) heure pour l'ensemble du réseau.

Les valeurs de ces coefficients sont de : a (10 ans) = 9,4 ; b (10 ans) = -0,5.

Détermination du coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement C_r est le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface considérée (dite pluie nette) et la hauteur d'eau précipitée (pluie brute). Dans les quartiers couverts par nos bassins versants on y trouve des routes, dont près de 95% ne sont pas revêtue d'après le tableau ci-dessous, il nous convient de choisir un coefficient de ruissellement $C_r=0,70$ (route sans revêtement). Le tableau ci-dessous nous donne différents coefficients de ruissellement en fonction de la nature du bassin versant.

Tableau 21 : Coefficient de ruissellement en fonction de la nature du bassin versant

(Source : voir CHAPITRE VI Débits de Crue, Etiages et débits de basses eaux de Dr Harouna KARAMBIRI et Dr Dial NIANG).

Nature superficielle du Bassin versant	Coefficient de ruissellement
Bois	0,10
Près, champs cultivés	0,20
Vignes, terrains nus	0,50
Rochers	0,70
Routes sans revêtements	0,70
Routes avec revêtements	0,90
Villages, toitures	0,90

II.4.2. Dimensionnement hydraulique des ouvrages d'assainissement

Pour le dimensionnement de nos canaux, nous ferons l'hypothèse qu'elles sont à ciel ouvert. De ce fait nous avons conçu des ouvrages organisés sous forme de réseaux convergents vers des exutoires, avec pour objectif la collecte des eaux de ruissellement provenant des quartiers par lesquels transitent le projet et des eaux pluviales. A Ouagadougou la section minimale d'un caniveau est de 80 cm x 80 cm. Le type de matériaux utilisé pour nos ouvrages sera du béton armé.

✚ Association des bassins versants

Nous utiliserons selon notre cas la formule de groupement des bassins en série et celle des bassins en parallèle (A l'Huissier, 1996) :

Sur la figure ci-dessous,

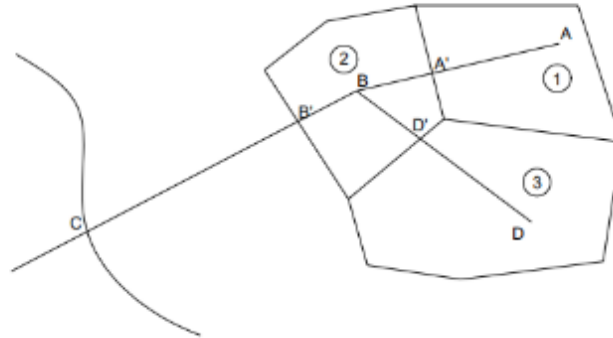


Figure 6 : Schéma de principe d'association.

Bassins en série	Bassins en parallèle
$A_{123} = A_{13} + A_2$ $C_{123} = \frac{C_{13} * A_{13} + C_2 A_2}{A_{123}}$ $L_{123} = L_1 + L_2 \text{ si } L_1 > L_3 \text{ Où}$ $L_{123} = L_3 + L_2 \text{ si } L_1 < L_3$ $I_{123} = \left(\frac{L_{123}}{\frac{L_{13}}{\sqrt{I_{13}}} + \frac{L_2}{\sqrt{I_2}}} \right)^2$ $M_{123} = \frac{L_{123}}{\sqrt{A_{123}}}$	$A_{13} = A_1 + A_3$ $C_{13} = \frac{C_1 * A_1 + C_3 A_3}{A_{13}}$ $I_{13} = \frac{I_1 * Q_{p1} + I_3 * Q_{p3}}{Q_{p1} + Q_{p3}}$ <i>L₁₃ déterminée selon le parcours de temps de concentration maximal : ainsi, si $t_{c1} > t_{c2}$, alors $L_{13} = L_1$</i> $M_{13} = \frac{L_{13}}{\sqrt{A_{13}}}$

On utilise la formule pour l'association de nos différents bassins versants au fur et à mesure. Le tableau ci-dessous nous renseigne sur le calcul des débits associés.

Tableau 22 : calcul des débits associés.

NOM	TRONCON		Sous Tronçon	Début	Fin	SUPERFICIE EQUIVALENTE DU BASSIN VERSANT (ha)	Longueur hydraulique (Km)	Débîts Q10 (m3/s)
PARTIE GAUCHE								
OH1				PK 0+035				10,709
BV1	T 1 Série	PK 0+000 - PK 1+355	ST6	PK 0+035	PK 0+275	112,578	5,311	10,709
BV2			ST5	PK 0+275	PK 0+452,65	71,428	3,596	8,394
BV3			ST4	PK 0+452,65	PK 0+750	68,07	3,424	8,222
BV4			ST3	PK 0+750	PK 0+963	55,77	2,790	7,580
BV5			ST2	PK 0+963	PK 1+105	17,82	1,205	3,916
BV6			ST1	PK 1+105	PK 1+355	6,63	0,588	2,145
BV7	T2 Série	PK 1+300 - PK 2+200	ST1	PK 1+355	PK 1+393,5	21,52	1,718	3,640
BV8			ST2	PK 1+393,5	PK 1+653	32,84	2,409	4,648
BV9			ST3	PK 1+653	PK 1+905	103,34	4,200	11,817
BV10			ST4	PK 1+905	PK 2+047	109,15	4,671	11,460
BV11			ST5	PK 2+047	PK 2+200	135,18	6,463	11,346
OH2				PK 2+200				11,346
BV12	T3 Série / Parallèle	PK 2+200 - PK 3+150	ST1	PK 2+200	PK 2+420	32,53	1,546	6,500
BV13			ST2	PK 2+420	PK 2+611	70,89	3,200	12,461
BV14			ST3	PK 2+611	PK 2+850	89,08	4,052	19,199
BV15			ST4	PK 2+850	PK 3+037	136,85	5,765	22,734
OH3				PK 3+150		137,54	5,765	59,042
BV16		PK 3+150- PK 4+400	ST2'	PK 3+150	PK 3+413	0,69	0,147	0,410
BV17		ST1'	PK 3+413	PK 4+400	4,078	0,037	3,605	
OH4				PK 4+400				14,365
BV18	T4 Série	PK 4+400- PK 5+436	ST3	PK 4+400	PK 4+857	152,69	5,726	14,365
BV19			ST2	PK 4+857	PK 5+066	79,79	3,275	10,301
BV20			ST1	PK 5+066	PK 5+436	37,01	1,437	7,944
OH5				PK 5+600				6,017
BV21	T5 Série	PK 5+436 - PK6+202	ST3	PK 5+436	PK 5+800	37,526	2,006	6,017
BV22			ST2	PK 5+800	PK 5+995	7,486	0,804	1,755
BV23			ST1	PK 5+955	PK +6+202	2,376	0,257	1,197
PARTIE DROITE								
BV27	T1' Série	PK 3+290- PK4+375	ST3	PK 3+290	PK 3+645	37,22	1,647	7,302
BV26			ST2	PK 3+645	PK 3+933	28,24	1,238	6,582
BV25			ST1	PK 3+933	PK 4+375	14,04	0,543	5,548
BV24	T2'	PK4+375- PK4+565	ST	PK 4+375	PK 4+565	2,274	0,234	1,214

Sections hydrauliques des caniveaux

Nous utiliserons la formule de Manning-Strickler en prenant l'hypothèse d'un écoulement uniforme.(MAR, 2004)

$$Q = Ks * S * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I}$$

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur les valeurs de coefficient de Strickler en fonction de la nature du matériau.

Tableau 23 : valeur du coefficient de Strickler en fonction de la nature du matériau.(CHOW. V. T, 1959).

Nature	Valeur de Ks
Ouvrage en terre	33
Ouvrage taillé dans un sol rocheux	25
Ouvrage en béton	67

Q : Débit dans le caniveau (m^3 / s)

$S = by$: Section mouillée du caniveau (m^2)

$P = b + 2y$: Périmètre mouille du caniveau (m)

$Rh = \frac{S}{P}$: Rayon hydraulique (m)

$Ks = 67$ pour béton armé: coefficient de Strickler

I : Pente du caniveau (m / m)

y : tirant d'eau(m)

b : largeur au plafond (m)

La vitesse minimale d'un caniveau est de 1 m/s. nous prendrons une pente de 1% au vu du terrain et aussi pour que la vitesse caractéristique ne favorise pas le dépôt de matière en suspension dans le caniveau et aussi qu'elle soit inférieure à la vitesse érosive qui est de 4 m/s, d'où notre choix. La revanche a été calculée avec la formule de LACEY (MAR, 2004) :

$$r = 0,2 + (0,15 * Q^{\frac{1}{3}})$$

Le tableau suivant nous donne les différentes sections des caniveaux que nous avons eu après calcul de celle-ci.

Tableau 24 : Section des caniveaux.

Sous Tronçon	Début	Fin	S (m2)	P (m)	Qprojet	Revanche: r = 0,2+ (0,15*Q^(1/3))	Y+r (m)	Section bxh (cm x cm)	Vcal (m/s)	
PARTIE GAUCHE										
ST6	PK 0+035	PK 0+275	2,40	4,40	10,709	0,531	1,73	200	180	2,97
ST5	PK 0+275	PK 0+452,65	1,99	3,99	8,394	0,505	1,50	200	150	2,80
ST4	PK 0+452,65	PK 0+750	1,96	3,96	8,222	0,503	1,48	200	150	2,74
ST3	PK 0+750	PK 0+963	1,85	3,88	7,580	0,495	1,58	170	160	2,79
ST2	PK 0+963	PK 1+105	1,12	3,00	3,916	0,436	1,19	150	120	2,18
ST1	PK 1+105	PK 1+355	0,72	2,40	2,145	0,393	1,05	110	110	1,77
ST1	PK 1+355	PK 1+393,5	1,06	2,92	3,640	0,431	1,19	140	120	2,17
ST2	PK 1+393,5	PK 1+653	1,28	3,23	4,648	0,450	1,37	140	140	2,37
ST3	PK 1+653	PK 1+905	2,58	4,58	11,817	0,542	1,83	200	190	3,11
ST4	PK 1+905	PK 2+047	2,52	4,52	11,460	0,538	1,80	200	180	3,18
ST5	PK 2+047	PK 2+200	2,50	4,50	11,346	0,537	1,79	200	180	3,15
ST1	PK 2+200	PK 2+420	1,65	3,65	6,500	0,480	1,30	200	130	2,50
ST2	PK 2+420	PK 2+611	2,69	4,69	12,461	0,548	1,89	200	190	3,28
ST3	PK 2+611	PK 2+850	3,73	5,54	19,199	0,602	2,22	230	230	3,63
ST4	PK 2+850	PK 3+037	4,24	5,94	22,734	0,625	2,39	240	240	3,95
ST2'	PK 3+150	PK 3+413	Bassin de dissipation existant ramenant directement les eaux du BV 16 sur le dalot OH 3 d'où nous placerons sur ce tronçon un caniveau de 80 X 80							
ST1'	PK 3+413	PK 4+400	1,06	2,93	3,605	0,430	1,25	130	130	2,13
ST3	PK 4+400	PK 4+857	3,01	5,01	14,365	0,565	1,57	300	160	2,99
ST2	PK 4+857	PK 5+066	2,33	4,33	10,301	0,526	1,69	200	170	3,03
ST1	PK 5+066	PK 5+436	1,92	3,96	7,944	0,499	1,63	170	170	2,75
ST3	PK 5+436	PK 5+800	1,56	3,56	6,017	0,473	1,25	200	130	2,31
ST2	PK 5+800	PK 5+995	0,62	2,23	1,755	0,381	1,00	100	100	1,75
ST1	PK 5+955	PK +6+202	0,46	1,93	1,197	0,359	0,87	90	90	1,48
PARTIE DROITE										
ST3	PK 3+290	PK 3+645	1,80	3,82	7,30	0,491	1,55	170	160	2,68
ST2	PK 3+645	PK 3+933	1,67	3,68	6,58	0,481	1,52	160	160	2,57
ST1	PK 3+933	PK 4+375	1,47	3,45	5,55	0,466	1,44	150	150	2,47
ST	PK 4+375	PK 4+565	0,47	1,94	1,21	0,360	0,88	90	90	1,50

Sections hydrauliques des dalots

Pour le calcul des sections des dalots transversaux, nous allons aussi utiliser la formule de Manning-Strickler.

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des sections des dalots transversaux.

Tableau 25 : Sections des dalots transversaux.

DALOTS TRANSVERSAUX							
Localisation	Dalots	Ks	I	Q (m³ /s)	V(m/s)	Section b x h (cm x cm)	
PK 0+035	OH 1	67	0,01	10,709	2,23	2*200*120	
PK 2+200	OH 2	67	0,01	11,346	2,70	2*150*140	
PK 3+150	OH 3	67	0,01	59,042	2,73	4*300*180	
PK 4+400	OH 4	67	0,01	14,365	2,82	2*170*150	
PK 5+600	OH 5	67	0,01	6,017	1,88	2*160*100	

Les dalots longitudinaux sont juste le prolongement des caniveaux qui seront placés au niveau des accès de notre route.

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des sections des dalots transversaux.

Tableau 26: Sections des dalots longitudinaux gauche.

GAUCHE								
DALOTS LONGITUDINAUX								
Début	Fin	Nbr	Tronçon	Position	I	Q (m³ /s)	V(m/s)	Section b x h (cm x cm)
PK 0+000	PK 1+355	4	T1	Gauche	0,01	8,394	2,80	200*150
PK 1+355	PK 2+200	5	T2	Gauche	0,01	11,460	3,18	200*180
PK 2+200	PK 3+150	4	T3	Gauche	0,01	19,199	3,63	230*230
PK 3+150	PK 5+300	11	T4	Gauche	0,01	10,301	3,03	200*170
PK 5+300	PK 6+970	11	T5	Gauche	0,01	6,017	2,31	200*130

Tableau 27: Sections des dalots longitudinaux droit.

DROITE								
DALOTS LONGITUDINAUX								
Début	Fin	Nbr	Tronçon	Position	I	Q (m ³ /s)	V(m/s)	Section b x h (cm x cm)
PK 0+000	PK 3+290	4	T1	Droite	0,01	-	-	80*80
PK 3+290	PK 3+645	2	T2	Droite	0,01	7,302	2,68	170*160
PK 3+645	PK 3+933	7	T3	Droite	0,01	6,582	2,57	160*160
PK 3+933	PK 4+375	1	T4	Droite	0,01	5,548	2,47	150*150
PK 4+375	PK 4+565	1	T5	Droite	0,01	1,214	1,50	90*90
PK 4+565	PK 6+970	15	T6	Droite	0,01	-	-	80*80

II.4.3. Dimensionnement structural des ouvrages d'assainissement

Caniveau

Nous avons choisi la section de caniveau de 200 X 190 pour notre dimensionnement. Ci-dessous le tableau récapitulatif des sections d'aciers. La note de calcul est en annexe 5.

La figure ci-dessous nous montre le schéma de principe de notre caniveau.

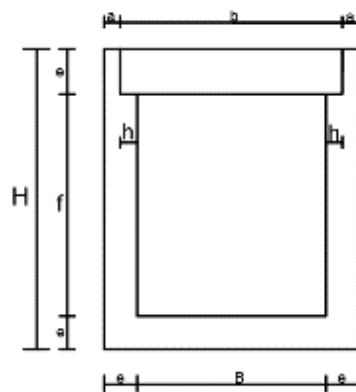


Figure 7 : schéma de principe caniveau.

Hypothèse prise en compte :

Les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99

Fissuration Préjudiciable

La capacité portante du sol : $\sigma_a = 0,15 \text{ MPa}$

Acier HA Fe E400

Résistance du béton a 28 jours d'âge : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

Enrobage : 3 cm

Les voiles :

Effort transmis par la dallete chargée ;

Poussées dues à la roue de 6 tonnes concentrée stationnée ;

Le radier est à étudier sous les efforts de son propre poids et celle de l'eau.

La dallete sera étudiée sous une roue isolée de 6 tonnes en stationnement

Nous nous proposons de prendre une charge dues à la roue de 6 tonnes concentrée stationnée. Nous avons fait ce choix dans le but d'optimiser notre ouvrage, comme on le sait bien, les ouvrages d'assainissements gonflent le budget des projets routiers. Coté résistance ça tiendra, et aussi il n'est même pas recommandé aux camions de stationner sur les caniveaux, et en plus à la vue de la hauteur de la chaussée un camion ne peut pas y avoir accès coté route et de l'autre côté il a été prévu de placer des bordures (d'où caniveaux inaccessibles par les camions).

Tableau 28 : Charges appliquée à chaque partie du caniveau.

Partie d'ouvrage	Charges appliquée
Dallete	
Piédroit	
Radier	

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des sollicitations maximales.

Tableau 29 : Sollicitations maximales.

Partie d'ouvrage	Sollicitations maximales	ELS
Dallette	Moment fléchissant (KN.m/ml)	34,42
Piédroit	Moment fléchissant (KN.m/ml)	2,704
Radier	Moment fléchissant (KN.m/ml)	23,75

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des sections d'acier du caniveau 200 X 190 sur 1 ml.

Tableau 30 : Récapitulatif des sections d'acier du caniveau 200 X 190 sur 1 ml.

Ferrailage du caniveau 200 cm x 190 cm (b x h)				
Type d'armature		Dallette	Piédroit	Radier
Acier principaux	Sections (cm ² /ml)	15,34	3,59	10,59
	Choix	10HA14	6HA10	14HA10
	Espacement (cm)	20	15	15
Acier de répartition	Sections (cm ² /ml)	3,84	0,90	2,765
	Choix	5HA10	11HA8	6HA8
	Espacement (cm)	20	20	15

Dalot

Nous avons choisi le dalot transversale 4*3*1,8 m pour notre dimensionnement. Ci-dessous le tableau récapitulatif des sections calculées. La note de calcul est en annexe7.

Hypothèse prise en compte :

Consigne

Les surcharges routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français régnant en la matière.

Les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99

Caractéristique des matériaux

Béton

Poids volumique = 2,5 t/m³

Fissuration préjudiciable

La résistance à la compression à 28 jours d'âge est : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

$$t > 24 \text{ h d'ou } \theta = 1$$

$$\partial_b = 1,5$$

La résistance caractéristique du béton en compression simple à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 * f_{c28}}{\theta * \partial_b}$

$$f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

Contrainte de calcul en compression du béton à l'ELS : $\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 * f_{c28}$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Résistance caractéristique du béton en traction : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 * f_{c28}$

$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$

L'acier

Nuance d'acier HA Fe : 400 MPa

Contrainte limite de l'acier en **Fissuration préjudiciable**

$$\eta = 1,6 \text{ pour les HA}$$

$$\overline{\sigma}_{st} = \varepsilon_s = \min \left[\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right) \right]$$

$$\eta = 1,6 \text{ pour les barres HA } \varnothing > 6 \text{ mm}$$

$$\overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ Mpa}$$

Résistance caractéristique de l'acier à la compression : $f_{su} = \frac{f_e}{\partial_s}$

$$\partial_s = 1,15$$

$$f_{su} = \frac{400}{1,15}$$

$$f_{su} = 347,83 \text{ MPa}$$

Enrobage : 3 cm

Principe de calcul des efforts et sollicitations :

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot. Les valeurs des efforts, sollicitations et réactions d'appuis seront déterminés à partir des formules dites « **rotation des nœuds** ».

Données

Nombre de voies de circulation (MESSAN, 2016) : $n = \text{Int} (Lc/3)$ (Int : partie entière)

$$L_c = L_r - 2 \times 0,5 = 14 \text{ m}$$

$$n = 4$$

Classe	Largeur Roulable
I	$\geq 7m$
II	$5,5 m < L_r < 7m$
III	$\leq 5,5m$

Figure 8 : Classification des ponts (Ministère Français de l'Équipement et du logement., 1980).

$L_r = 15 \text{ m} > 7 \text{ m}$ D'où notre ouvrage est classé en pont de première classe.

Remblais :

Coefficient de poussée des terres : $K_a = 0,333$

Pour le calcul des efforts et sollicitation dus aux remblais, nous considérerons une hauteur de 100 cm (GNT 0/40 : 25 cm ; GNT 0/31,5 : 20 cm ; GB : 5 cm ; BBME : 5 cm et 45 cm de remblai latéritique) sur le tablier avec poids spécifique de :

$$GNT = 2,645 \text{ t/m}^3$$

$$GB = 2,462 \text{ t/m}^3$$

$$BBME = 2,424 \text{ t/m}^3$$

$$\partial_r = 2 \text{ t/m}^3$$

La figure ci-dessous nous montre la modélisation du dalot.

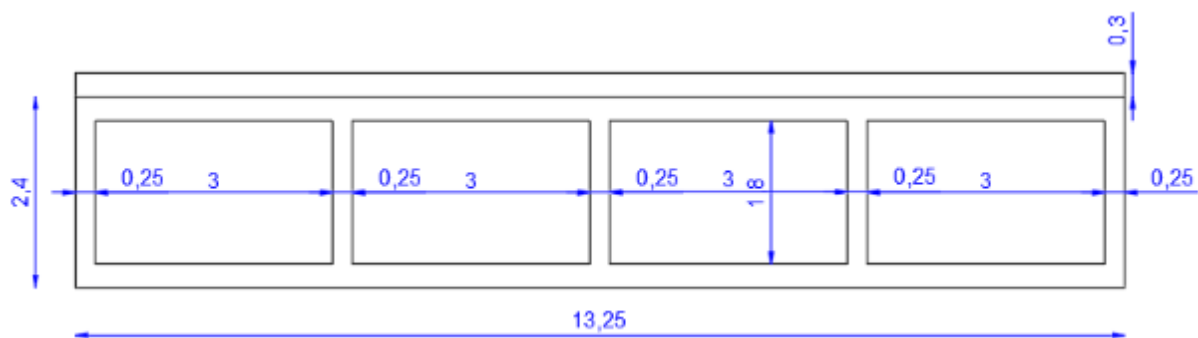


Figure 9 : Modélisation du dalot.

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur le pré dimensionnement du dalot en annexe 7.

Tableau 31 : Récapitulatif du pré-dimensionnement du dalot.

Désignations	Tablier	Piédroit	Radier
Epaisseur (m)	0,30	0,25	0,30

La figure ci-dessous nous montre les charges appliquées au dalot.

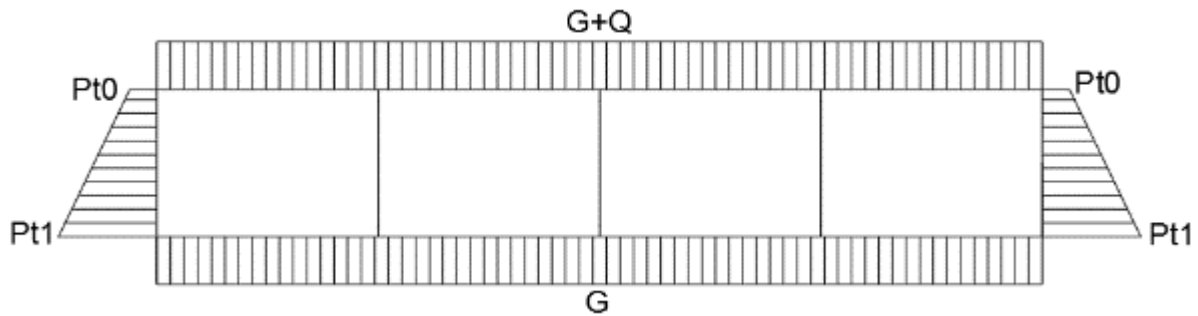


Figure 10 : charge appliquée au dalot.

Evaluation des charges appliquées sur l'ouvrage :

➤ **Charges permanentes**

Les chargements sont ramenés à des charges uniformes réparties dont les intensités sont majorées par les combinaisons d'actions. La charge maximale servira à charger en particulier une travée entière. Suivant leur impact longitudinal, ces charges sont aussi appliquées sur toutes les travées.

Il est aussi pris en compte une poussée de terre agissant sur les piédroits extrêmes.

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs des charges permanentes appliquées au dalot.

Tableau 32 : Charge permanentes appliqué au dalot.

Eléments	Tablier	Radier	Poussée de terres	
			P _{t0}	P _{t1}
G(KN/ml)	21,846	33,596	7,70	21,564

Charges remblais

En vue de la justification des éléments (piédroits de rives) susceptibles d'être soumis à des efforts de la part des remblais d'accès au pont, on considère que ces remblais sont susceptibles de recevoir une charge de $1t/m^2$, répartie sur toute la largeur de la plate-forme.

$$Q = k_a \times 10 \text{ avec } k_a = 0,33$$

$$Q = 0,33 \times 20 = 3.3 \text{ KN/ml}$$

Surcharges routières

Le tableau ci-dessous nous montre le tableau récapitulatif des différentes surcharges évalué.

Les détails de l'évaluation se trouvent dans l'annexe 7.

Tableau 33: Récapitulatif des surcharges routières et charges sur le remblai.

Eléments	Tablier	Radier
Système A (KN/ml)	11,265	11,265
Système Bc (KN/ml)	18,340	18,340
Système Bt (KN/ml)	59,007	59,007
Charges remblai (Q_p) (KN/ml)	3,3	

Calcul de sollicitations et efforts appliqués sur le dalot

Principe et méthodes de calcul de sollicitations

De façon générale, les études seront faites par bande d'un (1) mètre de dalot ($b=1m$). Nous considérons que les piédroits intermédiaires sont dimensionnés en compression simple (annulation du moment au niveau du piédroit intermédiaire et conservation uniquement de l'effort normal). D'où la possibilité d'utiliser la méthode des rotations des nœuds pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

Combinaisons :

ELS	ELU
$G + 1,2 \max(S) + 1,2 \times S_r$	$1,35G + 1,6 \times \max(S) + 1,6 \times S_r$

G = Ensemble des actions permanentes défavorables ;

S = Charges routières sans caractère particulier

Les sollicitations et les efforts maximaux à retenir sont les plus élevé en valeur absolue de chacun de ces trois.

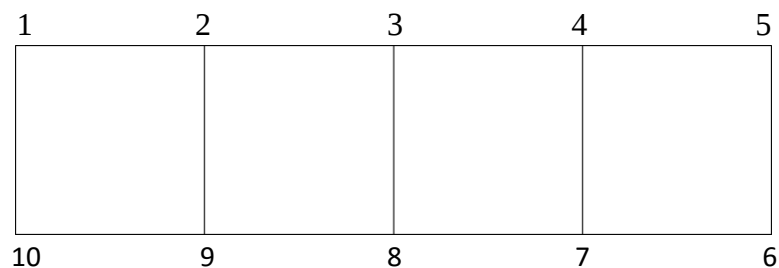


Figure 11: Schéma statique de l'ouvrage.

Le tableau ci-dessous nous montre le récapitulatif des sollicitations et effort appliqués sur le dalot.

Tableau 34 : Sollicitations et Effort appliqués sur le dalot.

Partie d'ouvrage	Sollicitations maximales		ELU	ELS
TABLIER	Moment fléchissant (KN.m/ml)	Appuis de gauche	-117,382	-87,770
		Appuis de droit	-117,477	-87,852
		Milieu	60,551	45,277
	Effort tranchant (kN/m)		137,934	103,144
RADIER	Moment fléchissant (KN.m/ml)	Appuis de gauche	131,828	98,471
		Appuis de droit	131,836	98,488
		Milieu	-67,798	-50,645
	Effort tranchant (kN/m)		303,097	226,412
PIEDROIT EXTREME	Moment fléchissant (KN.m/ml)	Appuis de gauche	-103,080	-76,985
		Appuis de droit	131,836	98,488
		Milieu	106,283	79,370
	Effort Normale (kN/m)		-161,884	-120,813
PIEDROIT CENTRAL	Moment fléchissant (KN.m/ml)	Appuis de gauche	2,740	2,081
		Appuis de droit	3,191	2,415
		Milieu	17,969	13,361
	Effort Normale (kN/m)		-337,678	-252,027

Sections d'armatures

Les sections d'armatures sont déterminées avec les moments à l'ELS car la fissuration est préjudiciable. Le tableau ci-dessous nous présente les sections d'armature ainsi que le choix de nos aciers pour l'ouvrage dont les détails sont présentés en annexe 7.

Le tableau ci-dessous nous donne le récapitulatif des sections d'aciers du dalot 4 X 300 X 180.

Tableau 35 : Récapitulatif des sections d'acier du dalot 4 X 300 X 180 sur 1 ml.

Partie d'ouvrage		Acier principaux			Acier de répartition		
		section (cm ²)	Choix	Espacement (cm)	Section (cm ²)	Choix	Espacement (cm)
TABLIER	Appuis de gauche	19,56	2X 7HA14	15	4,89	HA8	20
	Appuis de droit	19,58	2X 7HA14	15	4,89	HA8	20
	Milieu	10,09	2X 7HA10	15	2,52	HA8	20
RADIER	Appuis de gauche	21,95	2X 8HA14	12	5,49	HA8	20
	Appuis de droit	21,95	2X 8HA14	12	5,49	HA8	20
	Milieu	11,29	2 X 8HA10	10	2,82	HA8	20
PIEDROIT EXTREME	Appuis de gauche	6,88/face	7HA14 /face	15	1,72/face	3HA10/face	15
	Appuis de droit						
	Milieu						
PIEDROIT CENTRAL	Appuis de gauche	5/face	5HA10 /face	20	1,25/face	3HA10/face	15
	Appuis de droit						
	Milieu						

II.5. Sécurité routière

Elle est l'ensemble des mesures mises en place pour éviter tout incident impactant l'intégrité physique des personnes et des biens.

II.5.1. Signalisation routière

✚ Signalisation verticale

Lors de nos déplacements, sur une route, nous croisons divers panneaux de signalisation. Voici ci-dessous quelques exemples avec leur signification.

FORMES	COULEURS	
 = DANGER	 Permanent	 Temporaire
 = ORDRE	 Interdiction	 Obligation
	 Fin d'interdiction	 Fin d'obligation
 = INDICATION	 Pour la conduite	 Installations diverses
 = DIRECTION	 Direction autoroutière	 Directions grandes villes
		 Directions temporaires
 = LOCALISATION	 Itinéraires locaux	 Itinéraires touristiques

Figure 12 : Panneaux de signalisation verticale (Source : ornikar.com).

Chacun de ces panneaux à trois fonctions :

- ✚ Signaler un danger,
- ✚ Donner un ordre : une interdiction ou une obligation,
- ✚ Donner une indication, un renseignement ou une direction.

✚ Signalisation horizontale

La signalisation routière horizontale fait référence au marquage au sol se retrouvant sur la chaussée : dessins, flèches, inscriptions sur la chaussée et lignes. Elles ont pour rôle d'assurer le guidage des usagers.

Le tableau ci-dessous nous montre les illustrations des différents types de marquage au sol.

Tableau 36 : Illustration des différents types de marquage au sol.

Ligne de type T1	
Ligne de type T2	
Ligne de type T3	
Ligne de continue	

Vue que notre route est composée de deux chaussées séparées avec la présence de terre-plein central, les marquages seront composés de :

- Signalisations transversales comprenant les lignes complétant le panneau de « STOP », des lignes complétant le panneau « cédez le passage » et les lignes d'effet des feux de signalisation.
- Signalisation axiale longitudinale de marque T1.

Signalisation lumineuse

Dans notre projet il s'agit essentiellement des feux tricolores réglementant la circulation qui seront implantés au niveau des intersections avec les voies secondaires et au niveau des carrefours.

La figure ci-dessous nous montre l'image d'un feu tricolores. ("archiexpo.fr," n.d.)



Figure 13 : Feux tricolores (Source : archiexpo.fr)

II.5.2. Eclairage public

C'est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voiries et places, nécessaires à la sécurité ou à l'agrément de l'homme.

Dans notre projet les lampadaires seront des lampes à LED de plus de 90 W et doivent être étanches à l'eau, résistantes aux intempéries, aux insectes et à la poussière. L'assemblage doit se faire avec la lampe, l'appareil de commande et le démarreur externe, ainsi y compris tous les supports nécessaires, etc.

Chaque Poteau doit répondre à la norme avec des conducteurs en cuivre de terre de 16 mm, qui seront enfouis dans le groupe et fixés au poteau à l'aide d'écrous et de boulons. La profondeur minimale de la tranchée pour la pose du câble d'éclairage public doit être de 800 mm

Conclusion Partielle

Comme conclusion partielle nous pouvons dire que l'objectif de ce chapitre a été atteint. Nous avons eu à faire lors de ce chapitre, la vérification de la structure mise en œuvre, proposer des variantes vérifiant les conditions de dimensionnement, nous avons aussi fait le dimensionnement, hydraulique et structural des ouvrages d'assainissement et en dernier lieu la sécurité routière.

CHAPITRE III : PROCEDURE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX

Introduction

La structure des couches de notre projet est composée d'une couche de fondation en GNT 0/40 mm, d'une couche de base en GNT 0/31,5 mm, d'une couche de liaison en grave bitume de classe 3 et d'une couche de roulement en béton bitumineux.

III.1. Procédure de mise en œuvre

III.1.1. Mise en œuvre de la couche de fondation et de base (GNT)



Matériaux

Les matériaux utilisés dans le cadre de l'exécution des couches de fondation et de base sont de la Grave Non Traitée de type A de nature granitique et de granularités 0/40 pour la couche de fondation et 0/31,5 pour la couche de base. A ces matériaux s'ajouteront de l'eau.



Matériel utilisé

La production de la GNT est faite à l'aide d'un poste de concassage. La mise en œuvre se fait par approvisionnement par camions bennes de la GNT légèrement humidifiée.

Le compactage est fait à l'aide de ;

- ❖ Deux compacteurs à rouleau mono bille
- ❖ Un compacteur a pneu lesté à 35T soit 5T par pneu.
- ❖ D'un compacteur BW 120 (masse linéique de 11,3 kg/cm) pour traitement des bords.
- ❖ L'épandage est fait à l'aide d'une niveleuse. Un camion-citerne assure l'arrosage. Des équipements laboratoire et topographiques assureront le contrôle qualité.



Personnel

Le personnel intervenant dans toute la chaine de production, application et contrôle est composé essentiellement comme suit :

- ❖ Ingénieur Géotechnicien
- ❖ Un conducteur de travaux
- ❖ Equipe de la centrale à concassage
- ❖ Un chef d'équipe application
- ❖ Une équipe de laboratoire

- ❖ Une équipe de topographie
- ❖ Un conducteur de chargeur
- ❖ Un conducteur de niveleuse
- ❖ Des chauffeurs de camion
- ❖ Des manœuvres
- ❖ Des conducteurs de compacteur



Mode opératoire

Les couches de fondation et de base sont respectivement la première couche et la deuxième couche du corps de la chaussée. Elles sont réalisées suivant les étapes ci-dessous :

- ❖ Piquetage pour réglage altimétrique sur la plateforme supérieure de terrassement ;
- ❖ Approvisionnement, épandage et arrosage ;
- ❖ Nivellement ;
- ❖ Compactage ;
- ❖ Réception altimétrique ;
- ❖ Réglage de la couche de fondation (s'il y'a lieu placer des piquets de réglage) ;
- ❖ Nivellement (s'il y'a eu lieu placer des piquets de réglage) ;
- ❖ Réception altimétrique ;
- ❖ Réception géotechnique.

III.1.2. Mise en œuvre de la couche de liaison et la couche de roulement



Matériaux

Les enrobés mis en œuvre sur les couches de liaison et de roulement sont respectivement de la Grave bitume GB 0/14 avec bitume pur 35/50 et de Béton Bitumineux Semi Grenu BBSG 0/14 avec du bitume polymérisé de classe 13/40.



Matériel utilisé

La production des enrobés est faite à l'aide d'un poste d'enrobage continu du type TSM 15. La mise en place est effectuée par un finisseur VOLVO de type ABG 7820B.

Le compactage s'est fait à l'aide de ;

- Deux compacteurs (BOMAG BW 161) à double bille de classe VT2 ou similaire (masse linéique de 29,8 kg/cm et d'amplitude 0,94 mm) ;

- Un compacteur a pneus, de classe P1, lesté à 3,5 tonnes par pneu.
- D'un compacteur BW 120 (masse linéique de 11,3 kg/cm) pour traitement des joints transversaux et longitudinaux.

Le transport est assuré par des camions bennes de capacité 30-33 tonnes.

Un balai mécanique assure le nettoyage éventuel du support.

Un camion bouille de capacité 7 m³ assure l'imprégnation en bitume fluidifié.

Un camion bouille de 9 m³ assure l'application de la couche d'accrochage en émulsion de bitume.

Du matériel de laboratoire et topographique assure le contrôle de la qualité de mise en œuvre.



Personnel

Le personnel intervenant dans toute la chaîne de production, application et contrôle est composé essentiellement comme suit :

- ❖ Ingénieur Géotechnicien
- ❖ Un conducteur de travaux
- ❖ Un conducteur de la centrale à enrobé
- ❖ Un chef d'équipe
- ❖ Une équipe de laboratoire
- ❖ Une équipe de topographie
- ❖ Un conducteur de chargeur
- ❖ Un régleur
- ❖ Des râteleurs
- ❖ Des chauffeurs de camion
- ❖ Des manœuvres



Mode opératoire

La couche de liaison et de roulement en enrobés bitumineux sont mises en œuvre suivant les étapes ci-dessous :

- ❖ Application de la couche d'imprégnation
- ❖ Après séchage de l'imprégnation, application la couche d'accrochage
- ❖ Nettoyage à l'aide d'un balai mécanique et d'un souffleur ;
- ❖ Epandage de la couche de l'enrobé par le finisseur en fonction des résultats de la planche d'essai du grave bitume.

- ❖ Prélèvement l'enrobé pour l'essai MARSHALL (vérification de la résistance caractéristique d'enrobé) et d'extraction de liant (vérification de la teneur en bitume et la granulométrie) ;
- ❖ Compactage
- ❖ Carottage, après 24h au moins pour la mesure des épaisseurs et des compacités de l'enrobé mis en œuvre.

III.2. Contrôle qualité

Le contrôle qualité nous permet d'avoir la conformité des matériaux exécuté conformément aux exigences du marché, et au cahier des charges.

Nous trouverons les plans de contrôle qualité enrobés et de la GNT en annexe 6.

Conclusion partielle

Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre comment se fait la mise en œuvre des couches d'assise en enrobés et en matériaux granulaire.

CHAPITRE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Introduction

L'étude d'impact sur l'environnement est une étude détaillée à caractère analytique et prospectif aux fins de l'identification et de l'évaluation des incidences d'un projet sur l'environnement. Elle constitue un instrument de prévention dans le cadre d'une politique de protection de l'environnement et a été adoptée par de nombreux pays (exemple du Burkina Faso), comme instrument de protection de l'environnement et du cadre de vie.

Dans ce chapitre, nous présenterons une synthèse de l'étude d'impact environnemental réalisée par la INGEROSEC CORPORATION KATAHIRA ET ENGINEERS INTERNATIONAL et le récapitulatif du cout global du projet.

IV.1. Rappel du cadre législatif régissant le projet

Le Burkina Faso sous la constitution du 2 juin 1991, a mis en vigueur les règlements suivant, cité en annexe 8.

Le Bureau National de l'Évaluation Environnementale, sous tutelle du ministère de l'Environnement, de l'Économie verte et du Changement climatique, est chargé de la procédure de l'évaluation de l'impact sur l'environnement.

L'Article 4 du décret prescrit les procédures pour chaque catégorie environnementale :

- Catégorie A : Activités soumises à une étude d'impact environnemental et social (EIES)
- Catégorie B : Activités soumises à une notice d'impact environnemental et social (NIES)
- (Équivalent des Instructions sur l'impact sur l'environnement (IIE))

Catégorie C : activités non soumises aux procédures requises pour les catégories A et B (Vérification préliminaire) Les Lignes directrices sur l'environnement définissent les catégories environnementales en fonction des dimensions des projets.

IV.2. Rappel des composantes et phases du projet

Le tableau ci-dessous montre la composante du projet.

Tableau 37 : Composante du projet.

	Composantes du projet
Travaux routier	Réhabilitation de la largeur de chaussée et création d'une piste cyclable
	Réhabilitation et amélioration du revêtement
	Mise en place d'un trottoir
	Travaux de drainage
Travaux des ouvrages de la route	Arrêts de bus, poteaux d'éclairage public, feux de signalisation, passerelle pour piéton

IV.3. Identification et évaluation des impacts

L'annexe 8 nous montre les résultats de l'exercice de l'étude effectué sur la section cible de l'étude.

En plus de ces impacts citer en annexe 8 à prendre en compte, l'entreprise SOGEA SATOM s'est engagé dans une politique de qualité et de de sécurité dénommée Pre-start Meeting. Cette politique vise à exécuter des chantiers dans les délais avec zéro accident au cours des activités du chantier. C'est ainsi que le document « Les Règles d'Or » (élaborer par l'entreprise SOGEA-SATOM) a été mis au point. Dans ce document est énuméré des règles et des recommandations obligatoires à toute personne intervenant sur les cite et chantier de SOGEA-SATOM.

IV.4. Plan de gestion environnemental et social

La figure ci-dessous présente le plan de suivi pendant la mise en œuvre du Projet et après son achèvement. Le suivi pendant la mise en œuvre du Projet sera exécuté et rapporté sous la responsabilité du Comité de Surveillance Environnementale. Son exécution effective sera assumée par l'entrepreneur.

Tableau 38 : plan de suivi(Mission d'étude de la JICA, 2017).

Eléments environnement us	Eléments	Endroits étudiés	Fréquence (La durée de suivi est indiquée pour les suivis après la mise en service)
Pendant les travaux	Apparition des particules fines PTS, CO, Nox	Infrastructures à protéger aux alentours de l'aire des travaux telle que l'hôpital, l'école, etc.	Une fois/mois
Bruit	Leq (A)	Infrastructures à protéger aux alentours de l'aire des travaux tels que l'hôpital, l'école, etc.	Une fois/mois
Qualité des eaux (Lors de la mise en service)	pH, degré de pollution	Cours d'eau croisant la route	Une fois/mois
Qualité de l'air	NOx TSP	Infrastructures à protéger tels que l'hôpital, l'école, etc.	Une fois mois (pendant six mois après la mise en service)
Bruit et vibration (de surface et souterraine)	Niveau de pollution composante houilleurs	Cours d'eau croissance la route	Une fois mois (pendant six mois après la mise en service)

IV.5. Analyse des risques

Durant toutes les phases de travaux, le personnel devra être muni des équipements de protection individuelle (casque, chaussures de sécurité, gilets haute visibilité, etc.). Nous trouverons en annexe 11 l'analyse des risques et sécurité des opérations.

Conclusion Partielle

Cette synthèse nous a permis d'identifier, d'évaluer et analyser les risques environnementaux et sociaux et proposée des mesures d'atténuation.

CONCLUSION

L'étude dont fait l'objet ce mémoire de fin d'étude s'est portée sur une route d'une importance capitale dans le trafic urbain, national et sous régional. Il s'agit de la Rocade Sud-Est du boulevard des Tansoba situé à Ouagadougou plus précisément de la fin de l'échangeur porte de l'Est pour se terminer à l'extrémité du rond-point avant l'échangeur de Ouaga 2000 avec une longueur de 6,970 km. Nous nous sommes appuyés sur les résultats des études géotechnique, hydrologique, hydraulique, topographique, et sur des normes internationales de dimensionnement pour opérer une étude en phase projet de la route. Également sur base des plan et procédures d'exécution des travaux et les rapports d'étude d'impact environnemental, nous avons pu ressortir l'essentiel des méthodes d'exécution des couches d'assise et de surface, les contrôles de qualité des travaux et les mesures entrant dans le cadre de la prévention Hygiène Sécurité dans l'Entreprise.

Nous avons eu à vérifier la première structure de chaussée proposée par le bureau d'étude, dont les contraintes calculées étaient supérieures à celles admissibles. Nous avons donc proposé deux variantes. Nous avons aussi fait une étude comparative de ses deux variantes en se basant sur plusieurs critères. Il ressort de cette comparaison que la variante 2 propose une solution plus économique.

La conception et le dimensionnement hydraulique et structural des ouvrages d'assainissement nous a permis de calculer des sections rectangulaires en béton armé de caniveaux et dalots pouvant recevoir une pluie de période de retour de dix (10) ans ce qui permet d'obtenir une solution à long terme au problème d'inondation.

L'étude d'impact environnemental et social nous a permis d'identifier, évaluer, les impacts négatifs et positifs au projet et a proposé des mesures préventives ou d'atténuation.

L'étude détaillée nous a permis d'obtenir :

- ✚ Une structure de chaussée de 2X2 voies plus piste cyclable et trottoir de type R 80 constituée de 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement, 5 cm de grave bitume en couche de liaison, 20 cm de GNT 0/31,5 en couche de base et 25 cm de GNT 0/40 en couche de fondation.
- ✚ 65 dalots de franchissement longitudinal de section rectangulaire en béton armé et 5 dalots transversaux de section rectangulaire en béton armé.
- ✚ Des caniveaux de section rectangulaire en béton armé.

Recommandations et perspectives

Les recommandations que l'on peut faire au gouvernement est de :

- ✚ Veiller à l'entretien courant et périodique de la route
- ✚ Veiller à l'entretien des ouvrages d'assainissement
- ✚ Sensibiliser les usagers de la route contre l'incivisme
- ✚ Sensibiliser contre l'occupation anarchique de la route
- ✚ Placer des bacs à poubelle tout au long de la route
- ✚ Sensibiliser la population sur le code de la route et les règles d'hygiène de base

Comme prescription, nous proposons :

- ✚ La mise en place de panneaux visuels aux différents carrefours de la route, diffusant les sensibilisations au civisme et leurs conséquences.
- ✚ La mise en place de radar aux feux rouges pour diminuer l'incivisme des usagers de la route grille le feu rouge.
- ✚ La mise en œuvre d'un système de détection automatique d'incendie (DAI) routier pour optimiser les durées de détection d'incident afin de minimiser la gêne à la circulation et sauvé des vies.

BIBLIOGRAPHIE

- ✚ A l'Huissier, 1996. L'assainissement des eaux pluviales en milieu urbain tropical subsaharien : dossiers techniques.
- ✚ archiexpo.fr [WWW Document], 2021. www.archiexpo.fr. URL (accessed 6.24.21).
- ✚ CEBTP, 1984. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux.
- ✚ CHARON, P., 1986. Calcul des ouvrages en béton armé suivant les règles BAEL.
- ✚ CHOW. V. T, 1959. Open channel Hydraulics.
- ✚ COMBERE, M., 2017. Les différentes méthodes de dimensionnement de la chaussée.
- ✚ Fascicule n°61 Titre II du CCTG, 1980. Programmes de charges et épreuves des ponts routes, Texte officiel.
- ✚ Guide technique de l'assainissement 3ème édition, 2008.
- ✚ KAFANDO, S., 2019. Rapport d'étude géotechnique provisoire sur la chaussée existante de la rocade sud-est.
- ✚ MAR, L., 2004. Ecoulement a surface libre.
- ✚ MEBARKI, G., 2018. L'essai CBR.
- ✚ MESSAN, A., 2016. Ouvrage d'art-conception et dimensionnement des petits ouvrages de franchissement routier.
- ✚ Ministère Français de l'Equipement et du logement., 1980. Fascicule 61 – Titre II.- PROGRAMMES DE CHARGES ET EPREUVES DES PONTS-ROUTES.
- ✚ Mission d'étude de la JICA, 2017. ETUDE PREPARATOIRE DU PROJET DE RENFORCEMENT DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES TANSOBA A OUAGADOUGOU.
- ✚ NEMARO, H.T.R., 2019. Procédure d'exécution des travaux.
- ✚ Paul Raul, J & Lacroix, J. L, n.d. Le dictionnaire professionnel du BTP.
- ✚ SETRA, 1994. Aménagement des routes principales.
- ✚ SETRA, 1992. Ponts-cadres et portiques Guide de conception.
- ✚ TAPSOBA, R.D., 2018. Calcul d'ouvrage d'art de type ponceau et dalot.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Récapitulatif des essais et analyse géotechnique	1
ANNEXE 2 : spécification de la conception	8
ANNEXE 3 : vérifications du dimensionnement de la structure de chaussée.....	9
ANNEXE 4 : Délimitation des bassins versant.	21
ANNEXE 5 : Note de calcul du caniveau.	22
ANNEXE 6 : Plan de contrôle qualité de la GNT et des enrobés.	31
ANNEXE 7 : Note de calcul du dalot OH 3.....	36
ANNEXE 8 : Impact environnemental et social.	80
ANNEXE 9 : Dimensionnement hydraulique des ouvrages d'assainissement.	88
ANNEXE 10 : Reportage photographique de la mise en œuvre des Tavaux.....	91
ANNEXE 11 : Analyse des risques et sécurité des opération.	100
ANNEXE 12 : Profil en long et vue en plan	102
ANNEXE 13 : Profil en travers type	103
ANNEXE 14 : Plan de ferrailage	104

ANNEXE 1 : Récapitulatif des essais et analyse géotechnique

Rocade Sud-Est : Récapitulatif des Résultats des essais d'identification sur les matériaux des Elargissements																					
N° Ech	Sondage N°	Provenance	PK	Couche			Analyse Granulométrique (% Passants)						Limites d'Atterberg		Proctor Modifié		CBR après 96H d'immersion				Observations
				Nature	Position	Epaisseur (m)	20 mm	10 mm	5mm	2mm	1mm	0,080 mm	LL	IP	Y _{opt}	W _{opt}	90%	95%	98%	Gonf.	
				Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,70m)	0,70															Purge
48	Sondage N°1	Elargissement Droite	PK 0+250	G.A.L	2ème Couche (0,70 à 1,10m)	0,40	98,0	90,0	77,0	66,5	63,0	43,0	29,0	13,0	2,035	8,4	4	8	12		Teneur en fines élevée, Faible Portance
49				G.A.L	3ème Couche (1,10 à 1,50m)	0,40	96,0	80,5	61,5	45,5	43,0	34,0	35,6	18,6	2,075	9,6	8	15	20		LL élevée, fines élevés, Portance limite inférieure
	Sondage N°2	Elargissement Gauche	PK 0+475	Déchets	(0,00 à 0,02m)	0,02															Purge
50				G.A.L	1ère Couche (0,02 à 0,37m)	0,35	92,0	80,0	57,0	39,5	35,5	18,0	19,9	8,6	2,200	6,0	12	35	55		Bon Matériau
51				G.A.L	2ème Couche (0,37 à 0,92m)	0,55	85,5	56,5	36,0	26,5	23,5	14,0	31,5	14,3	2,020	11,0	9	22	42		LL élevée
52				G.A.L Friable	3ème Couche (0,92 à 1,50m)	0,58	99,0	91,0	78,0	66,5	60,5	46,5	45,8	23,1	1,795	14,0	6	10	14		LL élevée, fines élevés, Faible Portance
	Sondage N°3	Elargissement Droite (Axe)	PK 0+850	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,15m)	0,15															Purge
64				G.A.L	2ème Couche (0,15 à 0,42m)	0,27	99,0	94,0	76,0	55,0	49,0	26,5	21,6	11,0	2,135	7,2	7	15	24		Bon Matériau
65				G.A.L	3ème Couche (0,42 à 0,76m)	0,34	92,0	82,0	62,0	42,5	36,5	20,0	34,8	16,1	2,090	10,4	15	26	36		LL élevée
66				G.A.L	4ème Couche (0,76 à 1,19m)	0,43	92,0	66,0	45,0	34,5	32,0	21,0	21,5	10,5	2,115	7,8	4	40	71		Bon Matériau
67				G.A.L	5ème Couche (1,19 à 1,81m)	0,62	98,5	89,0	74,5	63,0	57,5	45,5	40,3	19,8	1,835	12,8	3	4	6		LL élevée, fines élevés, Faible Portance
	Sondage N°4	Elargissement Gauche	PK 1+100	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,40m)	0,40															Purge
55				G.A.L	2ème Couche (0,40 à 0,70m)	0,30	98,5	87,0	66,5	48,5	43,0	23,5	28,8	14,7	2,110	8,4	9	17	25		Bon Matériau
56				G.A.L	3ème Couche (0,70 à 1,00m)	0,30	96,0	63,5	44,0	33,5	31,0	20,5	33,8	16,2	2,145	7,0	10	41	58		LL élevée
57				G.A.L Friable	4ème Couche (1,00 à 1,70m)	0,70	97,5	74,5	53,0	43,0	39,5	29,5	43,0	21,7	1,950	11,2	5	9	14		LL élevée, Faible portance
	Sondage N°5	Elargissement Droite	PK 1+350	G.A.L	1ère Couche (0,00 à 0,20m)	0,20	96,5	84,5	64,0	44,5	40,0	16,5	18,9	8,2	2,210	6,6	11	40	70		Bon Matériau
59				G.A.L	2ème Couche (0,20 à 0,75m)	0,55	99,0	92,0	66,5	41,5	37,0	19,5	20,5	9,1	2,255	6,1	9	20	34		Bon Matériau
60				G.A.L	3ème Couche (0,75 à 1,00m)	0,25	98,0	89,0	70,0	49,5	43,5	22,5	27,2	13,1	2,145	8,8	14	44	64		Bon Matériau
61	Sondage N°6	Elargissement Gauche	PK 1+425	G.A.L	1ère Couche (0,00 à 0,25m)	0,25	96,5	88,0	79,0	62,0	53,0	17,0	19,9	8,9	2,150	6,4	16	40	73		Bon Matériau
62				G.A.L	2ème Couche (0,25 à 0,70m)	0,45	100,0	94,0	75,0	52,0	46,0	22,0	18,0	7,5	2,235	6,2	10	80	120		Bon Matériau
63				G.A.L	3ème Couche (0,70 à 1,00m)	0,30	99,0	96,0	80,5	49,5	45,0	29,0	20,6	7,3	2,260	6,0	11	32	52		Bon Matériau
				Enrobé	1ère Couche (0,00 à 0,07m)	0,07															Purge

ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO

Rocade Sud-Est : Récapitulatif des Résultats des essais d'identification sur les matériaux des Elargissements																					
N° Ech	Sondage N°	Provenance	PK	Couche			Analyse Granulométrique (% Passants)						Limites d'Atterberg		Proctor Modifié		CBR après 96H d'immersion				Observations
				Nature	Position	Epaisseur (m)	20 mm	10 mm	5mm	2mm	1mm	0,080 mm	LL	IP	γ_{opt}	W_{opt}	90%	95%	98%	Gonf.	
68	Sondage N°7	Elargissement Gauche	PK 1+775	G.A.L	2ème Couche (0,07 à 0,26m)	0,19	100,0	94,5	71,0	43,0	37,5	19,0	20,0	9,0	2,255	6,4	10	34	54		Bon Matériau
69				G.A.L	3ème Couche (0,26 à 0,58m)	0,32	100,0	93,5	68,5	47,0	42,0	22,5	20,7	9,2	2,210	6,4	5	30	53		Bon Matériau
70				G.A.L	4ème Couche (0,58 à 0,95m)	0,37	97,5	86,0	63,0	45,5	41,5	21,0	19,6	8,5	2,140	6,7	5	22	35		Bon Matériau
	Sondage N°8	Elargissement Gauche	PK 2+125	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,19m)	0,19															Purge
71				G.A.L	2ème Couche (0,19 à 0,31m)	0,12	99,0	92,0	73,0	54,5	48,0	20,0	19,0	8,5	2,095	8,0	12	48	76		Bon Matériau
72				G.A.L	3ème Couche (0,31 à 0,42m)	0,11	97,5	86,5	62,5	41,0	35,0	17,5	26,1	12,1	2,160	8,5	12	51	72		Bon Matériau
73				G.A.L	4ème Couche (0,42 à 0,64m)	0,22	96,5	87,5	73,0	61,0	57,0	36,0	42,6	20,6	2,190	6,4	4	7	11		LL élevée, %fines élevé, Faible Portance
	Sondage N°9	Elargissement Gauche	PK 2+250	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,20m)	0,20															Purge
74				G.A.L	2ème Couche (0,20 à 0,31m)	0,11	98,0	90,0	70,0	48,0	42,0	21,0	17,2	6,1	2,080	8,6	8	44	64		Bon Matériau
75				G.A.L	3ème Couche (0,31 à 0,65m)	0,34	98,0	94,0	79,0	58,5	51,5	33,5	31,1	15,1	1,980	10,4	5	18	27		LL élevée, %fines élevé
76				G.A.L	4ème Couche (0,65 à 0,95m)	0,30	95,0	81,5	55,0	36,0	28,0	20,5	31,0	15,0	2,170	8,0	10	34	50		LL élevée
	Sondage N°10	Elargissement Gauche	PK 2+375	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,18m)	0,18															Purge
77				G.A.L	2ème Couche (0,18 à 0,47m)	0,29	99,5	94,0	74,5	52,5	46,0	20,0	20,0	8,5	2,210	7,7	20	64	99		Bon Matériau
78				G.A.L	3ème Couche (0,47 à 0,67m)	0,20	97,0	90,0	72,0	54,0	48,0	27,5	26,7	12,2	2,155	7,3	6	16	23		Bon Matériau
79				G.A.L	4ème Couche (0,67 à 0,84m)	0,17	90,0	82,0	52,5	34,5	30,5	19,5	30,9	15,0	2,155	7,6	9	17	24		LL élevée
80	Sondage N°11	Elargissement Gauche	PK 3+200	G.A.L	1ère Couche (0,00 à 0,19m)	0,19	99,0	89,5	66,0	45,0	39,0	27,5	37,8	19,7	2,105	8,4	7	19	28		LL élevée
81				G.A.L	2ème Couche (0,19 à 0,54m)	0,35	99,0	96,5	90,0	82,0	77,0	47,0	20,9	9,0	2,130	6,7	5	12	21		%fines élevé, Faible Portance
82				G.A.L	3ème Couche (0,54 à 0,97m)	0,43	98,0	86,0	65,5	47,0	40,5	23,5	26,7	12,7	2,055	9,2	12	42	68		Bon Matériau
83				G.A.L	4ème Couche (0,97 à 1,50m)	0,53	94,0	79,5	60,0	44,5	39,0	25,0	28,8	13,1	2,025	9,5	8	49	72		Bon Matériau
	Sondage N°12	Elargissement Droite	PK 3+575	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,50m)	0,50															Purge
84				G.A.L Friable	2ème Couche (0,50 à 0,93m)	0,43	93,0	70,0	52,5	39,0	35,0	27,5	34,4	17,0	2,100	8,2	8	21	38		LL élevée
	Sondage N°13	Elargissement Gauche	PK 4+200	Déchets	1ère Couche (0,00 à 0,37m)	0,37															Purge
85				G.A.L	2ème Couche (0,37 à 0,90m)	0,43	97,5	93,0	79,5	64,5	59,0	36,5	25,5	11,5	2,065	8,2	8	19	27		%fines élevé
86				G.A.L Friable	3ème Couche (0,90 à 1,09m)	0,29	90,5	74,0	51,0	34,5	31,0	23,0	36,6	17,6	2,145	8,2	7	11	14		LL élevée, Faible portance

ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO

Rocade Sud-Est : Récapitulatif des Résultats des essais d'identification sur les matériaux des Elargissements																					
N° Ech	Sondage N°	Provenance	PK	Couche			Analyse Granulométrique (% Passants)						Limites d'Atterberg		Proctor Modifié		CBR après 96H d'immersion				Observations
				Nature	Position	Epaisseur (m)	20 mm	10 mm	5mm	2mm	1mm	0,080 mm	LL	IP	Y _{opt}	W _{opt}	90%	95%	98%	Gonf.	
				Enrobé	(0,00 à 0,05m)	0,05														Purge	
87	Sondage N°14	Elargissement Droite	PK 4+550	Argile + Déchets	1ère Couche (0,05 à 0,36m)	0,31	97,5	87,5	69,5	54,5	50,0	34,0	33,9	16,3	2,080	8,7	2	5	7	LL élevée, %fines élevé, Faible Portance	
88				Argile + Déchets	2ème Couche (0,36 à 0,80m)	0,44	97,0	94,0	88,0	81,5	76,0	15,0	28,6	14,0	1,975	8,8	6	9	15	Faible portance	
89				G.A.L	3ème Couche (0,80 à 1,44m)	0,64	96,0	87,0	74,0	63,5	58,5	31,0	27,9	12,3	2,030	9,1	5	11	24	%fines élevé, Faible Portance	
90	Sondage N°15	Elargissement Droite	PK 4+750	G.A.L Litho stabilisé	1 ^{re} Couche (0,00 à 0,12m)	0,12	89,5	78,0	58,0	39,5	34,5	16,5	24,7	12,1	2,175	6,6	21	40	68	Bon Matériau	
91				G.A.L	2ème Couche (0,12 à 0,48)	0,36	91,5	80,0	59,0	51,0	36,0	20,5	21,8	10,8	2,160	8,3	12	50	82	Bon Matériau	
	Sondage N°16	Elargissement Droite	PK 4+950	Déchets	1 ^{re} Couche (0,00 à 0,08m)	0,08													Purge		
92				G.A.L	2ème Couche (0,08 à 0,35m)	0,27	100,0	93,0	77,0	58,0	50,5	30,0	24,8	12,8	2,075	8,7	8	17	26	Bon Matériau	
93				G.A.L	3ème Couche (0,35 à 0,58m)	0,23	96,5	92,0	77,0	54,5	51,0	33,0	23,8	12,8	2,130	7,8	9	20	30	%fines élevé	
	Sondage N°17	Elargissement Gauche	PK 5+350	G.A.L Litho + Déchet	1 ^{re} Couche (0,00 à 0,40m)	0,40	95,0	85,0	66,5	47,0	40,5	23,5	27,1	12,0	2,120	8,6	14	19	27	Bon Matériau	
94				G.A.L	2ème Couche (0,40 à 0,61m)	0,21	99,5	94,0	71,0	51,5	46,0	21,5	19,7	8,4	2,230	6,0	22	60	84	Bon Matériau	
95				G.A.L	3ème Couche (0,61 à 1,35m)	0,74	94,0	66,5	38,5	25,0	22,0	15,0	32,0	15,6	2,090	8,6	21	44	68	LL élevée	
	Sondage N°18	Elargissement Gauche	PK 5+700	Déchets	1 ^{re} Couche (0,00 à 0,16m)	0,16													Purge		
96				G.A.L	2ème Couche (0,16 à 0,30m)	0,14	99,0	93,0	77,5	59,0	53,0	25,5	19,0	8,0	2,230	6,4	12	16	23	Bon Matériau	
97				G.A.L	3ème Couche (0,30 à 0,43m)	0,13	99,5	95,5	80,0	61,5	46,5	27,0	23,5	11,5	2,140	8,0	8	23	40	Bon Matériau	
98				G.A.L	4ème Couche (0,43 à 0,71m)	0,28	100,0	97,0	84,5	70,0	65,0	36,5	21,8	10,8	2,070	6,0	5	8	12	%fines élevé, Faible Portance	
	Sondage N°19	Elargissement Gauche	PK 6+050	Déchets	1 ^{re} Couche (0,00 à 0,24m)	0,24													Purge		
99				G.A.L	2ème Couche (0,24 à 0,37m)	0,13	99,0	95,0	78,0	58,0	52,5	19,0	18,8	9,0	2,170	6,5	15	42	60	Bon Matériau	
100				G.A.L	3ème Couche (0,37 à 0,53)	0,16	96,0	82,5	60,5	48,0	46,0	25,5	16,7	6,6	2,180	7,0	20	47	72	Bon Matériau	
101				Carapace friable	4ème Couche (0,53 à 0,84m)	0,31	95,5	75,0	49,5	34,5	30,0	15,0	20,9	9,4	2,165	7,8	24	80	112	Bon Matériau	
				Revêtement	(0,00 à 0,03m)	0,03														Purge	
102	Sondage N°20	Elargissement Droite	PK 6+750	G.A.L	2ème Couche (0,03 à 0,21m)	0,18	97,0	91,5	77,0	59,5	54,0	28,0	25,0	11,0	2,195	8,0	13	38	58	Bon Matériau	
103				G.A.L	3ème Couche (0,21 à 0,47m)	0,26	99,5	91,0	66,5	45,0	40,5	20,0	23,0	9,0	2,240	6,8	9	16	26	Bon Matériau	
104				G.A.L	4ème Couche (0,47 à 0,70m)	0,23	92,5	72,0	42,5	24,0	21,0	11,0	21,1	9,1	2,170	8,0	18	70	100	Bon Matériau	
				G.A.L	1 ^{re} Couche (0,00 à 0,18m)	0,18	99,0	90,0	78,0	55,5	48,0	26,0	28,7	14,2	2,100	9,2	10	21	38	Bon Matériau	
105	Sondage N°21	Elargissement Droite	PK 6+950	G.A.L	2ème Couche (0,18 à 0,46m)	0,28	106,0	99,0	90,0	77,0	51,5	34,5	31,1	15,1	2,020	9,0	12	19	26	LL élevée, %fines élevé	
106				G.A.L	3ème Couche (0,46 à 0,79m)	0,33	99,0	91,5	67,5	46,5	41,5	22,0	22,9	11,8	2,210	6,4	18	56	88	Bon Matériau	
107				G.A.L	4ème Couche (0,79 à 1,00m)	0,21	100,0	96,0	83,0	64,0	57,5	37,5	34,8	17,0	1,940	11,6	5	12	16	LL élevée, %fines élevé, Faible Portance	
108				G.A.L	5ème Couche (1,00 à 1,65m)	0,65	100,0	89,5	73,5	61,5	58,5	48,0	36,8	18,2	1,890	12,0	5	13	17	LL élevée, %fines élevé, Faible Portance	
109				G.A.L																	

Mesure de déflexion(KAFANDO, 2019)

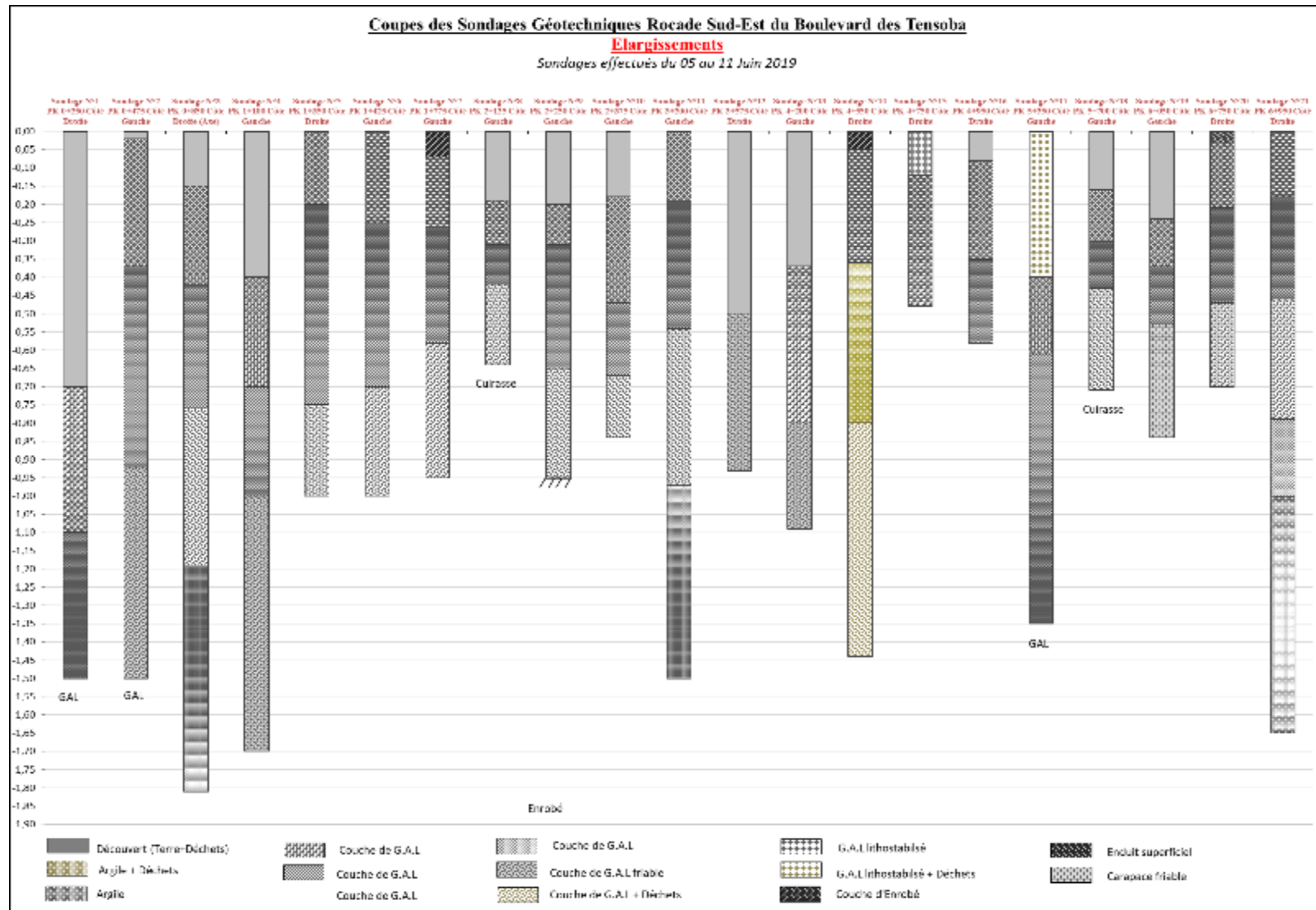
PK	Côté Droit		Côté Gauche		PK	Côté Droit		Côté Gauche		PK	Côté Droit		Côté Gauche	
	Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite		Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite		Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite
0,025		58		64	1,025		22		20	2,025		38		22
0,050	22		34		1,050	46		24		2,050	68		20	
0,075		34		44	1,075		18		32	2,075		28		50
0,100	24		16		1,100	44		42		2,100	46		40	
0,125		30		32	1,125		24		30	2,125		18		32
0,150	22		60		1,150	32		36		2,150	50		44	
0,175		22		20	1,175		34		36	2,175		44		56
0,200	38		38		1,200	46		20		2,200	62		62	
0,225		44		30	1,225		20		26	2,225		42		52
0,250	14		16		1,250	22		38		2,250	56		66	
0,275		28		20	1,275		24		22	2,275		36		34
0,300	26		32		1,300	32		20		2,300	68		84	
0,325		26		40	1,325		26		26	2,325		18		46
0,350	28		60		1,350	22		32		2,350	30		20	
0,375		24		42	1,375		30		24	2,375		20		30
0,400	22		16		1,400	32		20		2,400	64		58	
0,425		18		34	1,425		24		32	2,425		56		44
0,450	12		40		1,450	24		30		2,450	20		24	
0,475		24		42	1,475		26		32	2,475		26		42
0,500	42		28		1,500	30		20		2,500	54		40	
0,525		38		36	1,525		30		50	2,525		12		66
0,550	16		48		1,550	20		48		2,550	48		62	
0,575		34		22	1,575		30		34	2,575		44		58
0,600	34		28		1,600	30		54		2,600	68		74	
0,625		50		18	1,625		20		30	2,625		16		48
0,650	14		36		1,650	42		60		2,650	12		80	
0,675		32		22	1,675		20		84	2,675		42		34
0,700	58		54		1,700	38		44		2,700	70		40	
0,725		30		38	1,725		20		34	2,725		20		66
0,750	62		22		1,750	64		86		2,750	54		76	
0,775		22		34	1,775		24		14	2,775		28		42
0,800	48		34		1,800	44		50		2,800	64		42	
0,825		40		32	1,825		18		26	2,825		26		46
0,850	32		36		1,850	20		28		2,850	64		78	
0,875		30		40	1,875		16		16	2,875		24		20
0,900	58		54		1,900	36		50		2,900	66		52	
0,925		42		22	1,925		34		26	2,925		24		36
0,950	42		28		1,950	74		40		2,950	66		60	
0,975		38		32	1,975		24		58	2,975		30		42
1,000	30		16		2,000	40		40		3,000	46		50	

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

PK	Côté Droit		Côté Gauche		PK	Côté Droit		Côté Gauche		PK	Côté Droit		Côté Gauche	
	Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite		Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite		Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite
3,025		14		56	4,025		26		52	5,025		44		40
3,050	18		24		4,050	24		62		5,050	22		38	
3,075		36		40	4,075		28		52	5,075		46		28
3,100	52		60		4,100	60		62		5,100	38		12	
3,125		54		30	4,125		72		104	5,125		34		62
3,150	30		50		4,150	32		106		5,150	26		44	
3,175		38		46	4,175		34		100	5,175		46		44
3,200	52		44		4,200	92		68		5,200	26		22	
3,225		64		40	4,225		56		92	5,225		52		44
3,250	84		82		4,250	62		102		5,250	18		50	
3,275		80		66	4,275		54		80	5,275		26		34
3,300	90		58		4,300	24		32		5,300	28		42	
3,325		42		30	4,325		48		60	5,325		26		52
3,350	50		72		4,350	22		60		5,350	16		30	
3,375		42		48	4,375		32		36	5,375		42		38
3,400	46		28		4,400	42		24		5,400	28		48	
3,425		28		84	4,425		72		46	5,425		28		56
3,450	42		62		4,450	26		28		5,450	20		26	
3,475		62		48	4,475		26		62	5,475		36		38
3,500	46		50		4,500	28		22		5,500	48		44	
3,525		46		60	4,525		56		20	5,525		24		32
3,550	28		54		4,550	18		26		5,550	12		24	
3,575		32		64	4,575		30		50	5,575		40		40
3,600	36		34		4,600	22		26		5,600	44		40	
3,625		22		48	4,625		72		66	5,625		30		30
3,650	18		32		4,650	20		28		5,650	52		24	
3,675		28		34	4,675		24		28	5,675		42		48
3,700	40		38		4,700	30		24		5,700	22		60	
3,725		12		72	4,725		52		64	5,725		26		26
3,750	22		44		4,750	36		48		5,750	42		44	
3,775		18		40	4,775		68		48	5,775		36		50
3,800	48		36		4,800	30		22		5,800	26		36	
3,825		18		48	4,825		34		60	5,825		60		34
3,850	24		62		4,850	36		46		5,850	16		30	
3,875		26		70	4,875		40		66	5,875		60		24
3,900	42		38		4,900	36		18		5,900	22		38	
3,925		32		80	4,925		44		54	5,925		32		38
3,950	40		64		4,950	26		46		5,950	34		20	
3,975		20		64	4,975		30		60	5,975		66		38
4,000	46		36		5,000	32		16		6,000	14		40	

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

PK	Côté Droit		Côté Gauche		PK	Côté Droit		Côté Gauche		PK	Côté Droit		Côté Gauche	
	Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite		Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite		Voie Gauche	Voie Droite	Voie Gauche	Voie Droite
6,025		40		28	6,350	40		20		6,675		50		32
6,050	38		20		6,375		28		38	6,700	22		52	
6,075		36		34	6,400	28		26		6,725		20		48
6,100	14		44		6,425		20		44	6,750	50		38	
6,125		38		42	6,450	38		30		6,775		28		48
6,150	32		22		6,475		60		34	6,800	24		26	
6,175		34		22	6,500	22		42		6,825		20		38
6,200	14		26		6,525		38		34	6,850	20		24	
6,225		20		40	6,550	36		26		6,875		42		26
6,250	32		20		6,575		44		18	6,900	12		34	
6,275		50		32	6,600	16		32		6,925		38		40
6,300	22		40		6,625		40		50	6,950	26		24	
6,325		40		42	6,650	44		24		6,975		38		40



ANNEXE 2 : spécification de la conception.

Éléments	Unité	【 Route principale 】 Valeurs adoptées	Source																											
Vitesse de référence	km/hr	80	Normes du Burkina Faso																											
Largeur	m	3,5×2=7 0 (Voies autos) 2,5+1,0=3,5 (Voies moies)	Normes du Burkina Faso																											
Largeur des accotements	m	0,0 m (calqué sur les sections avoisinantes. Pas d'accotements) *Le Décret portant fixation à la structure des routes indique également la possibilité de se passer des accotements	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Largeur du terre-plein central Largeur des bandes latérales	m	4,0 (Terre-plein central : tenir compte de l'installation future de ples de ponts) 0,25 (Bandes latérales)	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Largeur et forme des trottoirs	m	2,0m Forme plate	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Dévers type	%	2,5	Normes du Burkina Faso																											
Dévers des trottoirs	%	2.0	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Dévers maximal dans les courbes	%	7.0	Normes du Burkina Faso																											
Déclivité longitudinale maximum	%	6.0	Normes du Burkina Faso																											
Rayon de courbure longitudinale minimal	m	<table><tr><td rowspan="4">En angle saillant</td><td>Valeur minimale si on ne peut faire autrement</td><td>2 voies ou 3 voies</td><td>4500</td></tr><tr><td></td><td>4 voies ou 2 x 2 voies</td><td>3000</td></tr><tr><td>Valeur minimale normale</td><td>2 voies ou 3 voies</td><td>10000</td></tr><tr><td></td><td>4 voies ou 2 x 2 voies</td><td>6000</td></tr><tr><td rowspan="4">En angle rentrant</td><td>Valeur minimale si on ne peut faire autrement</td><td rowspan="4">Toutes les routes</td><td>2200</td></tr><tr><td></td><td>2200</td></tr><tr><td>Valeur minimale normale</td><td>3000</td></tr><tr><td></td><td>3000</td></tr><tr><td colspan="3">Si une voie dédiée au dépassement est assurée en cas de 2 voies</td><td>11000</td></tr></table>	En angle saillant	Valeur minimale si on ne peut faire autrement	2 voies ou 3 voies	4500		4 voies ou 2 x 2 voies	3000	Valeur minimale normale	2 voies ou 3 voies	10000		4 voies ou 2 x 2 voies	6000	En angle rentrant	Valeur minimale si on ne peut faire autrement	Toutes les routes	2200		2200	Valeur minimale normale	3000		3000	Si une voie dédiée au dépassement est assurée en cas de 2 voies			11000	Normes du Burkina Faso
En angle saillant	Valeur minimale si on ne peut faire autrement	2 voies ou 3 voies		4500																										
		4 voies ou 2 x 2 voies		3000																										
	Valeur minimale normale	2 voies ou 3 voies		10000																										
		4 voies ou 2 x 2 voies	6000																											
En angle rentrant	Valeur minimale si on ne peut faire autrement	Toutes les routes	2200																											
			2200																											
	Valeur minimale normale		3000																											
			3000																											
Si une voie dédiée au dépassement est assurée en cas de 2 voies			11000																											
Élargissement	m	Importance de l'élargissement S=50/R (R<200)	Normes du Burkina Faso																											
Rayon de courbure minimal	m	<table><tr><td colspan="2">Valeur minimale si on ne peut faire autrement</td><td rowspan="2">240</td></tr><tr><td colspan="2">(Déclivité : 7 %)</td></tr><tr><td colspan="2">Valeur minimale normale</td><td rowspan="2">425</td></tr><tr><td colspan="2">(Déclivité : 5%)</td></tr><tr><td colspan="2">Valeur minimale si on ne peut faire autrement</td><td rowspan="2">900</td></tr><tr><td colspan="2">(Déclivité ≤ 2%)</td></tr></table>	Valeur minimale si on ne peut faire autrement		240	(Déclivité : 7 %)		Valeur minimale normale		425	(Déclivité : 5%)		Valeur minimale si on ne peut faire autrement		900	(Déclivité ≤ 2%)		Normes du Burkina Faso												
Valeur minimale si on ne peut faire autrement		240																												
(Déclivité : 7 %)																														
Valeur minimale normale		425																												
(Déclivité : 5%)																														
Valeur minimale si on ne peut faire autrement		900																												
(Déclivité ≤ 2%)																														
Distance minimale entre deux courbes (longueur de l'espacement entre deux courbes)	m	Valeur minimale si on ne peut faire autrement : 110 Valeur minimale normale : 135	Normes du Burkina Faso																											
Distance de visibilité	m	325	Normes du Burkina Faso																											
Longueur minimale des courbes	m	140	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Longueur minimale des courbes longitudinales	m	70	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Longueur minimale des raccordements progressifs	m	70	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Pente transversale et longitudinale combinée maximale	%	10.5	Décret portant fixation à la structure des routes																											
Structure du revêtement	mm	Couche de roulement, couche de liaison (5 cm chacune), Couche de base (20 cm), couche de fondation (25 cm)	AASHTO																											
Remarques		..	..																											

Figure : Principale spécifications de la conception (Source : Norme du Burkina Faso= Norme UEMOA (REGLEMENT N° 08/2009/CM/UEMOA))

ANNEXE 3 : vérifications du dimensionnement de la structure de chaussée

Etude trafic

Données

Durée de vie : 15 ans

Essieu de référence : 13 tonnes

Trafic moyen journalier annuel : 661 PL/jour

Taux de croissance du trafic : 6,8 %

Coefficient d'agressivité moyen (CAM) : 1,3

Portance de la plateforme de terrassement : 30

Calcul du nombre d'essieu équivalent NE :

$$NE = N * CAM$$

$$N = 365 * TMJA * C$$

N : Trafic moyen journalier annuel

CAM : Coefficient d'agressivité moyen

Dans notre cas nous avons considéré un cas de croissance exponentiel car il nous donne un nombre de poids lourd plus élevé par rapport à celle linéaire d'où le plus défavorable.

Calculons le facteur de cumul :

$$C = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

i: Taux de croissance du trafic

C: facteur de cumul

AN :

$$C = \frac{(1 + 0,068)^{15} - 1}{0,068}$$

$$C = 24,745$$

Calcul de NE

AN :

$$NE = 365 * 661 * 24,745 * 1,3$$

$$NE = 7,76.10^6 PL$$

Déterminons la classe de trafic :

Tableau : Classe de trafic exprimée en nombre cumulé d'un essieu équivalent (Source : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux)

Essieu équivalent (13tonnes)
$T_1 < 5.10^5$
$5.10^5 < T_2 < 1,5.10^6$
$1,5.10^6 < T_3 < 4.10^6$
$4.10^6 < T_4 < 10^7$
$10^7 < T_5 < 2.10^7$

D'après le tableau ci-dessus du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP, notre trafic correspond à la [classe T4](#). Ce qui sera utilisé pour le calcul de l'épaisseur de la chaussée.

Classe de portance du sol support :

La plateforme de terrassement a un CBR 30, d'où selon le tableau des classes de portance des sols rencontré en pays tropicaux du CEBTP ci-dessous :

Tableau : Classe de portance du sol rencontré en pays tropicaux (Source : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux).

Portance	CBR de la plateforme
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

D'après le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP, nous considérerons la classe [de portance S5](#).

Vérification du dimensionnement de la structure de chaussée du bureau d'étude :

Choix de la méthode de dimensionnement :

Les méthodes de dimensionnement des structures de chaussée se subdivise en trois principaux groupes que sont les méthodes dites classiques ou empiriques basées sur l'expérience (CBR, etc.), les méthodes modernes, rationnelles ou d'approches théorique (Boussinesq, Westergaard, etc.) Basées sur la considération et les méthodes semi empiriques (CEBTP, TRRL, etc.). Ci-dessous un tableau présentant les différentes méthodes et les paramètres que celle-ci utilise pour le dimensionnement structural de la chaussée.

Tableau : Choix de la méthode de dimensionnement (COMBERE, 2017).

Méthode	Nom de la méthode	Paramètre pris en compte pour le dimensionnement d'une structure de chaussée			
		Contrainte de traction et de compression	CBR de la Pf	Classe de trafic	Taux de croissance du trafic
Empirique	CBR	+	+	-	-
Semi-empirique	CEBTP	+	+	+	+
	TRRL	-	+	-	-
Rationnelle	Boussinesq	+	-	-	-
	Westergaard	+	+	-	-

+ : Paramètre pris en compte

- : Paramètre non pris en compte

Le tableau ci-dessus nous montre que c'est la méthode CEBTP qui prend en compte tous les paramètres pour un dimensionnement structural de la chaussée optimal. Et aussi le CEBTP est adapté pour le dimensionnement des chaussées des pays tropicaux, d'où nous choisirons la méthode semi-empirique CEBTP pour notre dimensionnement.

De notre étude de trafic nous avons une classe de trafic T4 et une classe de portance S5 de la plateforme.

Tableau : Structure de chaussée proposé par le bureau d'étude.

COUCHES	Matériau	Epaisseur (cm)
Revêtement	BBME	5
Couche de liaison	BBME	5
Base	GNT 0/31,5	20
Fondation	GNT 0/40	25

A savoir que la variante proposée par le bureau d'étude a été faite de sorte que :

Les déformations en dessous du trafic restent admissibles par rapport au comportement en fatigue du matériau

Les contraintes de compression au niveau de la plateforme n'entraînent pas le poinçonnement de la plateforme

Contraintes de traction à la base des couches améliorées ou traitées n'entraînent pas leur rupture par flexion

NB : Nous veillerons à respecter que les matériaux en couche de base aient au minimum un CBR = 80% et en couche de fondation un CBR = 30% conformément au cahier des clauses techniques particulière.

Vérification des contraintes et déformations dans les différentes couches de la chaussée :

Critère a vérifié :

L'allongement ε_t à la base des couches bitumineuses reste inférieur à une valeur admissible

$\varepsilon_{t,adm}$

La déformation verticale ε_z à la surface des couches de base, de fondation et du sol support est inférieure à une valeur limite $\varepsilon_{z,adm}$

Classification des sols en fonction de leur portance			
p	Examen visuel (essieu de 13 t)	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV_2 (MPa)
p_0	circulation impossible, sol inapte, très déformable	$CBR \leq 3$	$EV_2 \leq 15$
p_1	ornières derrière l'essieu de 13 t déformable	$3 < CBR \leq 6$	$15 < EV_2 \leq 20$
p_2 ou PF_1	pas d'ornières derrière l'essieu de 13 t	déformable	$6 < CBR \leq 10$
p_3 ou PF_2		pou déformable	$10 < CBR \leq 20$
p_4 ou PF_3		très peu déformable	$20 < CBR \leq 50$
p_5 ou PF_4		très peu déformable	$CBR > 50$
			$EV_2 > 200$

Figure : Classification des sols en fonction de leur portance (MEBARKI, 2018).

Le sol support de notre plateforme a un indice CBR égal à 30, Elle est donc de classe 3 (PF3).
Le module de Young du sol support est dans l'intervalle 120 à 200 MP d'après le tableau ci-dessus, d'où nous considérerons la valeur la plus défavorable (120 MPa).

Les couches étant liées, nous considérerons un coefficient de poisson $\nu = 0.35$

Calculons l'allongement admissible à la base des couches bitumineuses

D'après la loi de fatigue des matériaux bitumineuse :

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(\theta_{eq}, f) * \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b * \left(\frac{E(\theta^\circ C)}{E(\theta_{eq})}\right)^{0,5} * K_c * K_r * K_s$$

ε_6 est la déformation à appliquer pour avoir une rupture du matériau par fatigue à 10^6 cycles

b Est la pente de la courbe de fatigue

NE est le nombre équivalent d'essieux

K_r est un coefficient de sécurité qui prend en compte le risque de variation d'épaisseur et de dispersion de valeurs d'essai de fatigue

K_s est un coefficient qui rend compte du type de plateforme support

K_c est un coefficient qui prend en compte les écarts entre les résultats d'essais laboratoire et in situ.

Contrainte admissible des matériaux traités aux liants hydrauliques

$$\sigma_{t,adm} = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b * K_c * K_r * K_s$$

Tableau : valeur du coefficient K_c (source : NF P 98-170).

Couche de roulement	K_c
Béton bitumineux	1,1
Grave bitume	1,3
Béton de ciment	1,5

$$K_r = 10^{-ub\delta}$$

$u = -1,645$ Variable centrée réduite associée au risque r (aléatoire)

$b = -0,2$ Pente de la loi de fatigue

$SN = 0,3$ (grave bitume)

$SN = 0,25$ (BBME)

SN= 0,8 (SC3)

$$\delta = (SN^2 + (c \cdot \frac{Sh}{b})^2)^{0,5}$$

GB

$$\delta = (0,3^2 + (2 \cdot \frac{0,025}{0,2})^2)^{0,5}$$

$$\delta = 0,391$$

$\delta = 0,391$ Ecart-type de la distance de logN a la rupture

$$K_r = 0,744$$

BBME et BB

$$\delta = (0,25^2 + (2 \cdot \frac{0,025}{0,2})^2)^{0,5}$$

$$\delta = 0,353$$

$\delta = 0,391$ Ecart-type de la distance de logN a la rupture

$$K_r = 0,765$$

SC3

$$\delta = (0,8^2 + (2 \cdot \frac{0,025}{0,2})^2)^{0,5}$$

$$\delta = 0,838$$

$\delta = 0,391$ Ecart-type de la distance de logN a la rupture

$$K_r = 0,724$$

Tableau : Valeur du coefficient Ks (SETRA-LCPC, 1994).

Module	E $\leq 50MPa$	$50 MPa \leq E$ $\leq 120MPa$	$120MPa \leq E$
Ks	1/1,2	1/1,1	1/1

D'où d'après le tableau ci-dessus **Ks=1**.

Le tableau ci-dessous nous renseigne sur les caractéristiques mécaniques du bitume.

Tableau : Caractéristiques mécaniques du matériau bitumineux (SETRA-LCPC, 1994).

	$\varepsilon_6(10^\circ C, 25Hz)$	$E(10^\circ C, 10Hz)$	$E(\theta_{eq})$
BBME	100 μdef	12000 MPa	2170 MPa
GB	100 μdef	14550 MPa	3190 MPa

Structure initiale :

BBME

$$E(10^{\circ}C) = 12000 \text{ MPa}$$

$$\theta_{eq} = 30^{\circ}C$$

$$E(\theta_{eq}) = 2170 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 100 * \left(\frac{5,97.10^6}{10^6} \right)^{-0,2} * \left(\frac{12000}{2170} \right)^{0,5} * 1,1 * 0,765 * 1$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 118,5 \mu def$$

Déformation verticale admissible $\varepsilon_{z,adm}$

La valeur de la déformation admissible pour les matériaux granulaires est :

$$\varepsilon_{z,adm} = A * (NE)^{-0,222}$$

$\varepsilon_{z,adm}$: déformation verticale admissible.

Où : A = 0,012 (pour un trafic moyen a lourd) ou 0,016 (pour un plus faible trafic).

$$\varepsilon_{z,adm} = 0,012 * (5,97.10^6)^{-0,222}$$

$$\varepsilon_{z,adm} = 375,80 \mu def$$

Calculons l'allongement ε_t à la base de la couche bitumineuse et celui de la déformation verticale ε_z a la surface des couches de base, de fondation et du sol support avec le logiciel de dimensionnement de chaussée Alize-Lcpc.

Ci-dessous les résultats des calculs :

Tableau : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée choisi.

COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (μdef)	Déformation calculé (μdef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	0,8	OK
Couche de liaison	BBME	5 cm	3190		-257,8	NON
Base	GNT 0/31,5	20 cm	400	375,80	357,4	OK
Fondation	GNT 0/40	25 cm	200		303,0	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		398,2	NON

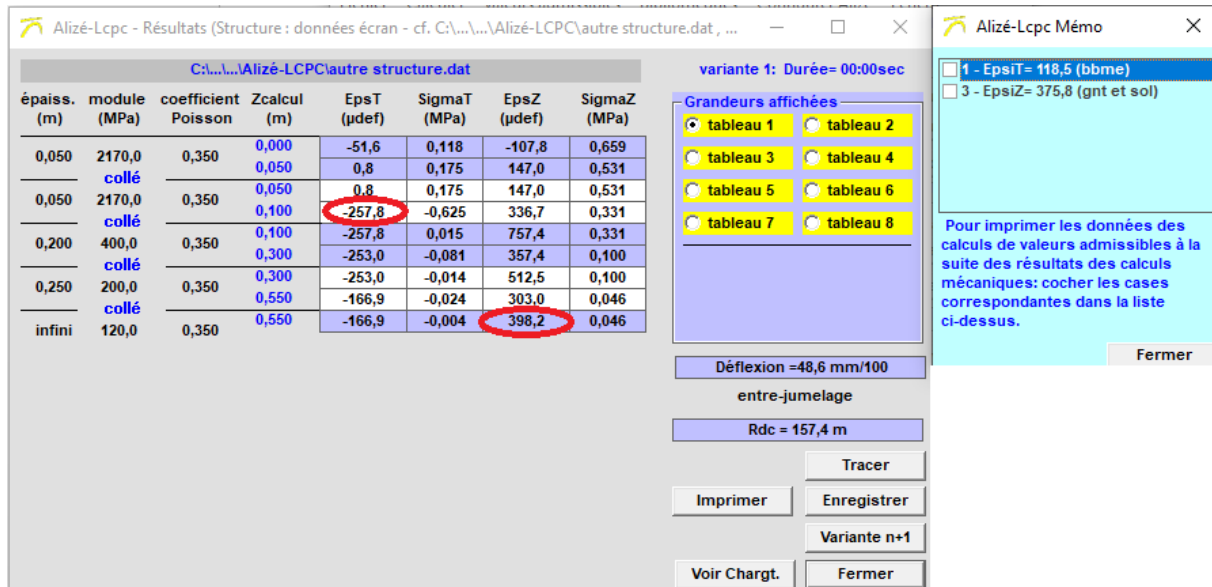


Figure : Contraintes et déformations des couches de chaussée.

Comme nous pouvons le voir $\epsilon_{zsol\ support} > \epsilon_{z,adm}$ et $\epsilon_{t,cl} > \epsilon_{t,adm}$ d'où la structure ne respecte pas les conditions de dimensionnement.

Propositions de deux variantes et vérification de leurs structures de chaussée :

Variante 1 :

COUCHES	Matériau	Epaisseur (cm)
Revêtement	BBME	5
Couche de liaison	GB	14
Base	GNT 0/31,5	20
Fondation	GNT 0/40	25

BBME

AN :

$$E(10^{\circ}C) = 12000 \text{ MPa}$$

$$\theta_{eq} = 30^{\circ}C$$

$$E(\theta_{eq}) = 2170 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{t,adm} = 100 * \left(\frac{5,97 \cdot 10^6}{10^6} \right)^{-0,2} * \left(\frac{12000}{2170} \right)^{0,5} * 1,1 * 0,765 * 1$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 118,5 \mu def$$

GB

$$E(10^{\circ}C) = 14550 MPa$$

$$\theta_{eq} = 30^{\circ}C$$

$$E(\theta_{eq}) = 3190 MPa$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 90 * \left(\frac{5,97 \cdot 10^6}{10^6} \right)^{-0,2} * \left(\frac{14550}{3190} \right)^{0,5} * 1,3 * 0,744 * 1$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 152,80 \mu def$$

Déformation verticale admissible $\varepsilon_{z,adm}$

La valeur de la déformation admissible pour les matériaux granulaires est :

$$\varepsilon_{z,adm} = A * (NE)^{-0,222}$$

Où : A = 0,012 (pour un trafic moyen a lourd) ou 0,016 (pour un plus faible trafic).

AN :

$$\varepsilon_{z,adm} = 0,012 * (5,97 \cdot 10^6)^{-0,222}$$

$$\varepsilon_{z,adm} = 375,80 \mu def$$

Tableau : Récapitulatif des efforts engendrés sur la structure de chaussée choisi.

COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (μdef)	Déformation calculé (μdef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	33,6	OK
Couche de liaison	GB	14 cm	3190	152,8	152,4	OK
Base	GNT	20 cm	400	375,80	223,0	OK
Fondation	GNT	25 cm	200		200,8	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		263,4	OK

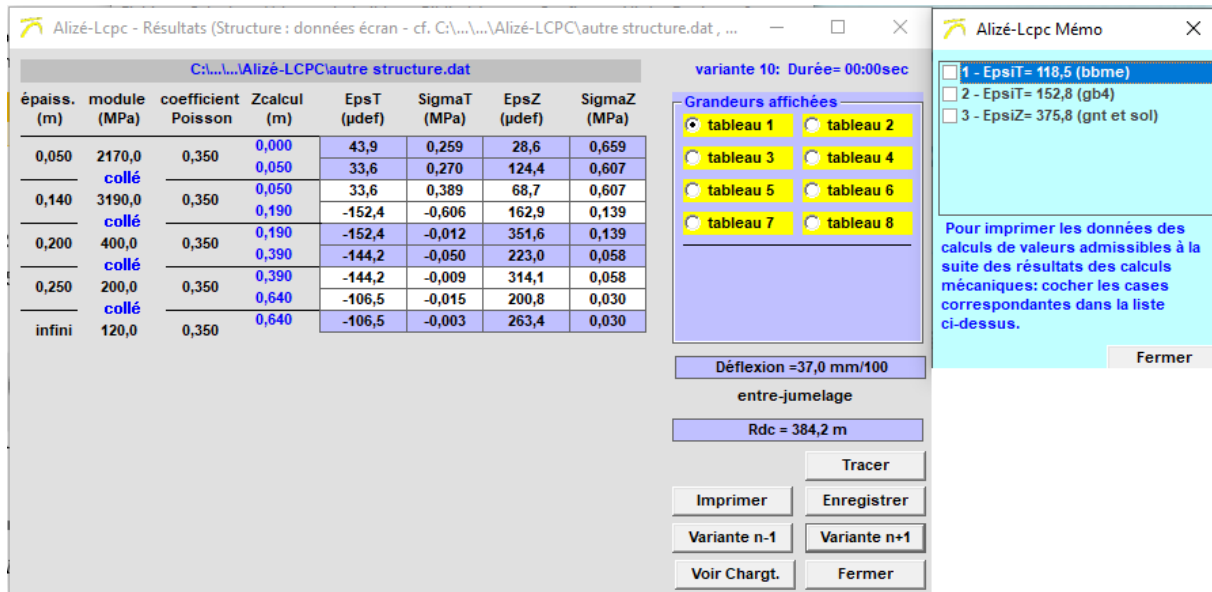


Figure : contraintes et déformations des couches de chaussée.

Variante 2 :

COUCHES	Matériau	Epaisseur (cm)
Revêtement	BB	7
Base	SC3	30
Fondation		

BB

$$E(10^{\circ}C) = 7200 \text{ MPa}$$

$$\theta_{eq} = 30^{\circ}C$$

$$E(\theta_{eq}) = 1300 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 100 * \left(\frac{5,97 \cdot 10^6}{10^6} \right)^{-0,2} * \left(\frac{7200}{1300} \right)^{0,5} * 1,1 * 0,765 * 1$$

$$\varepsilon_{t,adm} = 18,3 \text{ }\mu\text{def}$$

SC3

$$Kr=0,724 \quad Kc = 1,5 \quad Kd = 1$$

$$\frac{-1}{b} = 12$$

$$b = -0,0833$$

$$\sigma_{t,adm} = 0,75 * \left(\frac{5,97 \cdot 10^6}{10^6} \right)^{-0,0833} * 1,5 * 0,724 * 1$$

$$\sigma_{t,adm} = 0,707 \text{ udef}$$

Déformation verticale admissible $\epsilon_{z,adm}$

La valeur de la déformation admissible pour les matériaux granulaires est :

$$\epsilon_{z,adm} = A * (NE)^{-0,222}$$

Où : A = 0,012 (pour un trafic moyen a lourd) ou 0,016 (pour un plus faible trafic).

AN :

$$\epsilon_{z,adm} = 0,012 * (5,97 \cdot 10^6)^{-0,222}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 375,80 \text{ udef}$$

Calculons l'allongement ϵ_t à la base de la couche bitumineuse et celui de la déformation verticale ϵ_z a la surface des couches de base, de fondation et du sol support avec le logiciel de dimensionnement de chaussée Alize-Lcpc. Ci-dessous les résultats des calculs :

COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm	Déformation calculé	Vérification
Roulement	BB	7 cm	1300	123 μdef	18,3 μdef	OK
Base	SC3	30 cm	17200	0,707 MPa	0,688 MPa	OK
Fondation						
Sol support	Sol support	Infini	120	375,8 μdef	109,7 μdef	OK

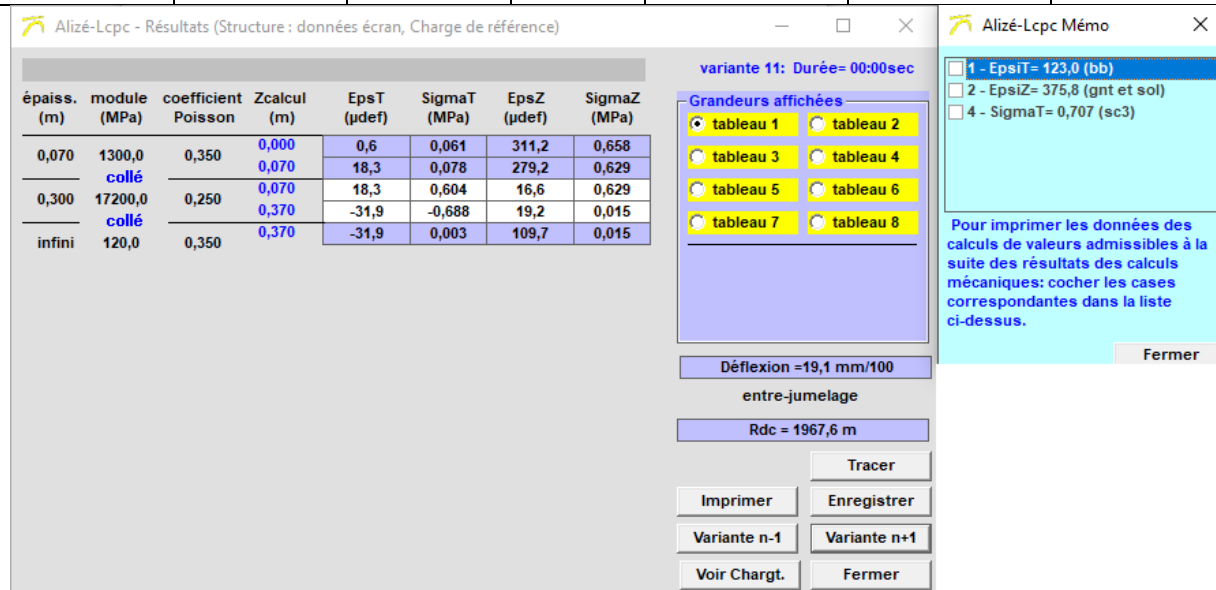
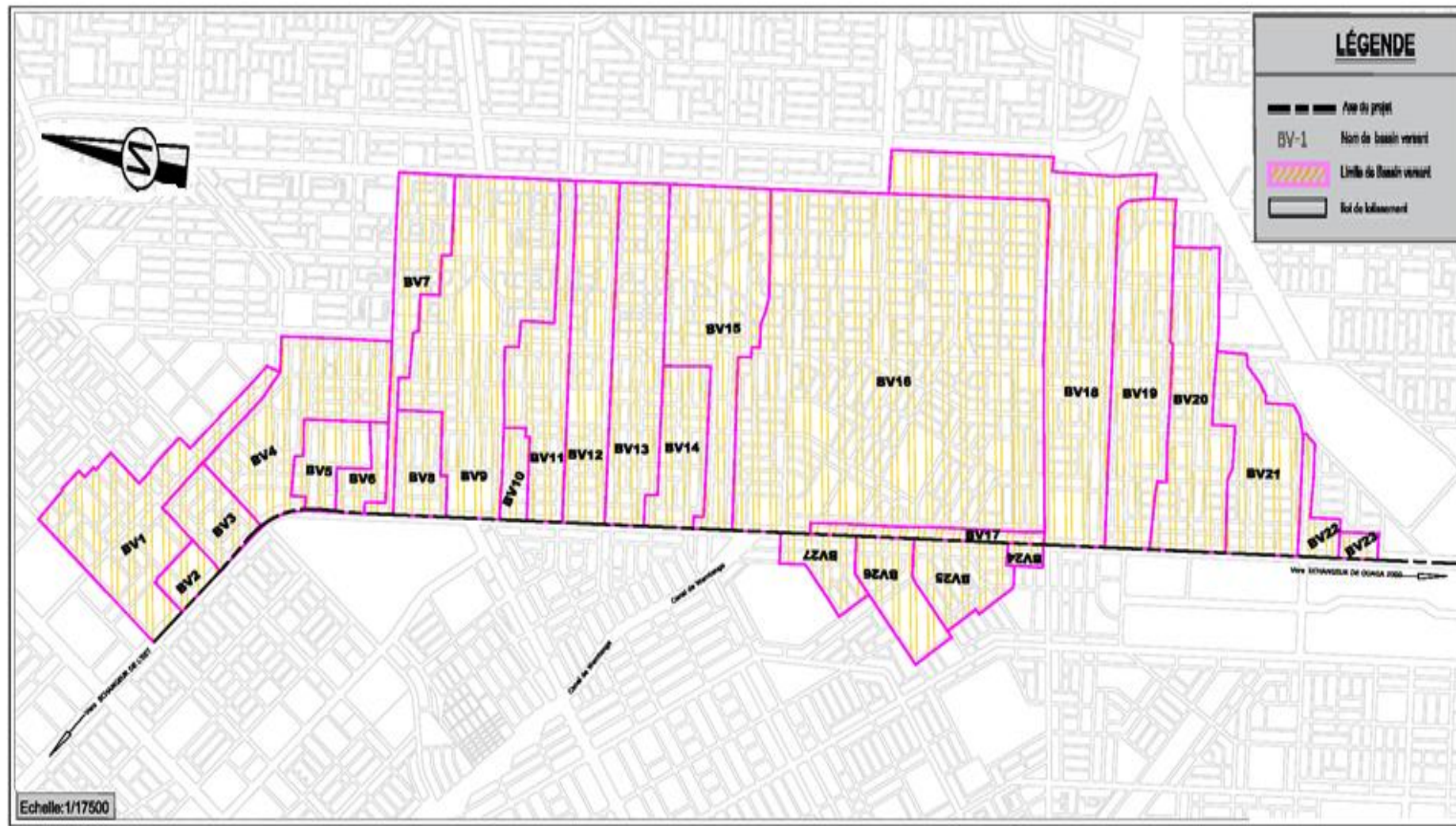


Figure : contraintes et déformations des couches de chaussée.

Tableau : Récapitulatif des résultats.

Structure initial						
COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (udef)	Déformation calculé (udef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	0,8	OK
Couche de liaison	BBME	5 cm	3190		-257,8	NON
Base	GNT 0/31,5	20 cm	400	375,8	357,4	OK
Fondation	GNT 0/40	25 cm	200		303	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		398,2	NON
Variante 1 proposée						
COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (udef)	Déformation calculé (udef)	Vérification
Roulement	BBME	5 cm	2170	118,5	33,6	OK
Couche de liaison	GB	14 cm	3190	152,8	152,4	OK
Base	GNT	20 cm	400	375,8	223	OK
Fondation	GNT	25 cm	200		200,8	OK
Sol support	Sol support	Infini	120		263,4	OK
Variante 2 proposée						
COUCHES	Matériaux	Epaisseur	Module (MPa)	Déformation adm (udef)	Déformation calculé (udef)	Vérification
Roulement	BB	7 cm	1300	123 μdef	18,3 μdef	OK
Base	SC3	30 cm	17200	0,707 MPa	0,688 MPa	OK
Fondation						
Sol support	Sol support	Infini	120	375,8 μdef	109,7 μdef	OK

ANNEXE 4 : Délimitation des bassins versant.



ANNEXE 5 : Note de calcul du caniveau.

Nous avons choisi de présenter les notes de calcul du caniveau 200 X190 :

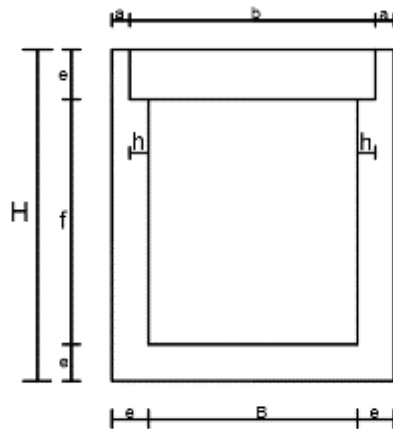


Figure : schéma de principe caniveau

Hypothèses prise en compte :

Les règles de calcul béton armé sont celle définies dans le BAEL 91 modifié 99

Fissuration Préjudiciable

La capacité portante du sol : $\sigma_a = 0,15 \text{ MPa}$

Acier HA Fe E400

Résistance du béton a 28 jours d'âge : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

Enrobage : 3 cm

Les voiles :

Effort transmis par la dallette chargée ;

Poussées dues à la roue de 6 tonnes concentrée stationnée (Ministère Français de l'Équipement et du logement., 1980);

Le radier est à étudier sous les efforts de son propre poids et celle de l'eau.

La dallette sera étudiée sous une roue isolée de 6 tonnes en stationnement

Nous nous proposons de prendre une charge dues à la roue de 6 tonnes concentrée stationnée. Nous avons fait ce choix dans le but d'optimiser notre ouvrage, comme on le sait bien, les ouvrages d'assainissements gonflent le budget des projets routiers. Coté résistance ça tiendra, et aussi il n'est même pas recommandé aux camions de stationner sur les caniveaux, et en plus à la vue de la hauteur de la chaussée un camion ne peut pas y avoir accès coté route et de l'autre côté il a été prévu de placer des bordures (d'où caniveaux inaccessibles par les

camions).

Pré-dimensionnement :

L'épaisseur du caniveau : $\frac{l}{15}$ avec l la plus grande dimension de la cellule hydraulique.

$$\frac{2}{15} = 0,133 \text{ m}$$

Ensuite, il faudra s'assurer qu'il n'y aura pas d'acier comprimé et transversal dans le tablier.

En plus de la condition sur l , en fonction de la hauteur H du remblai, on a H qui est inférieur à

$$2 \text{ m d'où } e = \frac{l}{10} - 5 \text{ cm}$$

$$e = \frac{200}{10} - 5 \text{ cm}$$

$$e = 15 \text{ cm}$$

Cette formule est utilisée pour le pré-dimensionnement des dalots transversaux sous chaussée, or un caniveau couvert est considéré comme tel d'où l'utilisation de cette formule pour le pré-dimensionnement de notre caniveau.

Nous prendrons $e = 15 \text{ cm}$

Ouverture du caniveau : $B = 200 \text{ cm}$

Lèvre de feuillure $a = \frac{e}{2}$

$$a = 7,5 \text{ cm}$$

Portée de la dalle : $b = B + 2 * (e - h) = 215 \text{ cm}$

Redent de la feuillure $h = e - a$

$$h = 7,5 \text{ cm}$$

Hauteur libre du caniveau $f = 190 \text{ cm}$

Hauteur du caniveau : $H = f + 2 * e$

$$H = 220 \text{ cm}$$

Matériaux

Béton

Poids volumique $\partial_b = 25 \text{ KN/m}^3$

La résistance à la compression à 28 jours d'âge est : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

$$t > 24 \text{ h d'où } \theta = 1$$

$$\partial_b = 1,5$$

La résistance caractéristique du béton en compression simple à l'ELU (CHARON, 1986) : $f_{bu} =$

$$\frac{0,85 * f_{c28}}{\theta * \partial_b}$$

$$f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

Contrainte de calcul en compression du béton à l'ELS : $\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 * f_{c28}$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Résistance caractéristique du béton en traction : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 * f_{c28}$

$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$

Acier :

Nuance d'acier HA Fe : 400 MPa

Contrainte limite de l'acier en Fissuration préjudiciable

$$\overline{\sigma}_{st} = \varepsilon_s = \min \left[\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right) \right]$$

$\eta = 1,6$ pour les barres HA $\varnothing > 6 \text{ mm}$

$$\overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa}$$

Résistance caractéristique de l'acier a la compression : $f_{su} = \frac{f_e}{\partial_s}$

$$\partial_s = 1,15$$

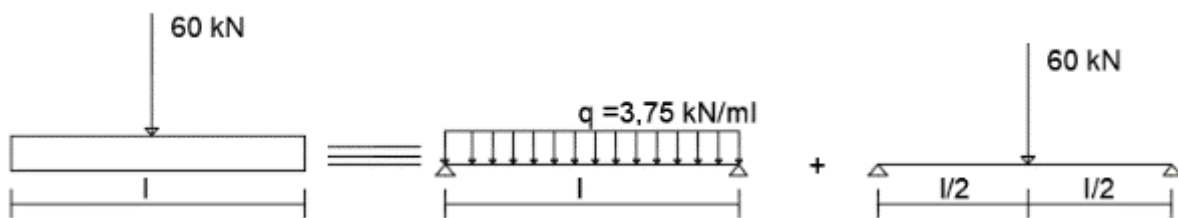
$$f_{su} = \frac{400}{1,15} \text{ k}$$

$$f_{su} = 347,83 \text{ MPa}$$

Daliette

Nous calculerons les sections d'acier sur 1 m de la daliette en flexion simple à l'état limite de service.

Calcule du moment de sollicitation à l'état limite de service :



Poids de la surcharge routière, nous avons considéré la roue de 60 kN

$$P_{ser,B} = 60 \text{ kN}$$

Poids propre de la daliette : $q = e * 1 * \gamma_b$

$$\gamma_b = 25 \text{ KN/m}^3$$

$$q = 25 * 0,15 * 1$$

$$q = 3,75 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Sollicitation maximum : } M_{ser} = \frac{q \cdot l^2}{8} + \frac{P_{ser} \cdot B \cdot l}{4}$$

$$M_{ser} = \frac{3,75 \cdot 2,15^2}{8} + \frac{60 \cdot 2,15}{4}$$

$$M_{ser} = 34,42 \text{ kN.m}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r \text{ ser},b}$:

$$M_{r \text{ ser},b} = \overline{\sigma_{bc}} \cdot \frac{1}{2} \overline{\alpha_{ser}} \cdot b_o \cdot d^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}}\right)$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = \frac{\overline{\sigma_{bc}} \cdot n}{\overline{\sigma_{bc}} \cdot n + \overline{\sigma_{st}}}$$

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\overline{\alpha_{ser}} = \frac{15 \cdot 15}{15 \cdot 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = 0,527 \text{ MPa}$$

$$M_{r \text{ ser},b} = 15 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,527 \cdot 2,15 \cdot (0,9 \cdot 0,15)^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot 0,527\right)$$

$$M_{r \text{ ser},b} = 0,12774 \text{ MN.m}$$

34,42 < 127,74 d'où on est dans le **1^{er} cas** : $M_{ser} \leq M_{r \text{ ser},b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) \cdot \overline{\sigma_{st}}(MPa)} \cdot 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d \left(1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}}\right)$$

$$z_{ser} = (0,9 \cdot 0,15) \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot 0,527\right) = 0,11126768$$

$$z_{ser} = 0,11 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{34,42}{0,11 \cdot 201,63} \cdot 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 15,34 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

$$A_{repartition} = \frac{A_s \cdot B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{15,34 \cdot 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 3,84 \text{ cm}^2$$

Acier principaux : 10HA14 (15,39 cm²), espacement = 20 cm

Acier de repartition : 5HA0 (3,93 cm²), *espacement* = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,50 \text{ cm}^2 < A_{st} \text{ Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser_t}} (d - y_{ser}); \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 215 * y_{ser}^2 - 15 * 16,94 * (0,9 * 15 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 4,59 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,0002520 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 6,27 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 182,55 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limite vérifié.

Calcul des sections d'acier des voiles des caniveaux

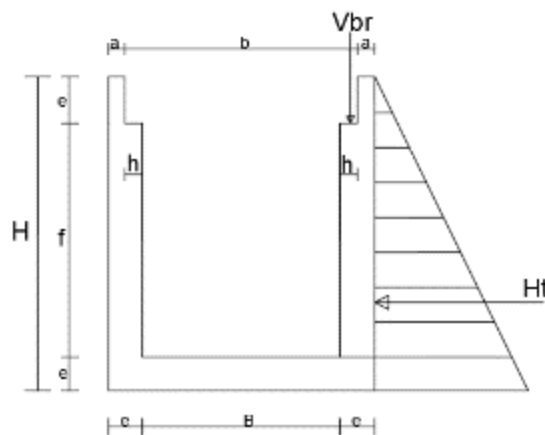


Figure : Représentation des forces s'appliquant sur les voiles

Où $H_{remblai} = 2,2 \text{ m}$ et $K_a = 0.33$

$$\gamma_b = 25 \text{ KN/m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Poids propre du piédroit : } Pd = \gamma_b * (H - e) * e + \gamma_b * h * e$$

$$\Rightarrow Pd = 7,97 \text{ kN/m}$$

$$\Rightarrow \text{Poids propre de la 1/2 dalle sur piédroit : } Pdal = \gamma_b * \frac{b}{2} * e$$

$$\Rightarrow Pdal = 4,03 \text{ kN/m}$$

$$\text{Charge totale à l'ELS: } Pt = Pd + Pdal$$

$$Pt = 12 \text{ KN/m}$$

$$\Rightarrow \text{Charge Vbr : } V_{br} = 60 \text{ kN}$$

Poids du remblai sur le piédroit :

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$\Rightarrow P_0 = Ka * \gamma * b * e_{remblai} = 0,33 * 20 * 1 * 0,2$$

$$\Rightarrow P_0 = 1,32 \text{ KN/m}$$

Sollicitations :

$$- \text{ Moment de flexion } M_{ser} = \frac{Pt * l^2}{8} + \frac{V_{br} * l}{4} + \frac{P_0 * l^2}{9\sqrt{3}} = \frac{12 * 0,15^2}{8} + \frac{60 * 0,15}{4} + \frac{1,32 * 2,2^2}{9\sqrt{3}}$$

$$- M_{ser} = 0,03375 + 2,25 + 0,4198$$

$$- M_{ser} = 2,704 \text{ kN.m}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r,ser,b}$:

$$M_{r,ser,b} = \overline{\sigma_{bc}} * \frac{1}{2} \overline{\alpha_{ser}} * b_o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}})$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = \frac{\overline{\sigma_{bc}} * n}{\overline{\sigma_{bc}} * n + \overline{\sigma_{st}}}$$

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\overline{\alpha_{ser}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = 0,527 \text{ MPa}$$

$$M_{r,ser,b} = 15 * \frac{1}{2} * 0,527 * 0,15 * (0,9 * 2,20)^2 * (1 - \frac{1}{3} * 0,527)$$

$$M_{r,ser,b} = 1,9160 \text{ MN.m}$$

D'où on est dans le 1^{er} cas : $M_{ser} \leq M_{r,ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors

déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \sigma_{st}(MPa)} * 10 \text{ en } cm^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \alpha_{ser})$$

$$z_{ser} = (0,9 * 2,20) * \left(1 - \frac{1}{3} * 0,527\right) = 1,63$$

$$z_{ser} = 1,63 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{2,704}{1,63 * 201,63} * 10 \text{ en } cm^2$$

$$A_{st} = 0,08 \text{ cm}^2/ml$$

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$b = 0,15 \text{ m et } h = 2,20 \text{ m}$$

$$A_{st_{min}} = 3,59 \text{ cm}^2 > A_{st} \text{ Condition non vérifiée.}$$

$$A_{st} = A_{st_{min}} = 3,59 \text{ cm}^2$$

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{15,34 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 0,90 \text{ cm}^2$$

Aciers principaux : 6HA10(4,71 cm²), espacement : 15 cm

Acier de répartition : 11 HA8 (5,50cm²), espacement = 20 cm

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 15 * y_{ser}^2 - 15 * 4,71 * (0,9 * 220 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 38,73 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2}\right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,020827 \text{ m}^4$$

$\sigma_{bc} = 0,05 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$ et $\sigma_{st} = 3,10 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa}$ **condition aux limites vérifiée.**

Calcul des sections d'acier sur 1 ml du radier en flexion-simple à l'ELS

Le radier sera calculé en flexion simple à l'ELS.

Poids total de l'eau $Pe = \gamma_e \times h \times 1$ en KN/m avec $\gamma_e = 10 \text{ KN/m}^3$

$$Pe = 20 \text{ KN/m}$$

Poids du radier :

$$Prad = \gamma_b \times h \times 1$$

$$Prad = 50 \text{ KN/m}$$

Réaction totale sur le radier : $R = Prad + Pe$ en KN/m

$$R = 70 \text{ KN/m}$$

Vbr = 60 kN

Calculer du moment à l'état limite de service

$$M_{ser} = \frac{R \times l^2}{8} + \frac{Vbr \times l}{4} \text{ Avec } l = 1 \text{ ml}$$

$$M_{ser} = \frac{R \times l^2}{8} + \frac{Vbr \times l}{4} = \frac{70 \times 1^2}{8} + \frac{60 \times 1}{4}$$

$$M_{ser} = 23,75 \text{ KN.m}$$

Calcul du moment réduit :

$$Mr_{serb} = \frac{\overline{\sigma}_{bc}}{2} * bo * d^2 * \overline{\alpha}_{ser} * (1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha}_{ser}) \text{ en MN.m}$$

$$Mr_{serb} = 118,829 \text{ KN.m}$$

On a: $M_{ser} \leq Mr_{serb} \Rightarrow A_{st} \neq 0 ; A_{sc} = 0$

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \overline{\sigma}_{st}} * 10^4 \text{ en cm}^2 \text{ Avec } z_{ser} = d \left(1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha}_{ser} \right) = (0,9 * 0,15) * (1 - \frac{1}{3} 0,527)$$

$$z_{ser} = 0,11 \text{ m}$$

$$A_{st} = 10,59 \text{ cm}^2$$

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{10,59 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 2,765 \text{ cm}^2$$

Aciers principaux : 14HA10 (11,06 cm²), espacement = 15 cm

Acier de répartition : 6HA8 (3,02cm²), espacement = 15 cm

Condition de non fragilité

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 = 3,59 \text{ cm}^2 \leq A_{st} : \text{condition vérifié.}$$

Vérification des contraintes

$$I_{ser} = \frac{b_o}{3} y_{ser}^3 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

Résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 200 * y_{ser}^2 - 15 * 11,06 * (0,9 * 15 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 3,98 \text{ cm}$$

$$I_{ser} = 0,0403221$$

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser})$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} y_{ser}$$

$$\sigma_{st} = 50,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 2,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 0,23 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa} \text{ et } \sigma_{st} = 14,07 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limite vérifié.

Tableau 39 : Récapitulatif des armatures du caniveau.

Ferrailage du caniveau 200 cm x 190 cm (b x h)				
Type d'armature		Dallette	Piédroit	Radier
Acier principaux	Sections (cm2/ml)	15,34	3,59	10,59
	Choix	10HA14	6HA10	14HA10
	Espacement (cm)	20	15	15
Acier de répartition	Sections (cm2/ml)	3,84	0,90	2,765
	Choix	5HA10	11HA8	6HA8
	Espacement (cm)	20	20	15

ANNEXE 6 : Plan de contrôle qualité de la GNT et des enrobés.

Tableau : Plan de contrôle qualité de la GNT(NEMARO, 2019).

PHASE	NATURE DU CONTRÔLE	PROCESSUS ET/OU MOYEN	FREQUENCE	CRITERE D'ACCEPTATION		REFERENCE AU CPT	TYPE DE CONTRÔLE		RESPONSABILITE	ENREGISTREMENT
							PC	PA		
Identification des matériaux	Analyse Granulométrique	NF EN 933-1	Un essai par classe de GNT	GNT 0/31,5		CCTP 5.1.3 Tableau 5.1 TP24		X	Géotechnicien	Résultats d'essai
				Tamis	% Passants					
				40	100					
				20	65-95					
				10	40-70					
				4	26-50					
				2	20-40					
				0,4	10-24					
				0,08	4-10					
				GNT 0/40						
				Tamis	% Passants					
				50	100					
				40	90-100					
				20	60-90					
				10	40-75					
				4	26-60					
				2	20-45					
				0,4	15-31					

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

				0,08	5-15					
	Indice de Plasticité	NF P 94-051	Un essai par classe de GNT	IP ≤ 6		CCTP 5.1.3	X		Géotechnicien	Résultats d'essai
	Los Angeles	NF EN 1097-2	Un essai par classe de GNT	LA ≤ 30		CCTP 5.1.3	X		Géotechnicien	Résultats d'essai
	Références de compactage Proctor	NF P 94-093 NF EN 13286-2	Un essai par classe de GNT	-		CCTP 5.1.4	X		Géotechnicien	Résultats d'essai
	Poids spécifique	NF EN 1097-6	Un essai par classe de GNT	-		CCTP 5.1.4	X		Géotechnicien	Résultats d'essai
Mise en œuvre	Teneur en eau de compactage	NF P 94-050	Contrôle continu lors de la mise en œuvre	Wopt-2 ≤ W ≤ Wopt+2		CCTP 5.1.4		X	Géotechnicien	Résultats d'essai
	Mesure de densité in situ	NF P 94-061-2 NF P 94-061-1	Trois mesures par profil sur chaque couche (Droite-Axe-Gauche)	GNT 0/40		CCTP 5.1.4		X	Géotechnicien	Résultats d'essai
Moyenne des densités sèches mesurées en place ≥ 95 % de la densité sèche optimale Aucun résultat inférieur à 93%										
GNT 0/31.5										
Moyenne des densités sèches mesurées en place ≥ 98 % de la densité sèche optimale Aucun résultat inférieur										

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

				à 96%					
	Réglage	Mesures topo	Trois mesures par profil sur chaque couche (Droite – Axe - Gauche)	-5 cm par rapport au profil théorique			X	Responsable topo	Fiche de levé
	Epreuve de compactage (Rolling Test)	Rouleau compresseur à pneumatiques chargé à 5T/m ou camion lesté à 8T/Essieu	Un test par couche	Pas de mouvement sous les roues de l'engin de Test	CCTP 5.1.5		X	Chef chantier	PV de réception du Rolling Test

Tableau : Plan de contrôle qualité des enrobés(NEMARO, 2019)

PHASE	NATURE DU CONTROLE	MOYEN	REFERENCE AASHTO	FREQUENC E	CRITERE D'ACCEPTATION	TYPE DE CONTROLE		RESPONSABILITE	ENREGISTREMENT
						PC	PA		
OPERATIONS PREALABLES									
Agrément de la formulation	Granulométrie-teneur en liant-compactibilité- performances mécaniques	-	-	Avant travaux	Respect norme NF EN 1310861		X	Ing. géotechnicien	Dossier formulation
	Granulométrie	Essais d’extractions	AASHTO T164A/TP2	Début de chantier	Tamis D :-8 à +5% Tamis D/2 : +/-7% Tamis 2 mm : +/-6% Tamis 0,5 mm : +/-4% Tamis63 micron : +/-2% Respect norme NF EN 13108621		X	Responsable Laboratoire	Rapport planche d’essai
	Teneur en liant				+/- 0,30% (NF en 13108- 21)		X		
	Epaisseur				+/-0,5cm par rapport à l’épaisseur théorique		X		
	Compacité				≥ 92% <i>la MVE</i> ou ≥ 97% de la densité apparente MARSHALL		X		
MODE OPERATOIRE/METHODOLOGIE									

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

Balayage de la surface à revêtir	Propreté	Visuel	-	Avant application	Propreté après balayage	X		Chef chantier	Fiche de suivi
Accrochage	Dosage	Essai Labo	-	En continu	250 g/m2 de bitume résiduel	X		Laborantin de chantier	
	Régularité du répandage	Visuel	-	En continu	Homogène				

NB :

PC : POINT CRITIQUE

PA : POINT D'ARRET

ANNEXE 7 : Note de calcul du dalot OH 3.

Hypothèses (SETRA, 1992) :

Consigne

Les surcharges routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français régnant en la matière.

Les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99

Caractéristique des matériaux

Béton

Poids volumique = 2,5 t/m³

Fissuration préjudiciable

La résistance à la compression à 28 jours d'âge est : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

$$t > 24 \text{ h d'ou } \theta = 1$$

$$\partial_b = 1,5$$

La résistance caractéristique du béton en compression simple à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 * f_{c28}}{\theta * \partial_b}$

$$f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

Contrainte de calcul en compression du béton à l'ELS : $\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 * f_{c28}$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Résistance caractéristique du béton en traction : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 * f_{c28}$

$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$

L'acier

Nuance d'acier HA Fe : 400 MPa

Contrainte limite de l'acier en **Fissuration préjudiciable**

$$\eta = 1,6 \text{ pour les HA}$$

$$\overline{\sigma}_{st} = \varepsilon_s = \min \left[\frac{2}{3} f_e; \max \left(\frac{1}{2} f_e; 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right) \right]$$

$$\eta = 1,6 \text{ pour les barres HA } \varnothing > 6 \text{ mm}$$

$$\overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ Mpa}$$

Résistance caractéristique de l'acier a la compression : $f_{su} = \frac{f_e}{\partial_s}$

$$\partial_s = 1,15$$

$$f_{su} = \frac{400}{1,15}$$

$$f_{su} = 347,83 \text{ MPa}$$

Enrobage : 3 cm

Principe de calcul des efforts et sollicitations :

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot. Les valeurs des efforts, sollicitations et réactions d'appuis seront déterminés à partir des formules dites « **rotation des nœuds** ».

Données

Nombre de voies de circulation : $n = \text{Int} (L_c/3)$ (Int : partie entière)

$$L_c = L_r - 2 \cdot 0,5 = 14 \text{ m}$$

$$n = 4$$

Classe	Largeur Roulable
I	$\geq 7m$
II	$5,5 m < L_r < 7m$
III	$\leq 5,5m$

Figure : Classification des ponts (Ministère Français de l'Équipement et du logement., 1980).

$L_r = 15 \text{ m} > 7 \text{ m}$ D'où notre ouvrage est classé en pont de première classe.

Remblais :

Coefficient de poussée des terres : $K_a = 0,333$

Pour le calcul des efforts et sollicitation dus aux remblais, nous considérerons une hauteur de 100 cm (GNT 0/40 : 25 cm ; GNT 0/31,5 : 20 cm ; GB : 5 cm ; BBME : 5 cm et 45 cm de remblai latéritique) sur le tablier avec poids spécifique de :

$$GNT = 2,645 \text{ t/m}^3$$

$$GB = 2,462 \text{ t/m}^3$$

$$BBME = 2,424 \text{ t/m}^3$$

$$\partial_r = 2 \text{ t/m}^3$$

Pré-dimensionnement :

L'épaisseur doit être telle que :

« L'effort tranchant a l'ELS du béton seul dû aux charges permanentes et aux surcharges ne nécessite pas l'utilisation d'acier de couture. »

$$e_{tablier} = e_{tablier} = \frac{L}{18} + 0,125$$

$$(e_{tablier}; e_{tablier}) \geq 20 \text{ cm}$$

$$e_{tablier} = e_{tablier} = \frac{3}{18} + 0,125 = 0,29 \text{ m}$$

Nous allons prendre : $e_{tablier} = e_{tablier} = 30 \text{ cm}$

$$e_{piédroit} = e_{tablier \text{ ou radier}} - 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

Evaluation des charges appliquées sur l'ouvrage

Epaisseur du tablier = 0,30 m

Epaisseur du radier = 0,30 m

Epaisseur des piédroits = 0,25 m

H_f = hauteur de la couche de fondation = 0.25 m : GNT

H_b = hauteur de la couche de base = 0.20 m : GNT

H_l = hauteur de la couche de liaison = 0.05 m : GB

H_r hauteur de la couche de roulement = 0.05 m : BBME

I. Déterminations de la surcharge routière a appliqué :

1. Charges permanentes

Tablier

Poids propre du tablier : $25 \times 0,30 \times 1,00 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids propre couche de fondation = $26,45 \times 0,25 \times 1,00 = 6,613 \text{ kN/ml}$

Poids propre couche de base = $26,45 \times 0,20 \times 1,00 = 5,29 \text{ K n/ml}$

Poids propre couche de liaison = $24,62 \times 0,05 \times 1,00 = 1,231 \text{ kN/ml}$

Poids propre couche de roulement = $24,24 \times 0,05 \times 1,00 = 1,212 \text{ kN/ml}$

Poids totaux des guides roues = $\frac{0,25 \times 0,50 \times 2 \times 25}{15} = 0,42 \text{ kN/ml}$

Totale sur le tablier = 7,5 + 6,613 + 5,29 + 1,231 + 1,212 = 21,846 kN/ml

Radier

Poids propre du radier = $0,30 \times 25 \times 1,00 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids total du tablier = **21,846 kN/ml**

Poids propre des piédroits : $\frac{0,25 \times 1,80 \times 25 \times 1,00 \times 5}{4 \times 3 + 5 \times 0,25} = 4,25 \text{ kN/ml}$

Totale sur le radier : 7,5+13,07+8,57=33,596 kN/ml

Au niveau des piédroits

Poussée des terres :

$$Pt0 = K_a \times \gamma_r \times h_0$$

Remblai latéritique de 45 cm d'épaisseur avec un poids volumique de 2t/m³

Remblai de GNT de 45cm d'épaisseur avec un poids volumique de 2,645t/m³

Couche de liaison grave bitume de 5cm d'épaisseur avec un poids volumique de 2,462t/m³

Couche de roulement en BBME de 5cm d'épaisseur avec un poids volumique de 2,424t/m³

$$P_{t0} = 0,33 \times (0,45 \times 20 + 0,45 \times 26,45 + 0,05 \times 24,62 + 0,05 \times 24,24) = \mathbf{7,70 \text{ kN/ml}}$$

$$PT1 = K_a \times \gamma_r \times h_1$$

$$P_{t1} = 0,33 \times (20 \times 2,10 + 0,45 \times 20 + 0,45 \times 26,45 + 0,05 \times 24,62 + 0,05 \times 24,24) = \mathbf{21,564 \text{ kN/ml}}$$

2. Charge d'exploitation

Surcharge A

Elle s'applique de façon uniforme sur toute la longueur du tablier et est la même surcharge transmise sur le radier. Son expression est (Fascicule n°61 Titre II du CCTG, n.d.):

$$A(l) = 2,30 + \frac{360}{L+12} \text{ avec } L = 14 \text{ m.}$$

$$A(l) = 2,30 + \frac{360}{14+12} = \mathbf{16,15 \text{ kN/m}^2}$$

Cette valeur sera multipliée par un coefficient a_1 , assimilable à un coefficient de dégressivité transversale, qui est déterminé en fonction du nombre de voies et $a_2 = \frac{v_0}{v}$ d'où $A = a_1 \times a_2 \times A(l)$.

v étant la largeur d'une voie ($Lr/3$)

- Détermination de a_1

Le coefficient a_1 est déterminé par le tableau ci-dessous en fonction du nombre de voie chargée et de la classification du dalot.

Tableau : Détermination du coefficient a_1 (Ministère Français de l'Équipement et du logement., 1980).

Classe de pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
I	1	1	0,9	0,75	0,75
II	1	0,9	-	-	-
III	0,9	0,8			

Dans notre cas le coefficient a_1 d'après notre tableau est $a_1 = 0,75$ car nous avons 4 voies de circulation et notre dalot est de première classe.

Densité de charge effective :

$$Q(l) = \text{Sup} \{a_1 A(l); (4 - 0,002L)\} \text{ kN/m}^2$$

$$Q(l) = \text{Sup} \{0,75 * 16,15; (4 - 0,002 * 14)\} \text{ kN/m}^2$$

$$Q(l) = 12,1125 \text{ kN/m}^2$$

Détermination du coefficient a_2 :

$$a_2 = \frac{v_0}{v}$$

La valeur de v_0 :

Tableau : les valeurs de v_0 (Ministère Français de l'Équipement et du logement., 1980).

Classe de pont	v_0
I	3,5 m
II	3,0 m
III	2,75 m

La valeur de v_0 égale à 3,50 m.

Calculons v :

$$v = \frac{L_r}{\text{nombre de voie}}$$
$$v = \frac{15}{4} = 3,75 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{3,50}{3,75} = 0,93$$

Surcharge A:

$$A = a_2 \times Q(l)$$

$$A = 0,93 \times 12,1125$$

$$A = 11,265 \text{ kN/ml}$$

Surcharges Bc

Le camion type du système Bc a une masse totale de 30 tonnes :

- La masse portée par chacun des essieux arrière est de 12 tonnes
- La masse portée par l'essieu avant est de 6 tonnes
- La surface d'impact d'une roue arrière est de $0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$
- La surface d'impact d'une roue avant est de $0,20 \times 0,20 \text{ m}^2$
- On peut disposer transversalement sur la chaussée autant de files de camions Bc que la chaussée comporte de voies de circulation et longitudinalement le nombre de camions par file est limité à 2.

Les charges Bc sont pondérées par les coefficients δ et bc .

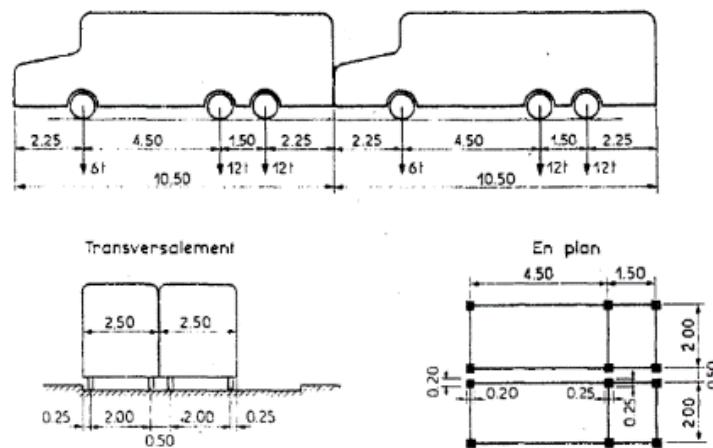


Figure : Système de charge Bc.

Tableau : valeur coefficient bc (Ministère Français de l'Équipement et du logement., 1980).

Classe de pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
I	1,2	1,1	0,95	0,80	0,70
II	1	1	-	-	-
III	0,9	0,8			

Le coefficient bc en fonction de la classe de notre ouvrage et du nombre de voies de notre route est égal à **0,80**.

La charge répartie par mètre linéaire est de :

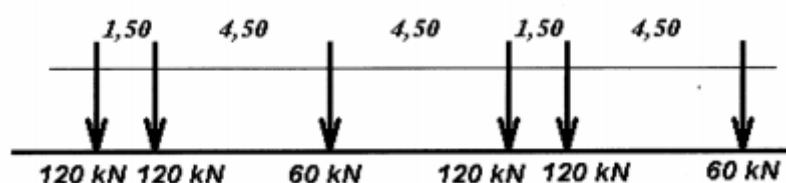
Notre tablier a une largeur de 13,25 il ne peut prendre entièrement deux camions de type bc en file, nous allons considérer la situation la plus défavorable (4 essieux de 120 + 1 essieu de 60) :

$$P_1 = \frac{Q * b_c}{S_e}$$

On peut disposer 4 files de 2 camions type :

Longueur d'encombrement : 12,25 m

Largeur d'encombrement : 10 m



$$Q = (120+120+60+120+120) * 4 = \mathbf{2160 \text{ kN/ml}}$$

$$P_1 = \frac{2160 * 0,80}{12,25 * 10}$$

$$\mathbf{P_1 = 14,106 \text{ kN/ml}}$$

Coefficient de majoration dynamique est de :

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + 0,20 \times L} + \frac{0,60}{1 + \frac{4 \times G}{Q}}$$

L=Max (Largeur roulable ; portée de la travée)

G= poids total d'une section de couverture de longueur L.

Q= poids total maximum des essieux du système (Bc ou Bt) qu'il est possible de placer sur la longueur L.

$$\mathbf{L = \max (15 ; 3) = 15 \text{ m}}$$

G= poids de la dalle + poids remblai + guides roues + revêtement

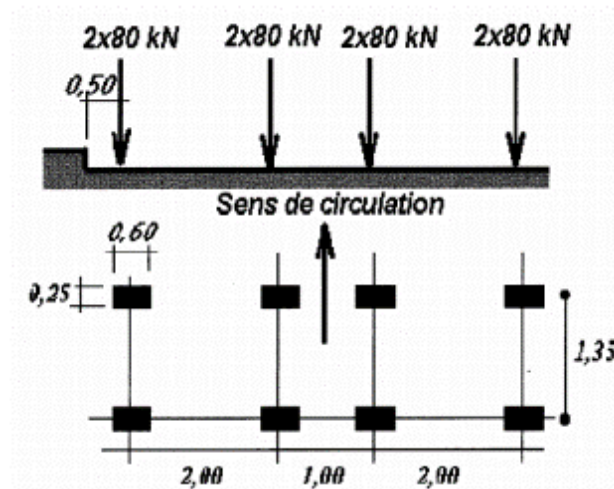
$$G = (25 * 0,30 * 15 * 3,25) + (26,45 * 0,25 * 15 * 3,25) + (26,45 * 0,20 * 15 * 3,25) + (24,62 * 0,05 * 15 * 3,25) + (24,24 * 0,05 * 15 * 3,25) + (0,25 * 0,5 * 2 * 25)$$

$$\mathbf{G = 1071,218 \text{ kN}}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + 0,20 \times 15} + \frac{0,60}{1 + \frac{4 \times 1071,218}{2160}}$$

$$\mathbf{\delta = 1,30}$$

Surcharges Bt



Le sous-système Bt se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 160 kN

Le coefficient bt en fonction de la classe de notre ouvrage, notre route est égale à 1.

La charge répartie est de :

$$P_1 = \frac{Q * b_t}{S_e}$$

$$Q = (2*80+2*80+2*80+2*80) * 2 = 1280 \text{ kN}$$

Longueur d'encombrement : 12 m

Largeur d'encombrement : 2,35 m

$$P_1 = \frac{1280 * 1}{12 * 2,35}$$

$$P_1 = 45,39 \text{ kN/ml}$$

Le coefficient de majoration dynamique est de :

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + 0,20 * 15} + \frac{0,60}{1 + \frac{4 * 1071,218}{1280}}$$

$$\delta = 1,24$$

Pour le calcul des sollicitations on prendra $\delta = \max(\delta_{Bc}; \delta_{Bt})$

$$\delta = \max(1,3; 1,24)$$

$$\delta = 1,3$$

Calcul de la surcharge Bc majoré :

$$P = \delta * P_1 = 1,3 * 14,106 = \mathbf{18,34 \text{ kN/ml}}$$

Calcul de la surcharge Bt majoré :

$$P = \delta * P_1 = 1,3 * 45,39 = \mathbf{59,007 \text{ kN/ml}}$$

Charges remblais

En vue de la justification des éléments (piédroits de rives) susceptibles d'être soumis à des efforts de la part des remblais d'accès au pont, on considère que ces remblais sont susceptibles de recevoir une charge de 1t/m^2 , répartie sur toute la largeur de la plate-forme.

$$Q = ka \times 10 \text{ avec } ka = 0,33$$

$$Q = 0,33 \times 20 = \mathbf{3.3 \text{ KN/ml}}$$

Tableau : Récapitulatif des surcharges routières et charges sur le remblai.

Eléments	Tablier	Radier
Système A (KN/ml)	11,265	11,265
Système Bc (KN/ml)	18,340	18,340
Système Bt (KN/ml)	59,007	59,007
Charges sur le remblai (Q_p) (KN/ml)	3,3	

D'après le tableau récapitulatif des surcharges routières ci-dessus, nous choisissons de dimensionner avec la surcharge routière Bt.

I. Calcul de sollicitations et efforts appliqués sur le dalot

Principe et méthodes de calcul de sollicitations

De façon générale, les études seront faites par bande d'un (1) mètre de dalot ($b=1\text{m}$). Nous considérons que les piédroits intermédiaires sont dimensionnés en compression simple (annulation du moment au niveau du piédroit intermédiaire et conservation uniquement de l'effort normal). D'où la possibilité d'utiliser la méthode des rotations des nœuds pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

Combinaisons :

ELS	ELU
$G + 1,2 \max(S) + 1,2 \times S_r$	$1,35G + 1,6 \times \max(S) + 1,6 \times S_r$

G = Ensemble des actions permanentes défavorables ;

S = Charges routières sans caractère particulier.

Les sollicitations et les efforts maximaux à retenir sont les plus élevés en valeur absolue de chacun de ces trois.

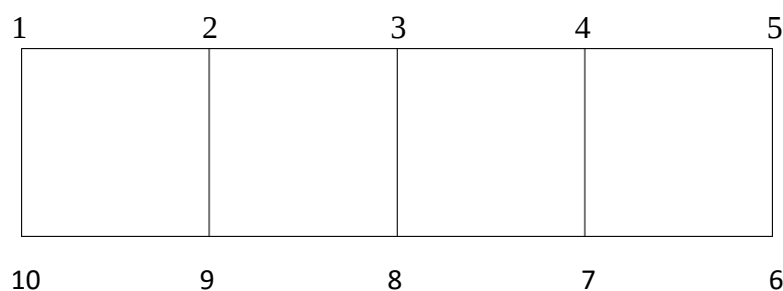


Figure : Schéma statique de l'ouvrage.

Méthode de calcul : méthode de rotation ce qui nous permet de désigner par :

b_i = constante du nœud i

M_{ij} = moment statique appliqué au nœud i par la barre ij

m_{ij} = moment d'encastrement appliqué au nœud i par la barre j (déterminé par les charges appliquées à la barre).

A_i = rotation du nœud i

K_1 = caractéristique de rigidité des barres horizontales

K_2 = caractéristiques de rigidité des barres verticales

$M_{ij} = K \times (2 \times a_i + a_j) + m_{ij}$ avec $K = K_1$ ou K_2

Moment d'inertie du tablier et du radier $I_1 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{1000 \times 300^3}{12} = 2,25 \times 10^9 \text{ mm}^4$

Moment d'inertie du piédroit $I_2 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{250 \times 1000^3}{12} = 2,083 \times 10^{10} \text{ mm}^4$

Calculons K1 et K2 :

$K1 = \frac{2 \times E \times I1}{L}$ et $K2 = \frac{2 \times E \times I2}{L}$ avec E=module d'élasticité, ce matériaux étant constant (même matériaux) on peut le prendre égale à 1.

$$K1 = \frac{2 \times 1 \times 2,25 \times 10^9}{3250} = 1,385 * 10^6 \text{N/mm} \quad \text{et} \quad K2 = \frac{2 \times 1 \times 2,083 \times 10^{10}}{3250} = 1,282 * 10^7 \text{N/mm}$$

L'équation du nœud 1 s'écrit(TAPSOBA, 2018) :

$$M_{1,2} + M_{1,10} = 0$$

$$\rightarrow k1 \times (2 \times a_1 + a_2) + m_{1,2} + k2 \times (2 \times a_1 + a_{10}) + m_{1,10} = 0$$

$$\rightarrow 2(k1 + k2) \times a_1 + k1 \times a_2 + k2 \times a_{10} = -(m_{1,2} + m_{1,10})$$

En écrivant l'équilibre de tous les nœuds nous obtenons 10 équations à 10 inconnues ($a_1; a_2; a_3; a_4; a_5; a_6; a_7; a_8; a_{10}; a_{10}$)

$$\text{Nœud 1 : } 2 \times (k1 + k2) \times a_1 + k1 \times a_2 + k2 \times a_{10} = -(m_{1,2} + m_{1,10}) = b1$$

$$\text{Nœud 2 : } 2(2 \times k1 + k2) \times a_2 + k1 \times a_1 + k1 \times a_3 + k2 \times a_9 = -(m_{2,1} + m_{2,3} + m_{2,9}) = b2$$

$$\text{Nœud 3 : } 2(2 \times k1 + k2) \times a_3 + k1 \times a_2 + k1 \times a_4 + k2 \times a_8 = -(m_{3,2} + m_{3,4} + m_{3,8}) = b3$$

$$\text{Nœud 4 : } 2(2 \times k1 + k2) \times a_4 + k1 \times a_3 + k1 \times a_5 + k2 \times a_7 = -(m_{4,3} + m_{4,5} + m_{4,7}) = b4$$

$$\text{Nœud 5 : } 2(k1 + k2) \times a_5 + k1 \times a_4 + k2 \times a_6 = -(m_{5,4} + m_{5,6}) = b5$$

$$\text{Nœud 6 : } 2(k1 + k2) \times a_6 + k2 \times a_5 + k1 \times a_7 = -(m_{6,5} + m_{6,7}) = b6$$

$$\text{Nœud 7 : } 2(2 \times k1 + k2) \times a_7 + k1 \times a_6 + k1 \times a_8 + k2 \times a_4 = -(m_{7,6} + m_{7,8} + m_{7,4}) = b7$$

$$\text{Nœud 8 : } 2(2 \times k1 \times k2) \times a_8 + k1 \times a_7 + k1 \times a_9 + k2 \times a_3 = -(m_{8,7} + m_{8,9} + m_{8,3}) = b8$$

$$\text{Nœud 9} : 2(2 \times k_1 + k_2) \times a_9 + k_1 \times a_8 + k_1 \times a_{10} + k_2 \times a_2 = -(m_{9,8} + m_{9,10} + m_{9,2}) = b_9$$

$$\text{Nœud 10} : 2(k_1 + k_2) \times a_{10} + k_1 \times a_9 + k_2 \times a_1 = -(m_{10,9} + m_{10,1}) = b_{10}$$

1. Charges permanentes

Les moments d'encastrement pour un mètre de largeur sont :

$$m_{1,2} = \frac{-PL^2}{12} = -\frac{21,846 \times 3,25^2}{12} = -19,229 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{1,2} = m_{2,3} = m_{3,4} = m_{4,5} = -19,229 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{2,1} = m_{3,2} = m_{4,3} = m_{5,4} = 19,229 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{6,7} = -\frac{PL^2}{12} = -\frac{33,596 \times 3,25^2}{12} = -29,571 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{6,7} = m_{7,8} = m_{8,9} = m_{9,10} = -29,571 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{8,7} = m_{9,8} = m_{10,9} = m_{7,6} = 29,571 \text{ kN.m/ml}$$

$$\begin{aligned} m_{10,1} &= -((Pt_1 - P_{to}) \times \frac{H^2}{20} + P_{to} \times \frac{H^2}{12}) = -((21,564 - 7,70) \times \frac{2,10^2}{20} + 7,70 \times \frac{2,10^2}{12}) \\ &= -5,887 \text{ kN.m/ml} \end{aligned}$$

$$m_{10,1} = m_{6,5} = -5,887 \text{ kN.m/ml}$$

$$\begin{aligned} m_{1,10} &= (Pt_1 - P_{to}) \times \frac{H^2}{30} + P_{to} \times \frac{H^2}{12} = (21,564 - 7,70) \times \frac{2,10^2}{30} + 7,70 \times \frac{2,10^2}{12} \\ &= 4,868 \text{ kN.m/ml} \end{aligned}$$

$$m_{1,10} = m_{5,6} = 4,868 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{2,9} = m_{9,2} = m_{8,3} = m_{3,8} = m_{4,7} = m_{7,4} = 00,00 \text{ kN.m/ml}$$

Les valeurs de bi sont :

$$b_1 = 14,361 \text{ KN.m}$$

$$b_2 = 0 \text{ KN.m}$$

$$b_3 = 0 \text{ KN.m}$$

$$b_4 = 0 \text{ KN.m}$$

$$b_5 = -24,097 \text{ kN.m}$$

$$b_6 = 35,458 \text{ kN.m}$$

$$b_7 = 0 \text{ KN.m}$$

$$b_8 = 0 \text{ KN.m}$$

$$b_9 = 0 \text{ KN.m}$$

$$b_{10} = -23,684 \text{ kN.m}$$

Tableau : valeur coefficient.

K1	1385000
K2	12820000
2*(2*k1+k2)	31180000
2*(k1+k2)	28410000

L'équation a une solution car le déterminant est égal à $2,115 \cdot 10^{14}$ qui est différent de 0.

Tableau : Système d'équation.

c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	Inconnu	bi
28 410 000	1 385 000	0	0	0	0	0	0	0	12 820 000	a1	14,361
1 385 000	31 180 000	1 385 000	0	0	0	0	0	12 820 000	0	a2	0
0	1 385 000	31 180 000	1 385 000	0	0	0	12 820 000	0	0	a3	0
0	0	1 385 000	31 180 000	1 385 000	0	12 820 000	0	0	0	a4	0
0	0	0	1 385 000	28 410 000	12 820 000	0	0	0	0	a5	-24,097
0	0	0	0	12 820 000	28 410 000	1 385 000	0	0	0	a6	35,458
0	0	0	12 820 000	0	1 385 000	31 180 000	1 385 000	0	0	a7	0
0	0	12 820 000	0	0	0	1 385 000	31 180 000	1 385 000	0	a8	0
0	12 820 000	0	0	0	0	0	1 385 000	31 180 000	1 385 000	a9	0
12 820 000	0	0	0	0	0	0	0	1 385 000	28 410 000	a10	-23,684

Tableau : résolution du système d'équations obtenu.

Inconnu	Valeurs
a ₁	1,1152E-06
a ₂	-8,88002E-08
a ₃	-3,97344E-09
a ₄	1,41019E-07
a ₅	-1,78503E-06
a ₆	2,06087E-06
a ₇	-1,49703E-07
a ₈	4,02257E-09
a ₉	9,59239E-08
a ₁₀	-1,34156E-06

Nous déduisons les moments statiques aux appuis :

Mij (kN.m/ml)	
M1.2	-16,263
M1.10	16,263
M2.1	20,528
M2.3	-19,481
M2.9	-1,047
M3.2	19,095
M3.4	-19,045
M3.8	-0,050
M4.3	19,614
M4.5	-21,311
M4.7	1,697
M5.4	14,480
M5.6	-14,480
M6.5	24,070
M6.7	-24,070
M7.6	32,011
M7.8	-29,981
M7.4	-2,031
M8.7	29,375
M8.9	-29,427
M8.3	0,052
M9.8	29,843
M9.10	-31,164
M9.2	1,321
M10.9	25,988
M10.1	-25,987

Les moments isostatiques au niveau des travées, du radier et des piédroits sont :

$$\text{Tablier : } M_{ot} = \frac{P_t \times L^2}{8} = \frac{21,846 \times 3,25^2}{8} = 28,8435 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Radier : } M_{or} = -\frac{P_r \times L^2}{8} = \frac{33,596 \times 3,25^2}{8} = -44,3572 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Piédroit : } M_{op} = \frac{P_{t0} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t1} - P_{t0}) \times H^2}{16} = \frac{7,70 \times 2,10^2}{8} + \frac{(21,564 - 7,70) \times 2,10^2}{16} = 8,06589 \text{ kN.m/ml}$$

Les moments maximums en travée et sur appuis sont donc :

Formules utilisées :

Tablier :

➤ Travée 1

-Appui gauche : $M_{agt} = M_{1.2} = -16,263 \text{ kN.m/ml}$

-Appui droit : $M_{adt} = -M_{2.1} = -20,528 \text{ kN.m/ml}$

-Milieu : $\frac{M_{agt}+M_{adt}}{2} + M_{ot} = 10,448 \text{ kN.m/ml}$

➤ Travée 2

-Appui gauche : $M_{agt} = M_{2.3} = -19,481 \text{ kN.m/ml}$

- Appui droit : $M_{adt} = -M_{3.2} = -19,095 \text{ kN.m/ml}$

- Milieu : $\frac{M_{agt}+M_{adt}}{2} + M_{ot} = 9,556 \text{ kN.m/ml}$

➤ Travée 3

-Appui gauche : $M_{agt} = M_{3.4} = -19,045 \text{ kN.m/ml}$

- Appui droit : $M_{adt} = -M_{4.3} = -19,614 \text{ kN.m/ml}$

- Milieu : $\frac{M_{agt}+M_{adt}}{2} + M_{ot} = 9,514 \text{ kN.m/ml}$

➤ Travée 4

-Appui gauche : $M_{agt} = M_{4.5} = -21,311 \text{ kN.m/ml}$

- Appui droit : $M_{adt} = -M_{5.4} = -14,480 \text{ kN.m/ml}$

- Milieu : $\frac{M_{agt}+M_{adt}}{2} + M_{ot} = 10,948 \text{ kN.m/ml}$

Radier :

➤ Travée 1

-Appui gauche : $M_{agr} = M_{10.9} = 25,988 \text{ kN.m/ml}$

-Appui droit : $M_{adr} = -M_{9.10} = 31,164 \text{ kN.m/ml}$

-Milieu : $\frac{M_{agr}+M_{adr}}{2} + M_{or} = -15,781 \text{ kN.m/ml}$

➤ Travée 2

-Appui gauche : $M_{agr} = M_{9.8} = 29,843 \text{ kN.m/ml}$

- Appui droit : $M_{adr} = -M_{9.8} = 29,427 \text{ kN.m/ml}$

- Milieu : $\frac{M_{agr}+M_{adr}}{2} + M_{or} = -14,722 \text{ kN.m/ml}$

➤ Travée 3

-Appui gauche : $M_{agr} = M_{8.7} = 29,375 \text{ kN.m/ml}$

- Appui droit : $M_{adr} = -M_{7.8} = 29,981 \text{ kN.m/ml}$

- Milieu : $\frac{M_{agr}+M_{adr}}{2} + M_{or} = -14,679 \text{ kN.m/ml}$

➤ Travée 4

- Appui gauche : $M_{agr} = M_{7.6} = 32,011 \text{ kN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{adr} = -M_{6.7} = 24,070 \text{ kN.m/ml}$
- Milieu : $\frac{M_{agr}+M_{adr}}{2} + M_{or} = -16,317 \text{ kN.m/ml}$

Piédroits :

➤ Piédroit gauche

- Appui gauche : $M_{agp} = M_{10.1} = -25,987 \text{ kN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{adp} = -M_{9.10} = 31,164 \text{ kN.m/ml}$
- Milieu : $\frac{M_{agp}+M_{adp}}{2} + M_{op} = 10,654 \text{ kN.m/ml}$

➤ Piédroit 1

- Appui gauche : $M_{agp} = M_{9.2} = 1,321 \text{ kN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{adp} = -M_{2.9} = 1,047 \text{ kN.m/ml}$
- Milieu : $\frac{M_{agp}+M_{adp}}{2} + M_{op} = 9,250 \text{ kN.m/ml}$

➤ Piédroit 2

- Appui gauche : $M_{agp} = M_{8.3} = 0,052 \text{ kN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{adp} = -M_{3.8} = 0,050 \text{ kN.m/ml}$
- Milieu : $\frac{M_{agp}+M_{adp}}{2} + M_{op} = 8,117 \text{ kN.m/ml}$

➤ Piédroit 3

- Appui gauche : $M_{agp} = M_{7.4} = -2,031 \text{ kN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{adp} = -M_{4.7} = -1,697 \text{ kN.m/ml}$
- Milieu : $\frac{M_{agp}+M_{adp}}{2} + M_{op} = 6,202 \text{ kN.m/m}$

➤ Piédroit droit

- Appui gauche : $M_{agp} = M_{6.5} = 24,070 \text{ kN.m/ml}$
- Appui droit : $M_{adp} = -M_{5.6} = 14,480 \text{ kN.m/ml}$
- Milieu : $\frac{M_{agp}+M_{adp}}{2} + M_{op} = 27,341 \text{ kN.m/ml}$

Les réactions à chaque appui :

Tablier :

➤ Travée 1

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adt}+M_{agt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 24,180 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agt}+M_{adt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 24,180 \text{ kN/m}$

➤ Travée 2

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adt}+M_{agt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 23,630 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agt}+M_{adt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 23,630 \text{ kN/m}$

➤ Travée 3

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adt}+M_{agt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 23,605 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agt}+M_{adt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 23,605 \text{ kN/m}$

➤ Travée 4

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adt}+M_{agt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 24,487 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agt}+M_{adt}}{L} + \frac{P_t \times L}{2} = 24,487 \text{ kN/m}$

Radier :

➤ Travée 1

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adr}+M_{agr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 72,179 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agr}+M_{adr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 72,179 \text{ kN/m}$

➤ Travée 2

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adr}+M_{agr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 72,83 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agr}+M_{adr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 72,83 \text{ kN/m}$

➤ Travée 3

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adr}+M_{agr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 72,857 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agr}+M_{adr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 72,857 \text{ kN/m}$

➤ Travée 4

-Appui gauche $R_{agt} = \frac{M_{adr}+M_{agr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 71,849 \text{ kN/m}$

- Appui droit : $R_{adt} = \frac{M_{agr}+M_{adr}}{L} + \frac{P_r \times L}{2} = 71,849 \text{ kN/m}$

Les efforts de compressions à prendre en compte dans les piédroits sont :

Piédroit extrême gauche : $R_{agt} - R_{agr} = -47,999 \text{ kN/m}$

Piédroit 1 : $2 \times (R_{adt} - R_{adr}) = -95,998 \text{ kN/m}$

$$\text{Piédroit 2 : } 2 \times (R_{\text{adt}} - R_{\text{adr}}) = -98,400 \text{ kN/m}$$

$$\text{Piédroit 3 : } 2 \times (R_{\text{adt}} - R_{\text{adr}}) = -98,504 \text{ kN/m}$$

$$\text{Piédroit extrême gauche : } R_{\text{adt}} - R_{\text{adr}} = -47,362 \text{ kN/m}$$

2. Surcharge Bt :

Les moments d'encastrement pour un mètre de largeur sont :

$$m_{1.2} = \frac{-PL^2}{12} = -\frac{59,007 \times 3,25^2}{12} = -51,938 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{1.2} = m_{2.3} = m_{3.4} = m_{4.5} = -51,938 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{2.1} = m_{3.2} = m_{4.3} = m_{5.4} = 51,938 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{6.7} = -\frac{PL^2}{12} = -\frac{59,007 \times 3,25^2}{12} = -51,938 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{6.7} = m_{7.8} = m_{8.9} = m_{9.10} = -51,938 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{8.7} = m_{9.8} = m_{10.9} = m_{7.6} = 51,938 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{10.1} = 0,00 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{1.10} = 0,00 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{2.9} = m_{9.2} = m_{8.3} = m_{3.8} = m_{4.7} = m_{7.4} = m_{5.6} = m_{6.5} = 00,00 \text{ kN.m/ml}$$

Les valeurs de bi sont :

$$b_1 = 51,938 \text{ kN.m}$$

$$b_2 = 0 \text{ kN.m}$$

$$b_3 = 0 \text{ kN.m}$$

$$b_4 = 0 \text{ kN.m}$$

$$b_5 = -51,938 \text{ kN.m}$$

$$b_6 = 51,938 \text{ kN.m}$$

$$b_7 = 0 \text{ kN.m}$$

$$b_8 = 0 \text{ kN.m}$$

$$b_9 = 0 \text{ kN.m}$$

$$b_{10} = -51,938 \text{ kN.m}$$

La résolution du système d'équations obtenu donne :

Inconnu	Valeurs
a1	3,35E-06
a2	-2,53E-07
a3	-4,96E-24
a4	2,53E-07
a5	-3,35E-06
a6	3,35E-06
a7	-2,53E-07
a8	4,96E-24
a9	2,53E-07
a10	-3,35E-06

Nous déduisons les moments statiques aux appuis :

Mij(kN.m/ml)	
M1.2	-42,998
M1.10	42,998
M2.1	55,883
M2.3	-52,639
M2.9	-3,244
M3.2	51,588
M3.4	-51,588
M3.8	0,000
M4.3	52,639
M4.5	-55,883
M4.7	3,244
M5.4	42,998
M5.6	-42,998
M6.5	42,998
M6.7	-42,998
M7.6	55,883
M7.8	-52,639
M7.4	-3,244
M8.7	51,588
M8.9	-51,588
M8.3	0,000
M9.8	52,639
M9.10	-55,883
M9.2	3,244
M10.9	42,998
M10.1	-42,998

Les moments isostatiques au niveau des travées, du radier et des piédroits sont :

$$\text{Tablier : } M_{ot} = \frac{P_t \times L^2}{8} = \frac{59,007 \times 3,25^2}{8} = 79,100 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Radier : } M_{or} = -\frac{P_r \times L^2}{8} = \frac{59,007 \times 3,25^2}{8} = -79,100 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Piédroit : } M_{op} = \frac{P_{t0} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t1} - P_{t0}) \times H^2}{16} = 0 \text{ kN.m/ml}$$

Les moments maximums en travée et sur appuis sont :

MOMENT MAXIMUMS EN TRAVEE ET SUR APPUIS								
Tablier			Radier			Piédroits		
Nom		Unité (KN.m/ml)	Nom		Unité (kN.m/ml)		Nom	Unité (KN.m/ml)
Travée 1	Appuis gauche	-42,998	Travée 1	Appuis gauche	42,998	Piédroit gauche	Appuis gauche	-42,998
	Appuis droit	-55,883		Appuis droit	55,883		Appuis droit	55,883
	Milieu	28,467		Milieu	-28,467		Milieu	6,442
Travée 2	Appuis gauche	-52,639	Travée 2	Appuis gauche	52,639	P1	Appuis gauche	3,244
	Appuis droit	-51,588		Appuis droit	51,588		Appuis droit	3,244
	Milieu	25,794		Milieu	-25,794		Milieu	3,244
Travée 3	Appuis gauche	-51,588	Travée 3	Appuis gauche	51,588	P2	Appuis gauche	0,000
	Appuis droit	-52,639		Appuis droit	52,639		Appuis droit	0,000
	Milieu	25,794		Milieu	-25,794		Milieu	0,000
Travée 4	Appuis gauche	-55,883	Travée 4	Appuis gauche	55,883	P3	Appuis gauche	-3,244
	Appuis droit	-42,998		Appuis droit	42,998		Appuis droit	-3,244
	Milieu	28,467		Milieu	-28,467		Milieu	-3,244
						Piédroit droit	Appuis gauche	42,998
							Appuis droit	42,998
							Milieu	42,998

Les réactions à chaque appui :

REACTION AUX APPUIS							
Tablier			Radier			Piédroits	
Nom		Unité (kN/m)	Nom		Unité (kN/m)	Nom	Unité (kN/m)
Travée 1	Appuis gauche	65,461	Travée 1	Appuis gauche	126,311	PG	-60,850
	Appuis droit	65,461		Appuis droit	126,311		
Travée 2	Appuis gauche	63,816	Travée 2	Appuis gauche	127,956	P1	-121,6999848
	Appuis droit	63,816		Appuis droit	127,956		
Travée 3	Appuis gauche	63,816	Travée 3	Appuis gauche	127,956	P2	-128,2797835
	Appuis droit	63,816		Appuis droit	127,956		
Travée 4	Appuis gauche	65,461	Travée 4	Appuis gauche	126,311	P3	-128,2797835
	Appuis droit	65,461		Appuis droit	126,311		
						PD	-60,850

3. Surcharge du au remblai :

Les moments d'encastrement pour un mètre de largeur sont :

$$m_{1.2} = \frac{-PL^2}{12} = -\frac{0 \times 3.25^2}{12} = 0 \text{KN.m/ml}$$

$$m_{1.2} = m_{2.3} = m_{3.4} = m_{4.5} = 0 \text{KN.m/ml}$$

$$m_{2.1} = m_{3.2} = m_{4.3} = m_{5.4} = 0 \text{KN.m/ml}$$

$$m_{6.7} = \frac{Pl^2}{12} = \frac{0 \times 3.25^2}{12} = 0 \text{KN.m/ml}$$

$$m_{6.7} = m_{7.8} = m_{8.9} = m_{9.10} = 0 \text{KN.m/ml}$$

$$m_{8.7} = m_{9.8} = m_{10.9} = m_{7.6} = 0 \text{KN.m/ml}$$

$$m_{10.1} = \frac{PL^2}{12} = \frac{3.3 \times 3.25^2}{12} = 2,905 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{1.10} = -2,905 \text{ kN.m/ml}$$

$$m_{2.9} = m_{9.2} = m_{8.3} = m_{3.8} = m_{4.7} = m_{7.4} = m_{5.6} = m_{6.5} = 0,00 \text{KN.m/ml}$$

Les valeurs de bi sont :

$$b_1 = 2,905 \text{ kN.m}$$

$$b_2 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_3 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_4 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_5 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_6 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_7 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_8 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_9 = 0 \text{KN.m}$$

$$b_{10} = -2,905 \text{ kN.m}$$

La résolution du système d'équations obtenu donne :

Inconnu	Valeurs
a1	1,876E-07
a2	-1,4233E-08
a3	1,0799E-09
a4	-8,2012E-11
a5	7,2859E-12
a6	-7,2859E-12
a7	8,2012E-11
a8	-1,0799E-09
a9	1,4233E-08
a10	-1,876E-07

Nous déduisons les moments statiques aux appuis :

Mij(kN.m/ml)	
M1.2	0,500
M1.10	-0,500
M2.1	0,220
M2.3	-0,038
M2.9	-0,182
M3.2	-0,017
M3.4	0,003
M3.8	0,014
M4.3	0,001
M4.5	0,000
M4.7	-0,001
M5.4	0,000
M5.6	-2,905
M6.5	2,905
M6.7	0,000
M7.6	0,000
M7.8	-0,001
M7.4	0,001
M8.7	-0,003
M8.9	0,017
M8.3	-0,014
M9.8	0,038
M9.10	-0,220
M9.2	0,182
M10.9	-0,500
M10.1	0,500

Les moments isostatiques au niveau des travées, du radier et des piédroits sont :

$$\text{Tablier : } M_{ot} = \frac{P_t \times L^2}{8} = \frac{0 \times 3,25^2}{8} = 0 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Radier : } M_{or} = -\frac{P_r \times L^2}{8} = \frac{0 \times 3,25^2}{8} = 0 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Piédroit : } M_{op} = \frac{P_{t0} \times H^2}{8} + \frac{(P_{t1} - P_{t0}) \times H^2}{16} = 0 \text{ kN.m/ml}$$

Les moments maximums en travée et sur appuis sont :

MOMENT MAXIMUMS EN TRAVEE ET SUR APPUIS								
Tablier			Radier			Piédroits		
Nom		Unité (Kn.m/ml)	Nom		Unité (kN.m/ml)		Nom	Unité (Kn.m/ml)
Travée 1	Appuis gauche	0,500	Travée 1	Appuis gauche	-0,500	Piédroit gauche	Appuis gauche	0,500
	Appuis droit	-0,220		Appuis droit	0,220		Appuis droit	0,220
	Milieu	0,140		Milieu	-0,140		Milieu	0,360
Travée 2	Appuis gauche	-0,038	Travée 2	Appuis gauche	0,038	P1	Appuis gauche	0,182
	Appuis droit	0,017		Appuis droit	-0,017		Appuis droit	0,182
	Milieu	-0,011		Milieu	0,011		Milieu	0,182
Travée 3	Appuis gauche	0,003	Travée 3	Appuis gauche	-0,003	P2	Appuis gauche	-0,014
	Appuis droit	-0,001		Appuis droit	0,001		Appuis droit	-0,014
	Milieu	0,001		Milieu	-0,001		Milieu	-0,014
Travée 4	Appuis gauche	0,000	Travée 4	Appuis gauche	0,000	P3	Appuis gauche	0,001
	Appuis droit	0,000		Appuis droit	0,000		Appuis droit	0,001
	Milieu	0,000		Milieu	0,000		Milieu	0,001
						Piédroit droit	Appuis gauche	2,905
							Appuis droit	2,905
							Milieu	2,905

Les réactions aux appuis :

REACTION AUX APPUIS							
Tablier			Radier			Piedroits	
Nom		Unité (kN/m)	Nom		Unité (kN/m)	Nom	Unité (kN/m)
Travée 1	Appuis gauche	0,086	Travée 1	Appuis gauche	-0,086	PG	0,172
	Appuis droit	0,086		Appuis droit	-0,086		
Travée 2	Appuis gauche	-0,007	Travée 2	Appuis gauche	0,007	P1	0,34405142
	Appuis droit	-0,007		Appuis droit	0,007		
Travée 3	Appuis gauche	0,000	Travée 3	Appuis gauche	0,000	P2	-0,02610318
	Appuis droit	0,000		Appuis droit	0,000		
Travée 4	Appuis gauche	0,000	Travée 4	Appuis gauche	0,000	P3	0,00198059
	Appuis droit	0,000		Appuis droit	0,000		
						PD	0,000

Sollicitations maximales :

Partie d'ouvrage	Sollicitations maximales		G	Bt	Surcharge Remblais Sr
TABLIER	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	-21,311	-55,883	0,500
		Appuis de droit	-20,528	-55,883	-0,220
		Milieu	10,948	28,467	0,140
		Effort tranchant (kN/m)	24,487	65,461	0,086
RADIER	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	32,011	55,883	-0,500
		Appuis de droit	31,164	55,883	0,220
		Milieu	-16,317	-28,467	-0,140
		Effort tranchant (kN/m)	72,857	127,956	0,007
PIEDROIT EXTREME	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	-25,987	-42,998	0,500
		Appuis de droit	31,164	55,883	0,220
		Milieu	27,341	42,998	0,360
		Effort Normale (kN/m)	-47,999	-60,850	0,172
PIEDROIT CENTRAL	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	-2,031	3,244	0,182
		Appuis de droit	-1,697	3,244	0,182
		Milieu	9,250	3,244	0,182
		Effort Normale (kN/m)	-98,504	-128,280	0,344

Combinaisons d'actions :

Partie d'ouvrage	Sollicitations maximales		ELU	ELS
TABLIER	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	-117,382	-87,770
		Appuis de droit	-117,477	-87,852
		Milieu	60,551	45,277
	Effort tranchant (kN/m)		137,934	103,144
RADIER	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	131,828	98,471
		Appuis de droit	131,836	98,488
		Milieu	-67,798	-50,645
	Effort tranchant (kN/m)		303,097	226,412
PIEDROIT EXTREME	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	-103,080	-76,985
		Appuis de droit	131,836	98,488
		Milieu	106,283	79,370
	Effort Normale (kN/m)		-161,884	-120,813
PIEDROIT CENTRAL	Moment fléchissant (kN.m/ml)	Appuis de gauche	2,740	2,081
		Appuis de droit	3,191	2,415
		Milieu	17,969	13,361
	Effort Normale (kN/m)		-337,678	-252,027

CALCULE DES SECTIONS ARMATURES :

Vu que l'on est en fissuration préjudiciable, nous ferons le calcul à **ELS**.

Travée :

Appui gauche

Mser = 87,77 kN.m/ml

-Paramètres de déformation

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = 0,527 \text{ MPa}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r\ ser,b}$:

$$M_{r\ ser,b} = \overline{\sigma_{bc}} * \frac{1}{2} \overline{\alpha_{ser}} * b o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}})$$

$$M_{r\ ser,b} = 15 * \frac{1}{2} * 0,527 * 1 * (0,27)^2 * (1 - \frac{1}{3} * 0,527)$$

$$M_{r\ ser,b} = 0,237658 \text{ MN.m/ml}$$

On est dans le 1^{er} cas : $M_{ser} \leq M_{r\ ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \overline{\sigma_{st}}(MPa)} * 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}})$$

$$z_{ser} = (0,9 * 0,30) * (1 - \frac{1}{3} * 0,527) = 0,222$$

$$z_{ser} = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{87,77}{0,22 * 201,63} * 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 19,56 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

Acier principaux : 2 X 7HA14 (21,56 cm²), espacement = 15 cm

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{19,56 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 4,89 \text{ cm}^2$$

Acier de repartition : HA8, espacement = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2 < A_{st} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{stp} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 100 * y_{ser}^2 - 15 * 21,56 * (0,9 * 25 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 6,7 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,001430578 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 4,375 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 17,720 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limites vérifiée.

Appui droit :

$$M_{ser} = 87,852 \text{ kN.m/ml}$$

-Paramètres de déformation

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,527 \text{ MPa}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r\ ser,b}$:

$$M_{r\ ser,b} = \bar{\sigma}_{bc} * \frac{1}{2} \bar{\alpha}_{ser} * b o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$M_{r\ ser,b} = 15 \times \frac{1}{2} \times 0,527 \times 1 \times (0,27)^2 \times (1 - \frac{1}{3} \times 0,527)$$

$$M_{r\ ser,b} = 0,237658 \text{ MN.m/ml}$$

On est dans le **1^{er} cas** : $M_{ser} \leq M_{r\ ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \bar{\sigma}_{st}(MPa)} * 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$z_{ser} = (0,9 \times 0,30) \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0,527\right) = 0,222$$

$$z_{ser} = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{87,852}{0,22 \times 201,63} * 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 19,58 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

Acier principaux : 2 X 7HA14 (21,56 cm²), espacement = 15 cm

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{19,58 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 4,89 \text{ cm}^2$$

Acier de repartition : HA8, espacement = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2 < A_{st} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{stp} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 100 * y_{ser}^2 - 15 * 21,56 * (0,9 * 25 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 6,7 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,001430578 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 4,375 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 17,720 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limites vérifiée.

A mis-travée :

$$M_{ser} = 45,28 \text{ kN.m/ml}$$

-Paramètres de déformation

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,527 \text{ MPa}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r\ ser,b}$:

$$M_{r\ ser,b} = \bar{\sigma}_{bc} * \frac{1}{2} \bar{\alpha}_{ser} * b o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$M_{r\ ser,b} = 15 \times \frac{1}{2} \times 0,527 \times 1 \times (0,27)^2 \times (1 - \frac{1}{3} \times 0,527)$$

$$M_{r\ ser,b} = 0,237658 \text{ MN.m/ml}$$

On est dans le **1^{er} cas**: $M_{ser} \leq M_{r\ ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \bar{\sigma}_{st}(MPa)} * 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$z_{ser} = (0,9 \times 0,30) \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0,527\right) = 0,222$$

$$z_{ser} = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{45,28}{0,22 \times 201,63} * 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 10,09 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

Acier principaux : 2 X 7HA10 (11,00 cm²), espacement = 15 cm

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{10,09 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 2,52 \text{ cm}^2$$

Acier de repartition : HA8, espacement = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2 < A_{st} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{stp} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 100 * y_{ser}^2 - 15 * 11 * (0,9 * 25 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 3,55 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,00092219 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 1,744 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 7,061 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limites vérifiée.

Radier :

Appui gauche

$$M_{ser} = 98,47 \text{ kN.m/ml}$$

-Paramètres de déformation

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,527 \text{ MPa}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r\ ser,b}$:

$$M_{r\ ser,b} = \bar{\sigma}_{bc} * \frac{1}{2} \bar{\alpha}_{ser} * b o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$M_{r\ ser,b} = 15 \times \frac{1}{2} \times 0,527 \times 1 \times (0,27)^2 \times (1 - \frac{1}{3} \times 0,527)$$

$$M_{r\ ser,b} = 0,237658 \text{ MN.m/ml}$$

On est dans le **1^{er} cas**: $M_{ser} \leq M_{r\ ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \bar{\sigma}_{st}(MPa)} * 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$z_{ser} = (0,9 \times 0,30) \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0,527\right) = 0,222$$

$$z_{ser} = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{98,47}{0,22 \times 201,63} * 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 21,95 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

Acier principaux : 2 X 8HA14 (24,62 cm²), espacement = 12 cm

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{21,95 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 5,49 \text{ cm}^2$$

Acier de repartition : HA8, espacement = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2 < A_{st} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{stp} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 100 * y_{ser}^2 - 15 * 24,62 * (0,9 * 25 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 7,65 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,001532246 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 4,914 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 19,903 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limites vérifiée.

Appui droit :

$$M_{ser} = 98,49 \text{ kN.m/ml}$$

-Paramètres de déformation

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63}$$

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,527 \text{ MPa}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r\ ser,b}$:

$$M_{r\ ser,b} = \bar{\sigma}_{bc} * \frac{1}{2} \bar{\alpha}_{ser} * b o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$M_{r\ ser,b} = 15 \times \frac{1}{2} \times 0,527 \times 1 \times (0,27)^2 \times (1 - \frac{1}{3} \times 0,527)$$

$$M_{r\ ser,b} = 0,237658 \text{ MN.m/ml}$$

On est dans le **1^{er} cas** : $M_{ser} \leq M_{r\ ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \bar{\sigma}_{st}(MPa)} * 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$z_{ser} = (0,9 \times 0,30) \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0,527\right) = 0,222$$

$$z_{ser} = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{98,49}{0,22 \times 201,63} * 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 21,95 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

Acier principaux : 2 X 8HA14 (24,62 cm²), espacement = 12 cm

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{21,95 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 5,49 \text{ cm}^2$$

Acier de repartition : HA8, espacement = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2 < A_{st} \text{ Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{stp} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 100 * y_{ser}^2 - 15 * 24,62 * (0,9 * 25 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 7,65 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,001532246 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 4,914 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 19,903 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limites vérifiée.

A mis-travée :

$$M_{ser} = 50,64 \text{ kN.m/ml}$$

-Paramètres de déformation

Pour une sollicitation donnée on suppose que la déformation élastique du béton égale à la déformation de l'acier d'où $n \approx 15$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}}$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201,63}$$

$$\overline{\alpha_{ser}} = 0,527 \text{ MPa}$$

Calculons le moment résistant du béton à l'état limite de service $M_{r\ ser,b}$:

$$M_{r\ ser,b} = \overline{\sigma_{bc}} * \frac{1}{2} \overline{\alpha_{ser}} * b_o * d^2 * (1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}})$$

$$M_{r\ ser,b} = 15 * \frac{1}{2} * 0,527 * 1 * (0,27)^2 * (1 - \frac{1}{3} * 0,527)$$

$$M_{r\ ser,b} = 0,237658 \text{ MN.m/ml}$$

On est dans le 1^{er} cas : $M_{ser} \leq M_{r\ ser,b}$ il n'y a pas d'acier comprimé il faut alors déterminer la section d'acier tendu ($A_{st} \neq 0$; $A_{sc} = 0$).

$$A_{st} = \frac{M_{ser}(KN.m)}{Z_{ser}(m) * \sigma_{st}(MPa)} * 10 \text{ en cm}^2 \quad \text{Avec} \quad z_{ser} = d(1 - \frac{1}{3} \overline{\alpha_{ser}})$$

$$z_{ser} = (0,9 * 0,30) * (1 - \frac{1}{3} * 0,527) = 0,222$$

$$z_{ser} = 0,22 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{50,64}{0,22 * 201,63} * 10 \text{ en cm}^2$$

$$A_{st} = 11,29 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Nous avons choisi :

Acier principaux : 2 X 8HA10 (12,56 cm²), espacement = 10 cm

$$A_{repartition} = \frac{A_s * B}{4}$$

$$A_{repartition} = \frac{11,29 * 1}{4}$$

$$A_{repartition} = 2,82 \text{ cm}^2$$

Acier de repartition : HA8, espacement = 20 cm

Condition de non fragilité :

$$A_{st_{min}} = 0,23 * b_o * d * \frac{f_{t28}}{f_e} * 10^4 \leq A_{st}$$

$$A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2 < A_{st} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

Vérification des contraintes limites :

$$\sigma_{st} = n \frac{M_{ser}}{I_{ser}} (d - y_{ser}) ; \quad \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} * y_{ser}$$

Déterminons y_{ser} :

Cela revient à résoudre l'équation :

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{st} * (d - y_{ser}) + n * A_{sc} * (y_{ser} - d') = 0$$

$$\frac{1}{2} b * y_{ser}^2 - n * A_{stp} * (d - y_{ser}) = 0$$

$$\frac{1}{2} * 100 * y_{ser}^2 - 15 * 12,56 * (0,9 * 25 - y_{ser}) = 0$$

$$y_{ser} = 4,02 \text{ cm}$$

$$\text{Avec } I_{ser} = \frac{b_o}{12} y_{ser}^3 + b_o y_{ser} * \left(\frac{y_{ser}}{2} \right)^2 + n * A_{st} * (d - y_{ser})^2 + n A_{sc} * (y_{ser} - d')^2$$

$$I_{ser} = 0,001016487 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{bc} = 4,914 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad \sigma_{st} = 19,903 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 201,63 \text{ MPa}$$

condition aux limites vérifiée.

Calcul des armatures pieddroits :

-Piédroits intermédiaires

H=2,10 m ; b=1m ; c=3cm ; d=0,27 ;

a-Armatures longitudinales

$$N_u = 337,678 \text{ kN/ml Et } N_{ser} = 252,027 \text{ kN/ml}$$

➤ Section réduite du béton Br

$$B_r = (e - 2c) \times (b - 2c) \rightarrow B_r = (25 - 6) \times (100 - 6) \rightarrow B_r = 1786 \text{ cm}^2$$

➤ Longueur de flambement l_f

Elle est définie en fonction de la longueur libre de l'élément de structure mais aussi de la conception de l'ouvrage. On est dans le cas où s'est encasté aux deux extrémités : $K=0,5$

$$l_f = K \times l_0$$

$$l_f = 0,5 \times 2,10 \rightarrow l_f = 1,05 \text{ m}$$

➤ Moment quadratique et rayon de giration

$$I = \frac{bh^3}{12} \text{ et } i = \sqrt{\frac{I}{bh}}$$

➤ Elancement : $\lambda = \frac{l_f}{i}$

Pour les sections rectangulaires comme dans notre cas : $\lambda = 3,5 * \frac{l_f}{a}$

a est le petit coté de la section

$$\lambda = 3,5 * \frac{1,05}{0,25} = 14,7$$

$$\lambda = 14,7 < 50$$

$$\lambda < 50 \rightarrow \alpha = \frac{0,85}{1 \times 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2} = 0,82 \rightarrow \alpha = 0,82$$

En considérant que plus de la moitié des charges sont appliquées avant 90 jours :

$$\alpha' = \frac{\alpha}{1,1} = \frac{0,82}{1,1} \rightarrow \alpha' = 0,745$$

$$A_{sc} = \left(\frac{N_{ser}}{\alpha'} - \frac{B_r \times F_{c28}}{0,9\gamma_b} \right) \times \left(\frac{\gamma_s}{F_e} \right)$$

$$A_{sc} = \left(\frac{0,252027}{0,745} - \frac{0,1786 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right) \times \left(\frac{1,15}{400} \right) = -8,54 \times 10^{-3}$$

$$\rightarrow A_{sc} < 0$$

Pour des dispositions constructives on calculera donc la section d'armature minimale car la section de béton est suffisante pour reprendre les efforts de compression.

Section minimale :

$$A_{min} = \max \begin{cases} 4u = 4 \times 2(1 + 0,25) = 10 \text{ cm}^2 \\ \frac{0,2B}{100} = \frac{0,2 \times 25 \times 100}{100} = 5 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A_{min} = 10,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{max} = \frac{5B}{100} = \frac{5 \times 25 \times 100}{100} = 125 \text{ cm}^2$$

La section d'acier doit satisfaire la condition suivante :

$$A_{min} \leq A_{sc} \leq A_{max}$$

Nous prendrons $A_s = A_{min} = 10,00 \text{ cm}^2 \rightarrow 5,0 \text{ cm}^2$ sur chaque face

Choix : 2 X 5HA12 (11,30 cm²) espacement = 20cm

b-Armatures transversales

$$\frac{1}{3} \varphi_l \leq \varphi_t \leq \varphi_l \rightarrow \frac{1}{3} \times 12 \leq \varphi_t \leq 12 \rightarrow 4 \leq \varphi_t \leq 12$$

D'où $\varphi_t = 10 \text{ mm}$

CHOIX : 6HA10 $\rightarrow 4,71 \text{ cm}^2$

$$S_t \leq \min(40 \text{ cm}; (a + 10 \text{ cm}); (15 * \varphi_{lmin}))$$

$$S_t \leq \min(40 \text{ cm}; (35 \text{ cm}); (15 \text{ cm}))$$

Espacement $S_t = 15 \text{ cm}$

Piédroits extrêmes

Calcul a l'ELU :

L'élément étant comprimé, il apparaît un risque de flambement, ce qui impose de majorer l'excentricité réelle de l'effort normal appliqué.

$$e = e_1 + e_2$$

$$e_1 = \frac{M_{uG}}{N_i} + e_a$$

$$e_a = \text{Max} \left(2cm; \frac{L}{250} \right)$$

$$e_2 = \frac{3 * L_f^2}{10000 * h} * (2 + \alpha \emptyset)$$

L : longueur réelle de l'élément comprimé

L_f : longueur de flambement

h : hauteur totale de la section

e_1 : excentricité (dite du premier ordre)

e_a : excentricité additionnelle traduisant les imperfections géométriques initiales

e_2 : excentricité due aux effets du second ordre, liés à la déformation de la structure

$\emptyset$: Rapport de la déformation finale due au fluage à la déformation instantanée sous la charge considérée ; ce rapport est généralement pris égal à 2.

Excentricité additionnelle

$$e_a = \max \left\{ \frac{2cm}{250} \rightarrow e_a = \max \left\{ \frac{210}{250} = 0,84 \rightarrow e_a = 2 \text{ cm} \right. \right.$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} + 0,02 \rightarrow e_1 = \frac{106,283}{161,884} \rightarrow e_1 = 0,68$$

-Sollicitations ultime corrigée pour le flambement

$$L'élancement \ l_f = 0,7l_0 = 0,7 \times 2,10 \rightarrow l_f = 1,47 \text{ m}$$

Type de calcul

$$\text{Pièce chargée de calcul : } \begin{cases} \frac{l_f}{h} < \max(15; 20 \times \frac{e_1}{h}) \\ \frac{1,47}{0,25} < \max(15; 20 \times \frac{0,68}{0,25}) \end{cases} = 5,88 < 54,4$$

-Calcul en flexion composé en tenant compte de l'encastrement du 2nd degré

$$\alpha = 10 * \left(1 - \frac{M_u}{1,5M_{ser}} \right) = 10 * \left(1 - \frac{106,283}{1,5*79,37} \right) \rightarrow \alpha = 1,07$$

$$e_2 = \frac{3 * L_f^2}{10000 * h} * (2 + \alpha \emptyset) = \frac{3 * 1,47^2}{10000 * 0,25} * (2 + \alpha \emptyset) = \text{Avec } \emptyset = 2$$

$$e_2 = 0,011 \text{ m}$$

-Sollicitations corrigées par le calcul en flexion composée

Les sollicitations de calcul deviennent ainsi N_u : **inchangé** et $M_u = e * N_u$

-Sollicitations corrigées par le calcul en flexion composée

$$\begin{cases} N_u = N_i \\ M_{uGo} = N_u(e_1 + e_2) \\ e_0 = (e_1 + e_2) \end{cases} \begin{cases} N_u = 161,884 \\ M_{uGo} = 161,884 \times (0,68 + 0,011) = 111,86 \\ e_0 = 0,68 + 0,011 = 0,691 \end{cases}$$

$$N_u = 161,884 \text{ kN/ml}$$

$$M_{uGo} = 0,691 * 161,884 = 111,86 \text{ kN.m/ml}$$

-Sollicitation au centre de gravité des aciers tendus

$$\begin{cases} e_a = e_0 + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 0,691 + \left(0,225 - \frac{0,25}{2}\right) = 0,791 \\ M_{ua} = 161,884 \times 0,791 = 128,05 \text{ kN.ml/cm} \end{cases}$$

-Moment réduit de référence

$$\mu_{bc} = \frac{0,8h}{d} \left(1 - \frac{0,4h}{d}\right) = \frac{0,8 \times 0,25}{0,225} \left(1 - \frac{0,4 \times 0,250}{0,225}\right) = 0,49$$

-Moment agissant à μ_{ua}

$$\mu_{ua} = \frac{M_{ua}}{b_0 \times d^2 \times F_{bu}} = \frac{128,05 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,225^2 \times 14,17} = 0,178$$

$\mu_{ua} > \mu_{bc} \rightarrow$ Section totalement tendue

-Calcul des aciers en flexion simple

-Paramètre de déformation

$$\alpha_{ua} = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{ua}}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,049}) \rightarrow \alpha_{ua} = 0,246$$

-Bras de levier

$$Z_u = d \times (1 - 0,4 \times \alpha_{ua}) = \alpha_{ua} = 0,225 \times (1 - 0,4 \times 0,246) \rightarrow Z_u = 0,20m$$

$$A = \frac{M_{ua}}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{128,05 \times 10^{-3}}{0,20 \times 347,63} \rightarrow A = 18,42 cm^2$$

-section théorique

$$A_u = A - \frac{N_U}{\gamma_s} = 18,42 - \frac{161,884 \cdot 10^{-3}}{347,63} \rightarrow A_u = 13,76 cm^2$$

-Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} b_0 d = 0,23 \times \frac{2,1}{400} \times 1 \times 0,225 = 3,73 cm^2 \rightarrow$$

$$A_{min} = 2,72 cm^2$$

Section d'acier retenue

$$A_s = 13,76 cm^2 \text{ Soit } 6,88 cm^2 / ml / face$$

$$\text{CHOIX : } 2 \times 7HA14 \rightarrow 15,84 cm^2 \text{ espacement} = 15 cm$$

Armatures transversales

$$\frac{1}{3} \varphi_l \leq \varphi_t \leq \varphi_l \rightarrow \frac{1}{3} \times 12 \leq \varphi_t \leq 12 \rightarrow 4 \leq \varphi_t \leq 12$$

$$\text{D'où } \varphi_t = 10mm$$

$$S_t \leq \min(40cm; (a + 10cm); (15 * \varphi_{lmin}))$$

$$S_t \leq \min(40cm; (35 cm); (15cm))$$

$$\text{CHOIX : } 6HA10 \rightarrow 4,71 cm^2 \text{ et espacement } S_t = 15 cm$$

Tableau : Récapitulatif des sections d'acier du dalot.

Partie d'ouvrage		Acier principaux			Acier de répartition		
		Section (cm2)	Choix	Espacement (cm)	Section (cm2)	Choix	Espacement (cm)
TABLIER	Appuis de gauche	19,56	2X 7HA14	15	4,89	HA8	20
	Appuis de droit	19,58	2X 7HA14	15	4,89	HA8	20
	Milieu	10,09	2X 7HA10	15	2,52	HA8	20
RADIER	Appuis de gauche	21,95	2X 8HA14	12	5,49	HA8	20
	Appuis de droit	21,95	2X 8HA14	12	5,49	HA8	20
	Milieu	11,29	2 X 8HA10	10	2,82	HA8	20
PIEDROIT EXTREME	Appuis de gauche	6,88/face	7HA 14/face	15	1,72/face	3HA10/face	15
	Appuis de droit						
	Milieu						
PIEDROIT CENTRAL	Appuis de gauche	5/face	5HA10/face	20	1,25/face	3HA10/face	15
	Appuis de droit						
	Milieu						

ANNEXE 8 : Impact environnemental et social (Mission d'étude de la JICA, 2017).

Catégorie	Impact	Evaluation		Justification
		Avant pendant les travaux	Lors des la remise de service	
Mesure centre la pollution	Pollution de l'air			Pendant les travaux, l'air pourrait être pollué temporairement, à cause de la mise marche du matériel de construction et des embouteillages fréquentes.
		B	B	Lors de la prise en service : les gaz d'échappement des véhicules pourraient avoir un impact négatif sur la qualité de l'air contre, l'amélioration du trafic. Du trafic par contre, l'amélioration du revêtement et de revêtement de la chaussée bon bitumée atténueraient l'impact des particules fines etc.
	Pollution des eaux	B-	B-	Pendant les travaux : l'évacuation des eaux du chantier, des engins des véhicules et des logements d'ouvrier pourrait dégrader la qualité de d'eau Lors de la mise en service : il y aura moins d'inondation en cas de fortes pluies grâce à la mise place du caniveau de drainage. Le contrôle régulier des véhiculer est obligatoire et pour le moment, on n'a pas constaté de problème grave, tel qu'une fuite de carburant l'augmentation du après la mise en service n'aura pas d'impact négatif lie à la lutte du carburant, etc.
	Gestion des déchets	B-	D	Pendant les travaux : la production de déblais et de rebuts est anticipée. Lors de mise en service : le problème des déchets jetés par les véhicules n'est pas évoqué pour le moment. L'augmentation du trafic

				après en service ne causera pas D'impact négatif lie aux déchets sur le milieu environnant
	Pollution du sol	B-	D	Pendant travaux : le fruit du bitume de revêtement, etc. pourrait polluer le sol Lors de la mise en service : le contrôle régulier des véhicule étant obligatoire, il est supposé que dans l'état actuel des choses la pollution du sol due notamment à une fuite de carburant n'aura pas lieu, l'agrémentation du trafic après la mise en service n'aura pas d'impact négatif à la fuite du carburant, etc.
	Bruit et vibration	B-	B-	Pendant : les travaux : la mise en marché du matériel de construction de la circulation des véhicules transportant les mâtereaux pourrait avoir un impact négatif. Lors de la mise en service : la croissance du trafic pourrait augmenter le niveau du bruit le long de la route. Cependant il n'y a pas d'installation vulnérables (logement écoles, établissements médicaux etc.) au bord de la route.
	Affaissement de terrain	D	D	Des travaux qui provoque ration l'affaissement de terrain ne sont pas prévus.
	Odeurs insalubres	D	D	Des travaux qui génèraient des odeurs insalubres ne sont pas prévus
	Sédiments de fonds	D	D	Des travaux qui aurait un impact : sur les sédiments de fonds ne sont pas prévus

Catégorie	Impact	Evaluation		Justification
		Avant pendant les travaux	Lors des la remise de service	Il n'y a ni parc national, ni réserve naturelle sur le secteur cible et ses alentours.
Environnement naturel	Reserve naturel	D	D	Il n'y a aura pas d'impact sur l'écosystème comme il s'agit d'un projet de réhabilitation d'une route existante et que les espèces animales ou végétale rares ne sont pas présente sur le secteur cible.
	Hydrométéore	D	D	Pendant les travaux : des travaux qui provoqueraient le changement des flux ou des lits des cours d'eau ne sont prévu, Lors de la mise en service : la mise en place d'un système d'évacuation des eaux approprié étant prévue, il n'aura pas d'impact négatif.
	Facteur topographique et géologique	D	D	Il n'y a aura pratiquement pas d'impact sur les facteurs topographiques comme il s'agit d'une réhabilitation d'une existante qui ne prévoit ni de coupe, ni de remblai à grande échelle.
Environnemental social	Réinstallation des PAI's Pauvres	D B	D D	Avant les travaux : le secteur de l'emprise des logements les travaux ne provoqueront pas de réinstallation de personnes. Cependant, il sera nécessaire de supprimer ou de déplacer les unités occupant l'emprise pendant les travaux. Lors de la mise en service : il est possible d'accorder des indemnités pour les commerces, etc. sur unités réinstallées. Avant les travaux : des commerçants sédentaires ou ambulants qui font l'objet de la réinstallation peuvent être pauvres Lors de la mise en service : les revêtements de la chaussée non bitumée faciliteraient, aux pauvres aussi, l'accès aux services sociaux tels que l'école et l'hôpital et au marché ; un impact positif des anticipé.

	Minorité ethniques, autochtones	B	D	Avant les travaux : les colporteurs à réinstaller pourraient comprendre les minorités ethniques et autochtones. Lors de la mise en service : il est supposé que des effets qui nécessitent des mesures spéciales pour les minorités ethniques et autochtones ne se produiront pas.
	Economie locale telle que l'emploi et les moyens de subsistance	B	B	Les commerçants dans l'emprise de la route seraient affectés par les travaux (la perte des moyens de subsistance, par exemple). Il est possible que les mesures de soutien vitales soient nécessaires telles que l'offre d'emploi provisoire, la proposition d'un autre terrain pour les activités.
	Utilisation du sol et exploitation des ressources locales	D	D	Etant donné que les échappes existantes se déplaceront aux marches existants pour exercer leurs activités, il n'y a aura pratiquement pas d'impact négatif sur l'économie locale.
	Utilisation de l'eau	D	D	Pendant les travaux : les voie d'évacuation des eaux et les cours d'eau qui croisent la route cible ne sont pas utilisés pour l'approvisionnement en eau potables ; en conséquence, il n'y a aura pas d'impact. Lors de la mise en service : avec la mise en place d'un système d'évacuation des eaux appropriée, il n'ya aura pas d'impact.
	Infrastructures sociales et services connexe existants	B	D	Pendant les travaux : les lignes électriques et des installations souterraines (la canalisation d'eau, les lignes téléphoniques, les fibres optiques) existent dans l'emprise de la route il sera nécessaire de la réinstaller ou de la supprimer pour les travaux.
	Institution sociales telles que l'infrastructure et la prise de décisions au niveau local	D	D	Le projet visant à réhabiliter une route existante, il n'y a aura pas d'impact sur l'infrastructure et la prise de décision au niveau local.
	Equité dans le processus de	B	B	Le projet visant à réhabiliter l'emprise d'une route existante, il n'est pas

	répartition des pertes et des avantages			censé causer d'inégalité dans le processus de répartition des pertes et des avantages dans les environs du secteur cible. Cependant, il est possible de provoquer du mécontentement chez les personnes concernées selon la perception des indemnités en fonction de la délimitation de l'aire des travaux
	Conflits d'intérêt au niveau local	D	D	Le projet visant réhabiliter une route existante. Il n'est pas sensé provoquer de conflit d'intérêt au niveau local.

catégorie	Impact	Evaluation		Justification
		Avant pendant les travaux	Lors des la remise de service	
	Niveau local	D	D	Il n'est pas censé provoquer de conflits d'intérêt au niveau local
	Patrimoine culturel	D	D	Il n'y a pas de patrimoine culturel sue l'emprise de la route cible
	Paysage	B	B	Le projet visant à réhabiliter une route existante, il n'y aura d'impact négatif sur le paysage.
	Question liées à l'égalité hommes-femmes	B	D	Sans aucune logement dans l'emprise de la route le projet n'est pas censé avoir un impact négatif particulier sur les questions liée à légalité particulier sur les questions liée à l'égalité homme femmes cependant, l'interview effectué dans le cadre du recensement a révélé la présence de veuves et le leur familles dans le secteur, qui devront bénéficier d'une aide vitale.

	Droits de l'enfant	B	D	Le projet n'est pas censé avoir un impact négatif particulier sur les droits de l'enfant cependant, la possibilité de la mise en œuvre des mesures de soutien vitale sera étudiée en fonction des besoins
	Maladies infectieuses tels que le VIH/sida	B	D	Pendant les travaux : des travaux à grande échelle ne sont pas prévus, mais l'arrivée des ouvriers pourrait provoquer la propagation de maladies infectieuses telles que le VIH/sida.
	Condition de travail (y compris la sécurité au travail)	B	D	Pendant les travaux : il sera nécessaire d'être attentif aux conditions de travail des ouvriers de chantier. Lors de la mise en service : aucune opération qui risque d'avoir un impact négatif sur les ouvriers n'est prévue.
	Accidents	B	C	Pendant les travaux : la prévention des accidents sera nécessaire pendant les travaux. Mise en service : il reste peu probable qu'après l'aménagement de la structure de route, l'augmentation du trafic et de la vitesse de circulation provoquent des accidents de la route
	Impact sur l'environnement naturel dans un contexte transfrontière, changement climatique	D	B	Le projet concerne les route et pourra avoir l'impact sur l'environnement naturel dans un contexte transfrontière ou le changement climatique.

Résultats de l'exercice d'étude sur la section cible (Source : Mission d'étude JICA)

A+/- : un impact positif/négatif considérable est prévu.

B+/- : un impact positif/négatif est prévu jusqu'à un certain niveau.

C : l'ampleur de l'impact positif/négatif n'est pas connue. (Il faudra une étude pour l'appréhender et l'impact pourrait être identifié au fur et à mesure de l'avancement de l'étude)

D : aucun impact n'est prévu.

NB : A- : impact considérable,

B- : Impact jusqu'à un certain degré,

C : l'ampleur de l'impact n'est pas connue,

D : sans impact possible, ou un impact négligeable est prévu.

Tableau : Principales lois et leur contenu (Mission d'étude de la JICA).

	Nom	Numéro de texte	Contenu principal
1	Loi portant sur la réorganisations agraire et foncière	034-2012	Possibilité d'expropriations du terrain à but public
2	Loi portant sur le régime foncier rural	034-2009	Procédure d'indemnisation, etc. en cas d'exportations
3	Loi portant sur le côté de l'environnement	008-2018	Mise en œuvre de l'évaluation environnementale stratégique (EES)
4	Loi portant sur cote forestier	003-2011	Protection des forêts et de la faune sauvage
5	Loi portant sur la loi d'organisation sur le développement durable	008-2014	
6	Loi portant sur la loi d'orientation relative à la gestion de l'eau	002-2001	
7	Loi portant sur cote du travail	028-2008	Intervention des discriminations à l'emploi, etc.
8	Loi portant sur le code de la santé publique	023-1994	Santé humaines, déchets etc.
9	Conventions internationales pour l'environnement	-	- biodiversité et patrimoine mondial (Nairobi, décembre 1993) - convention sur la diversité biologique (Rio, 1992) -convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (Rio, 1992) -limitation d'émission des gaz à effet de serre (kyoto décembre 1997) -lutte contre la sécheresse et la désertification (paris juin 1994) -convention de Ramasr (1971) - Culturel et naturel (paris, 1972) - Convention de l'organisation Internationales du travail (OIT)

10	Décret portant sur les conditions et procédure de réalisation et de validations de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social	2015-1187	Procédure de l'évaluation
----	---	-----------	---------------------------

ANNEXE 9 : Dimensionnement hydraulique des ouvrages d'assainissement.

Tableau : Calcul du débit de crue décennale des bassins versant élémentaire par la formule de CAQUOT.

BASSINS VERSANTS	SUPERFICIE EQUIVALENTE DU BASSIN VERSANT (ha)	Pente (%)	Longueur hydraulique (Km)	Coefficient de ruissellement C	Coefficient de Montana		M: allongement du BV	m: Facteur de correction	Paramètre de détermination des coefficients de caquot						Coefficient de Caquot				Débits Q10 (m3/s)
					a	b			ε	$\beta + \delta$	f	μ	c	d	K(T)	u(T)	v(T)	p(T)	
BV1	41,150	1,4	1,715	0,70	9,4	-0,5	2,67	0,90	0,05	1,4	-0,287	0,434	-0,41	0,507	1,856	1,168	0,239	0,813	8,180
BV2	3,358	1,5	0,171	0,70	9,4	-0,5	0,93	1,31	0,05	1,4	-0,287	0,180	-0,41	0,507	3,108	1,168	0,239	0,813	2,625
BV3	12,300	1,4	0,634	0,70	9,4	-0,5	1,81	1,04	0,05	1,4	-0,287	0,313	-0,41	0,507	2,249	1,168	0,239	0,813	4,256
BV4	37,950	1,0	1,585	0,70	9,4	-0,5	2,57	0,92	0,05	1,4	-0,287	0,420	-0,41	0,507	1,892	1,168	0,239	0,813	7,367
BV5	11,190	1,3	0,617	0,70	9,4	-0,5	1,85	1,03	0,05	1,4	-0,287	0,318	-0,41	0,507	2,226	1,168	0,239	0,813	3,819
BV6	6,630	1,5	0,588	0,70	9,4	-0,5	2,28	0,95	0,05	1,4	-0,287	0,380	-0,41	0,507	2,006	1,168	0,239	0,813	2,145
BV7	21,520	1,4	1,718	0,70	9,4	-0,5	3,70	0,81	0,05	1,4	-0,287	0,571	-0,41	0,507	1,582	1,168	0,239	0,813	3,640
BV8	11,320	1,5	0,691	0,70	9,4	-0,5	2,05	0,99	0,05	1,4	-0,287	0,348	-0,41	0,507	2,113	1,168	0,239	0,813	3,636
BV9	70,500	1,2	1,791	0,70	9,4	-0,5	2,13	0,98	0,05	1,4	-0,287	0,359	-0,41	0,507	2,074	1,168	0,239	0,813	14,826
BV10	5,810	0,9	0,472	0,70	9,4	-0,5	1,96	1,01	0,05	1,4	-0,287	0,334	-0,41	0,507	2,163	1,168	0,239	0,813	1,967
BV11	26,030	1,3	1,792	0,70	9,4	-0,5	3,51	0,82	0,05	1,4	-0,287	0,546	-0,41	0,507	1,624	1,168	0,239	0,813	4,361
BV12	32,530	1,3	1,546	0,70	9,4	-0,5	2,71	0,90	0,05	1,4	-0,287	0,439	-0,41	0,507	1,844	1,168	0,239	0,813	6,500
BV13	38,360	1,3	1,654	0,70	9,4	-0,5	2,67	0,90	0,05	1,4	-0,287	0,434	-0,41	0,507	1,857	1,168	0,239	0,813	7,597
BV14	18,190	1,3	0,852	0,70	9,4	-0,5	2,00	1,00	0,05	1,4	-0,287	0,340	-0,41	0,507	2,142	1,168	0,239	0,813	5,324
BV15	47,770	1,3	1,713	0,70	9,4	-0,5	2,48	0,93	0,05	1,4	-0,287	0,407	-0,41	0,507	1,927	1,168	0,239	0,813	9,687
BV16	221,300	1,4	2,734	0,70	9,4	-0,5	1,84	1,03	0,05	1,4	-0,287	0,317	-0,41	0,507	2,231	1,168	0,239	0,813	43,718
BV17	4,078	1,7	0,037	0,70	9,4	-0,5	0,80	1,38	0,05	1,4	-0,287	0,158	-0,41	0,507	3,354	1,168	0,239	0,813	3,605
BV18	72,900	1,2	2,451	0,70	9,4	-0,5	2,87	0,88	0,05	1,4	-0,287	0,461	-0,41	0,507	1,793	1,168	0,239	0,813	11,799
BV19	42,780	1,2	1,838	0,70	9,4	-0,5	2,81	0,89	0,05	1,4	-0,287	0,453	-0,41	0,507	1,811	1,168	0,239	0,813	7,787
BV20	37,010	1,2	1,437	0,70	9,4	-0,5	2,36	0,94	0,05	1,4	-0,287	0,391	-0,41	0,507	1,973	1,168	0,239	0,813	7,944
BV21	30,040	1,1	1,202	0,70	9,4	-0,5	2,19	0,97	0,05	1,4	-0,287	0,367	-0,41	0,507	2,046	1,168	0,239	0,813	7,091
BV22	5,110	0,9	0,547	0,70	9,4	-0,5	2,42	0,94	0,05	1,4	-0,287	0,399	-0,41	0,507	1,950	1,168	0,239	0,813	1,468
BV23	2,376	1,4	0,257	0,70	9,4	-0,5	1,67	1,07	0,05	1,4	-0,287	0,292	-0,41	0,507	2,340	1,168	0,239	0,813	1,197
BV24	2,274	1,4	0,234	0,70	9,4	-0,5	1,55	1,09	0,05	1,4	-0,287	0,275	-0,41	0,507	2,422	1,168	0,239	0,813	1,214
BV25	14,040	1,2	0,543	0,70	9,4	-0,5	1,45	1,12	0,05	1,4	-0,287	0,259	-0,41	0,507	2,507	1,168	0,239	0,813	5,548
BV26	14,200	1,3	0,695	0,70	9,4	-0,5	1,84	1,03	0,05	1,4	-0,287	0,318	-0,41	0,507	2,227	1,168	0,239	0,813	4,586
BV27	8,980	1,32	0,409	0,70	9,4	-0,5	1,37	1,14	0,05	1,4	-0,287	0,247	-0,41	0,507	2,581	1,168	0,239	0,813	4,115

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

Tableau : calcul des débits associés.

NOM	TRONCON		Sous Tronçon	Début	Fin	SUPERFICIE EQUIVALENTE DU BASSIN VERSANT (ha)	Pente (%)	Longueur hydraulique (Km)	Coefficient de ruissellement C	Coefficient de Montana		M: allongement du BV	m: Facteur de correction	Coefficient de Caquot				Débits Q10 (m3/s)
										a	b			K(T)	u(T)	v(T)	p(T)	
PARTIE GAUCHE																		
OH1				PK 0+035														10,709
BV1	T 1 Série	PK 0+000 - PK 1+355	ST6	PK 0+035	PK 0+275	112,578	1,3	5,311	0,70	9,4	-0,5	5,005	0,725	1,365	1,168	0,239	0,813	10,709
BV2			ST5	PK 0+275	PK 0+452,65	71,428	1,2	3,596	0,70	9,4	-0,5	4,255	0,768	1,478	1,168	0,239	0,813	8,394
BV3			ST4	PK 0+452,65	PK 0+750	68,07	1,2	3,424	0,70	9,4	-0,5	4,151	0,774	1,496	1,168	0,239	0,813	8,222
BV4			ST3	PK 0+750	PK 0+963	55,77	1,2	2,790	0,70	9,4	-0,5	3,736	0,804	1,575	1,168	0,239	0,813	7,580
BV5			ST2	PK 0+963	PK 1+105	17,82	1,4	1,205	0,70	9,4	-0,5	2,855	0,883	1,797	1,168	0,239	0,813	3,916
BV6			ST1	PK 1+105	PK 1+355	6,63	1,5	0,588	0,70	9,4	-0,5	2,283	0,955	2,006	1,168	0,239	0,813	2,145
BV7	T2 Série	PK 1+300 - PK 2+200	ST1	PK 1+355	PK 1+393,5	21,52	1,4	1,718	0,70	9,4	-0,5	3,703	0,806	1,582	1,168	0,239	0,813	3,640
BV8			ST2	PK 1+393,5	PK 1+653	32,84	1,4	2,409	0,70	9,4	-0,5	4,203	0,771	1,487	1,168	0,239	0,813	4,648
BV9			ST3	PK 1+653	PK 1+905	103,34	1,3	4,200	0,70	9,4	-0,5	4,131	0,776	1,500	1,168	0,239	0,813	11,817
BV10			ST4	PK 1+905	PK 2+047	109,15	1,3	4,671	0,70	9,4	-0,5	4,471	0,755	1,443	1,168	0,239	0,813	11,460
BV11			ST5	PK 2+047	PK 2+200	135,18	1,3	6,463	0,70	9,4	-0,5	5,559	0,699	1,296	1,168	0,239	0,813	11,346
OH2				PK 2+200														11,346
BV12	T3 Série / Parallèle	PK 2+200 - PK 3+150	ST1	PK 2+200	PK 2+420	32,53	1,3	1,546	0,70	9,4	-0,5	2,711	0,899	1,844	1,168	0,239	0,813	6,500
BV13			ST2	PK 2+420	PK 2+611	70,89	1,3	3,200	0,70	9,4	-0,5	2,671	0,904	1,857	1,168	0,239	0,813	12,461
BV14			ST3	PK 2+611	PK 2+850	89,08	1,3	4,052	0,70	9,4	-0,5	1,998	1,000	2,142	1,168	0,239	0,813	19,199
BV15			ST4	PK 2+850	PK 3+037	136,85	1,3	5,765	0,70	9,4	-0,5	2,478	0,928	1,927	1,168	0,239	0,813	22,734
OH3		PK 3+150- PK 4+400		PK 3+150		137,54	1,3	5,765	0,70	9,4	-0,5	0,800	1,378	3,354	1,168	0,239	0,813	59,042
BV16			ST2'	PK 3+150	PK 3+413	0,69	1,3	0,147	0,70	9,4	-0,5	1,767	1,044	2,274	1,168	0,239	0,813	0,410
BV17			ST1'	PK 3+413	PK 4+400	4,078	1,7	0,037	0,70	9,4	-0,5	0,800	1,378	3,354	1,168	0,239	0,813	3,605
OH4				PK 4+400														14,365
BV18	T4 Série	PK 4+400- PK 5+436	ST3	PK 4+400	PK 4+857	152,69	1,2	5,726	0,70	9,4	-0,5	4,634	0,745	1,417	1,168	0,239	0,813	14,365
BV19			ST2	PK 4+857	PK 5+066	79,79	1,2	3,275	0,70	9,4	-0,5	3,666	0,809	1,590	1,168	0,239	0,813	10,301
BV20			ST1	PK 5+066	PK 5+436	37,01	1,2	1,437	0,70	9,4	-0,5	2,362	0,943	1,973	1,168	0,239	0,813	7,944
OH5				PK 5+600														6,017
BV21	T5 Série	PK 5+436 - PK6+202	ST3	PK 5+436	PK 5+800	37,526	1,1	2,006	0,70	9,4	-0,5	3,274	0,842	1,681	1,168	0,239	0,813	6,017
BV22			ST2	PK 5+800	PK 5+995	7,486	1,0	0,804	0,70	9,4	-0,5	2,937	0,874	1,773	1,168	0,239	0,813	1,755
BV23			ST1	PK 5+955	PK +6+202	2,376	1,4	0,257	0,70	9,4	-0,5	1,667	1,066	2,340	1,168	0,239	0,813	1,197
PARTIE DROITE																		
BV27	T1' Série	PK 3+290- PK4+375	ST3	PK 3+290	PK 3+645	37,22	1,3	1,647	0,70	9,4	-0,5	2,700	0,900	1,847	1,168	0,239	0,813	7,302
BV26			ST2	PK 3+645	PK 3+933	28,24	1,3	1,238	0,70	9,4	-0,5	2,329	0,948	1,986	1,168	0,239	0,813	6,582
BV25			ST1	PK 3+933	PK 4+375	14,04	1,2	0,543	0,70	9,4	-0,5	1,448	1,120	2,507	1,168	0,239	0,813	5,548
BV24	T2'	PK4+375- PK4+565	ST	PK 4+375	PK 4+565	2,274	1,4	0,234	0,70	9,4	-0,5	1,554	1,092	2,422	1,168	0,239	0,813	1,214

**ETUDES EN PHASE PROJET ET PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DES COUCHES D'ASSISE : CAS DU PROJET D'AMELIORATION DE LA ROCADE SUD-EST DU BOULEVARD DES
TANSOBA A OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

Tableau : Section des caniveaux.

Sous Tronçon	Début	Fin	Ks	I	y (m)	b (m)	S (m2)	P (m)	Rh^2/3 (m)	Qprojet1	Q/vl	Ks*Rh^2/3*S	ecart	Revanche: r = 0,2+ (0,15*Q^(1/3))	Y+r (m)	Section bxh (cm x cm)	Vcal (m/s)	
PARTIE GAUCHE																		
ST6	PK 0+035	PK 0+275	67	0,01	1,20	2,00	2,40	4,40	0,67	10,709	107,09	107,09	0,00	0,531	1,73	200	180	2,97
ST5	PK 0+275	PK 0+452,65	67	0,01	1,00	2,00	1,99	3,99	0,63	8,394	83,94	83,94	0,00	0,505	1,50	200	150	2,80
ST4	PK 0+452,65	PK 0+750	67	0,01	0,98	2,00	1,96	3,96	0,63	8,222	82,22	82,22	0,00	0,503	1,48	200	150	2,74
ST3	PK 0+750	PK 0+963	67	0,01	1,09	1,70	1,85	3,88	0,61	7,580	75,80	75,80	0,00	0,495	1,58	170	160	2,79
ST2	PK 0+963	PK 1+105	67	0,01	0,75	1,50	1,12	3,00	0,52	3,916	39,16	39,16	0,00	0,436	1,19	150	120	2,18
ST1	PK 1+105	PK 1+355	67	0,01	0,65	1,10	0,72	2,40	0,45	2,145	21,45	21,45	0,00	0,393	1,05	110	110	1,77
ST1	PK 1+355	PK 1+393,5	67	0,01	0,76	1,40	1,06	2,92	0,51	3,640	36,40	36,40	0,00	0,431	1,19	140	120	2,17
ST2	PK 1+393,5	PK 1+653	67	0,01	0,92	1,40	1,28	3,23	0,54	4,648	46,48	46,48	0,00	0,450	1,37	140	140	2,37
ST3	PK 1+653	PK 1+905	67	0,01	1,29	2,00	2,58	4,58	0,68	11,817	118,17	118,17	0,00	0,542	1,83	200	190	3,11
ST4	PK 1+905	PK 2+047	67	0,01	1,26	2,00	2,52	4,52	0,68	11,460	114,60	114,60	0,00	0,538	1,80	200	180	3,18
ST5	PK 2+047	PK 2+200	67	0,01	1,25	2,00	2,50	4,50	0,68	11,346	113,46	113,46	0,00	0,537	1,79	200	180	3,15
ST1	PK2+200	PK 2+420	67	0,01	0,82	2,00	1,65	3,65	0,59	6,500	65,00	65,00	0,00	0,480	1,30	200	130	2,50
ST2	PK 2+420	PK 2+611	67	0,01	1,35	2,00	2,69	4,69	0,69	12,461	124,61	124,61	0,00	0,548	1,89	200	190	3,28
ST3	PK 2+611	PK 2+850	67	0,01	1,62	2,30	3,73	5,54	0,77	19,199	191,99	191,99	0,00	0,602	2,22	230	230	3,63
ST4	PK 2+850	PK 3+037	67	0,01	1,77	2,40	4,24	5,94	0,80	22,734	227,34	227,34	0,00	0,625	2,39	240	240	3,95
ST2'	PK 3+150	PK 3+413	IL YA UN BASSIN QUI RECOIS TOUTE LES EAUX DU BV16 ET QUI EVACUE DIRECTEMENT SUR LE DALOT OH3 UN CANIVEAU DE 80*80 SERA PACEE POUR RECCUEILIR CELLE DE LA CHAUSSEE															
ST1'	PK 3+413	PK 4+400	67	0,01	0,82	1,30	1,06	2,93	0,51	3,605	36,05	36,05	0,00	0,430	1,25	130	130	2,13
ST3	PK 4+400	PK 4+857	67	0,01	1,00	3,00	3,01	5,01	0,71	14,365	143,65	143,65	0,00	0,565	1,57	300	160	2,99
ST2	PK 4+857	PK 5+066	67	0,01	1,16	2,00	2,33	4,33	0,66	10,301	103,01	103,01	0,00	0,526	1,69	200	170	3,03
ST1	PK 5+066	PK 5+436	67	0,01	1,13	1,70	1,92	3,96	0,62	7,944	79,44	79,44	0,00	0,499	1,63	170	170	2,75
ST3	PK 5+436	PK 5+800	67	0,01	0,78	2,00	1,56	3,56	0,58	6,017	60,17	60,17	0,00	0,473	1,25	200	130	2,31
ST2	PK 5+800	PK 5+995	67	0,01	0,62	1,00	0,62	2,23	0,42	1,755	17,55	17,55	0,00	0,381	1,00	100	100	1,75
ST1	PK 5+955	PK +6+202	67	0,01	0,51	0,90	0,46	1,93	0,39	1,197	11,97	11,97	0,00	0,359	0,87	90	90	1,48
PARTIE DROITE																		
ST3	PK 3+290	PK 3+645	67	0,01	1,06	1,7	1,80	3,82	0,61	7,30	73,02	73,02	0,00	0,491	1,55	170	160	2,68
ST2	PK 3+645	PK 3+933	67	0,01	1,04	1,6	1,67	3,68	0,59	6,58	65,82	65,82	0,00	0,481	1,52	160	160	2,57
ST1	PK 3+933	PK 4+375	67	0,01	0,98	1,5	1,47	3,45	0,56	5,55	55,48	55,48	0,00	0,466	1,44	150	150	2,47
ST	PK 4+375	PK 4+565	67	0,01	0,52	0,9	0,47	1,94	0,39	1,21	12,14	12,14	0,00	0,360	0,88	90	90	1,50

ANNEXE 10 : Reportage photographique de la mise en œuvre des Tavaux



Photo 2 : L'échantillonnage.



Photo 3 : Approvisionnement de la GNT.



Photo 4 : Epannage de la GNT par la niveleuse.



Photo 5 : Mesure de la teneur en eau et de la masse volumique du sol avec le Gamma densimètre.



Photo 6 : Arrosage de la couche de base.



Photo 7 : Compactage.



Photo 8 : Pique de réglage implanté par les opérateurs de topographie.



Photo 9 : Nivellement après implantation des piquets réglage.



Photo 10 : Essai de déflexion.



Photo 11 : Balayage du gravillonnage.



Photo 12 : Epandage de la couche d'accrochage.



Photo 13 : Après la mise en place de la couche d'imprégnation.



Photo 14 : Appareil utilisé pour le prélèvement des carottes pour l'essai de mesure des épaisseurs et de compacité.



Photo 15 : Compactage de la couche de liaison (GB) par le compacteur a pneu.



Photo 16 : Réception altimétrique.



Photo 17 : Compactage de la couche de liaison (GB) par le compacteur a rouleau.



Photo 18 : Epannage de la Grave bitume (GB).



Photo 19 : VOLVO de type ABG 7820B.

ANNEXE 11 : Analyse des risques et sécurité des opération(NEMARO, 2019).

TACHES	RISQUE	MESURES PREVENTIVE
Toutes tâches	Méconnaissance des risques et des consignes en vigueur	Accueil HSE chantier Présentation des règles d'or PréStart Meeting ¼ h. de sensibilisation HSE
Travaux préliminaire	Co-activité engin/ piéton Présence de riverain Blessure par utilisation des outils (balayeuse tractée, pelles,) Température élevée, pression due à la chaleur	Elaborer le plan de circulation Contrôle des engins (bips, gyrophares, feux) Ne pas évoluer dans le périmètre d'action de l'engin de nettoyage Respecter la distance de sécurité avec le personnel manipulant les outils Arrosage de la zone de travaux Penser à s'hydrater régulièrement
Fabrication des enrobés	Incendie/explosion Utilisation de produits chimiques Electrocution Manutention mécanique Co activité engins piétons Travaux en hauteur Bruit	Interdiction de fumer, dispositif thermique, contrôle périodique des installations. Sensibilisation produits chimique, EPI spécifique pour les opérations de dépotage. Contrôle périodique des installations, mise a la terre des installations, interdiction d'entre au personnel non autoriser dans le local électrique Formation du personnel élingage, contrôle périodique des engins de levage, interdiction de circuler sous la charge. Plan de circulation, autorisation de conduire, balisage des zones de circulation Quai de bâchage, garde-corps, échelle a crinoline, port du harnais si absence de protection collective

		Mesure d'ambiance, port des protections auditives
Transport des enrobés	Collision engins piéton, collision piétons usagés de la route	Chef de Manœuvre identifié Balisage de la zone de travail Signaleur
Mise en œuvre des enrobés	Risque de chute, Blessure par utilisation des outils d'épandage et de compactage (finisseur, compacteurs,) Risque de brûlure par utilisation des produit chauds (bitume accrochage, enrobé chauds...)	Chef de Manœuvre identifié Contrôleur règlementaire des engins et accessoires, Balisage de la zone d'évolution des engins, Port des EPI adaptés pour éviter les brûlures
Circulation d'engins	Fuite d'huile accidentelle	S'assurer du bon état du matériel Prévoir un kit antipollution, sensibilisation sur les procédures en cas de déversement d'huile
Tous travaux (production des déchets)	Pollution du sol	Mettre les ordures dans les poubelles
Application du liant hydrocarboné	Déversement hors de la zone d'application	Mise en place d'un mécanisme de récupération des déchets hydrocarbonés pour traitement

ANNEXE 12 : Profil en long et vue en plan

ANNEXE 13 : Profil en travers type

ANNEXE 14 : Plan de ferrailage