

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso) : cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE Génie Civil – Bâtiment et Travaux Publics

Présenté et soutenu publiquement le 24 Juillet 2025 par

Marcel Franc NENDAP FOMBEGHANG (20220065)

Directeur de mémoire : Pr Adamah **MESSAN**, Professeur Titulaire (CAMES), 2iE

Encadrant : Dr Seick Omar **SORE**, Maître Assistant (CAMES), Université Nazi Boni (UNB)

Maître de stage : Arouna **YONABA**, Ingénieur en Génie civil, **AGEIM IC**

Structure d'accueil du stage : **AGEIM-IC**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr. Harouna **KARAMBIRI**

Membres : Dr. Yasmine Binta **TRAORE**

Dr. Decroly **DJOUBISSIÉ DENOUWÉ**

Promotion 2024- 2025

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

- ✧ à l'éternel le Dieu tout puissant, pour ses grâces et ses bénédictions tout au long de mon parcours académique ;
- ✧ à ma famille, pour leur soutien et leur amour inconditionné ;
- ✧ à mes amis, pour leur bienveillance et leurs moments de complicité ;
- ✧ à tout le corps enseignant, pour le partage de savoir et leur accompagnement précieux ;
- ✧ à moi-même pour la persévérance et l'endurance durant ma formation, ce mémoire est le fruit de chaque étape franchie et de chaque défi relevé.

Remerciements

Bien que tout travail intellectuel exige beaucoup plus d'efforts venant de son auteur, il n'en demeure pas moins vrai qu'il existe une source de collaboration étroite avec des personnes se trouvant à des niveaux différents. Ainsi, nos sincères remerciements vont à l'endroit de :

- ✓ **M. Tiraogo Herve OUEDRAOGO**, Directeur General du cabinet **AGEIM Ingénieurs-Conseils**, pour l'opportunité qu'il nous a offerte de réaliser notre stage au sein de son entreprise ;
- ✓ **Pr Adamah MESSAN**, notre Directeur de mémoire, pour ses conseils avisés et la confiance qu'il nous a accordée.
- ✓ **Dr Seick Omar SORE**, notre Encadrant, pour son approche pédagogique, son temps mis à notre disponibilité durant la rédaction de notre mémoire malgré ses multiples occupations ;
- ✓ **M. Arouna YONABA** notre maitre de stage, pour son professionnalisme, sa disponibilité pour apporter des orientations éclairées dans le but d'aboutir à des résultats fiables ;
- ✓ **L'ensemble du personnel de AGEIM Ingénieurs-Conseils**, pour leur accueil chaleureux et la mise à notre disposition d'un environnement de travail convivial, nos remerciements vont en particulier à l'endroit de : **Dr. Mahaman OUEDRAOGO**, Directeur Adjoint, **M. Gilles GUIGMA**, ingénieurs en Ouvrages d'Art, pour leurs multiples conseils ;
- ✓ **Pr El Hadji Bamba DIAW**, le Directeur General de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE), l'administration, tout le corps enseignant pour tous les efforts consentis à faire de nous des acteurs clés et utiles pour le développement de la société ;
- ✓ **Mes camarades stagiaires** pour l'esprit de collaboration développé durant cette période de stage ;
- ✓ **Toute la promotion Master Génie Civil-Transport 2024-2025 de l'Institut 2iE**, pour leur soutien indéfectible ;

Enfin, notre reconnaissance est tournée vers tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à parfaire ce travail, qu'ils trouvent dans ces lignes l'expression de notre profonde gratitude.

Abréviations et sigles

Le tableau I-1 présente toutes les abréviations et sigles utilisés dans notre document.

Tableau I- 1 : Abréviation et Sigles

AGEIM-IC	: Agence d'Etude d'Ingénierie de Maitrise d'œuvre-Ingénieurs Conseils
SARL	: Société à Responsabilité Limitée
APD	: Avant-Projet Détaillé
TDR	: Termes de Références
ARP	: Aménagement des Routes Principales
BA	: Béton Armé
BAEL	: Béton Armé aux Etats Limites
ELU	: Etat Limite Ultime
ELS	: Etat Limite de Service
EPI	: Equipement de Protection Individuel
GC	: Génie Civil
BTP	: Bâtiment et Travaux Publics
GL	: Graveleux Latéritique
GNT	: Grave Non Traitée
HA	: Haute Adhérence
HIMO	: Haute Intensité de Main d'œuvre
CCTP	: Cahier de Clause Technique Particulière
CEBTP	: Centre Expérimental de Recherche et d'Etude de Bâtiment et Travaux Publics
CBR	: Californian Bearing Ratio
CAM	: Coefficient d'Agressivité Moyen
BBSG	: Béton Bitumineux Semi Grenu
BB	: Béton Bitumineux
BCEOM	: Bureau d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer
BV	: Bassin Versant
CIEH	: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
ICTARN	: Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales
EIE	: Etude d'Impact Environnementale
PGES	: Plan de Gestion Environnementale et Sociale
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
PK	: Point Kilométrique
TN	: Terrain Naturel
PL	: Poids Lourds
RN	: Routes Nationales
TMJA	: Trafic Moyen Journalier Annuel
PT	: Profil en Travers
TPC	: Terre-Plein Central
NE	: Nombre d'essieu Equivalent
NPL	: Nombre de Poids Lourds
OPM	: Optimum Proctor Modifié
SETRA	: Service d'Etudes Techniques de Routes et Autoroutes
DQE	: Devis Quantitatif et Estimatif
HT	: Hors Taxe
TVA	: Taxe sur la Valeur Ajoutée
TTC	: Tout Taxe Comprise
UTM	: Transverse Universelle de Mercator
UEMOA	: Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

Liste des figures

Figure I- 1 : Organigramme de la structure d'accueil (AGEIM-IC)	6
Figure I- 2 : Localisation de la zone d'étude (Source BNDT 2012 WGS84 et Google Earth Pro)	8
Figure I- 3 : Etat actuel de notre zone d'étude : Dalot de 150*150 au PK0+575 (a) Buse 2φ100 au PK2+500 (b) exutoire au PK0+00 (c) Début projet PK0+00 (d)	9
Figure I- 4 : Fond topographique de notre zone d'étude.....	10
 Figure II- 1 : Terminologies des carrefours giratoires (a) Terminologie d'un ilot séparateur de rayon $R_g \geq 15m$ (b)	 15
Figure II- 2 : Carrefour giratoire du PK0+775	17
Figure II- 3 : Carrefour giratoire du PK0+025	17
Figure II- 4 : Comparaison des coûts des variantes de structure de chaussée en fonction des matériaux utilisés	25
 Figure III- 1 : Délimitation des bassins versants	 32
Figure III- 2 : Méthodologie du calcul hydraulique des dalots.....	39
Figure III- 3 : Evolution de l'humidité relative moyenne à la troisième décade d'août 2016 (a), Ecart de l'humidité moyenne entre la troisième décade d'août 2016 et la moyenne entre 1981 et 2010 (b).....	43
Figure III- 4 : Différentes charges appliquées sur le dalot	45
Figure III- 5 : Moments maximums en appuis et en travées à l'ELS (a) et à l'ELU (b)..	48
Figure III- 6 : Schéma du principe d'un caniveau	49
Figure III- 7 : Répartition des charges sur les voiles	50
Figure III- 8 : Répartition des charges sur le radier.....	51

Liste des tableaux

Tableau I- 1 : Abréviation et Sigles	iii
Tableau I- 2 : Données géotechniques de notre tronçon (Source Laboratoire LNBTP) .	11
Tableau II- 1 : Paramètres de conception (îlots, voies de sorties et d'entrées)	16
Tableau II- 2 : Classification du type de et catégorie de route selon l'ARP	19
Tableau II- 3 : Rayons recommandés pour le tracé en plan selon l'ARP	20
Tableau II- 4 : Récapitulatif des résultats du tracé en plan	20
Tableau II- 5 : Rayons recommandés pour le profil en long selon l'ARP.....	21
Tableau II- 6 : Données de base pour le calcul du trafic (Source TDR)	22
Tableau II- 7 : Classe de portance du sol en fonction de la plage CBR	23
Tableau II- 8 : Catégorie du trafic en fonction de la plage du trafic cumulé	24
Tableau II- 9 : Variantes de structures adaptées suivant le guide du CEBTP et le guide Sénégal.....	24
Tableau II- 10 : Contraintes et déformations admissibles.....	26
Tableau II- 11 : Caractéristiques des matériaux selon le Guide du Sénégal	27
Tableau II- 12 : Valeurs des contraintes et déformation calculées de la structure de chaussée	27
Tableau II- 13 : Valeurs des contraintes et déformations calculées après ajustement de la structure de chaussée	28
Tableau II- 14 : Variante adoptée pour la structure de la chaussée.....	28
Tableau II- 15 : Valeurs des contraintes et déformations calculées de l'anneau du giratoire	29
Tableau II- 16 : Valeurs des contraintes et déformations calculées après ajustement de l'anneau du giratoire	29
Tableau II- 17 : Variante adoptée pour la structure de l'anneau du giratoire	29
Tableau III- 1 : Caractéristiques des bassins versants	32
Tableau III- 2 : Coefficients CIEH en fonction des équations	34
Tableau III- 3 : Configuration des sous-bassins versants.....	35
Tableau III- 4 : Résultats des débits par la méthode ORSTOM	35
Tableau III- 5 : Résultats des débits par la méthode CIEH	36
Tableau III- 6 : Débits retenus	36
Tableau III- 7 : Résultats des débits par la méthode Caquot.....	37
Tableau III- 8 : Sections des Dalots retenues.....	39
Tableau III- 9 : Classe d'exposition en fonction des caractéristiques de l'environnement	42
Tableau III- 10 : Classe du béton en fonction de la classe d'exposition	42

***Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.***

Tableau III- 11 : Classe de l'ouvrage en fonction de la largeur roulable.....	45
Tableau III- 12 : Résultats des charges permanentes sur le Dalot	46
Tableau III- 13 : Valeurs du coefficient a_1 en fonction du nombre de voies chargées et de la classe de l'ouvrage	47
Tableau III- 14 : Résultats des différentes surcharges routière.....	47
Tableau III- 15 : Résultats de l'étude structural du Dalot $3 \times 250 \times 150$.....	48
Tableau III- 16 : Sollicitations et moments fléchissants sur la dalle.....	49
Tableau III- 17 : Sollicitations et moments fléchissants sur les voiles.....	50
Tableau III- 18 : Sollicitations et moments fléchissants sur le radier	51
Tableau III- 19 : Résultats de l'étude structural du caniveau 140×140	52
Tableau V- 1 : Cadre politique, juridique et institutionnel.....	59
Tableau V- 2 : Composantes et description de l'état initial de notre zone.....	59
Tableau V- 3 : Impacts potentiels du projet	60
Tableau V- 4 : Mesures d'atténuation et de bonification	60
Tableau V- 5 : Devis estimatif	62

Résumé

Cette étude est un Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur l'aménagement et le bitumage de la Route Nationale n°4 (RN4), section intersection RD152-intersection RD40, au Burkina Faso. S'inscrivant dans la stratégie nationale des infrastructures de transports 2011-2025 (décret n°2012-302/PRES/PM/MTPEN/MEF/MID du 24 avril 2012), elle vise à élaborer un dossier d'exécution des travaux routiers et des ouvrages de franchissement associés. La conception géométrique et le dimensionnement structural ont défini un tracé de 8 km, conçu comme une route de catégorie R avec une vitesse de référence de 60 km/h en zone urbaine, incluant des giratoires de rayon $R_g = 20$ m. La structure retenue combine une chaussée souple (5 cm de béton bitumineux en couche de roulement, 17 cm de grave bitume en couche de base et 22 cm de graveleux latéritique amélioré en fondation) et des chaussées rigides pour les giratoires (7 cm de Béton Bitumineux à module élevé (BBME), 20 cm de grave bitume et 20 cm de grave ciment). Les ouvrages hydrauliques, dimensionnés selon le document Hydraulique routière du Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer (BCEOM) [1], comprennent quatre types de dalots ($1 \times 2,5 \times 1,5 \text{ m}^2$, $3 \times 2,5 \times 1,5 \text{ m}^2$, $1 \times 3,5 \times 1,5 \text{ m}^2$ et $3 \times 3 \times 1,5 \text{ m}^2$) et trois types de caniveaux ($100 \times 100 \text{ m}^2$, $120 \times 120 \text{ m}^2$ et $140 \times 140 \text{ m}^2$). Une analyse d'impact environnemental a identifié les risques potentiels et a permis de proposer des mesures correctives. Une évaluation financière a estimé le coût total de réalisation de ce projet à quatorze milliards six-cents soixante-dix-huit millions quatre-cents huit milles neuf-cents soixante-huit Francs (**14 678 408 968) Francs CFA**, toutes taxes comprises (TTC).

Mots clés

- ✓ Route Nationale RN4
- ✓ Mobilité ;
- ✓ Infrastructure routière ;
- ✓ Carrefour giratoire ;
- ✓ Environnement.

Abstract

This study is a detailed preliminary design (APD) for the upgrading and asphaltting of Route Nationale n°4 (RN4), section RD152-intersection RD40, in Burkina Faso. As part of the national transport infrastructure strategy 2011-2025 (decree n°2012-302/PRES/PM/MTPEN/MEF/MID of April 24, 2012), it aims to draw up an execution file for the roadworks and associated crossing structures. The geometric design and structural dimensioning defined an 8 km route, designed as a category R road with a reference speed of 60 km/h in an urban area, including roundabouts with a radius of $R_g = 20$ m. The chosen structure combines a flexible pavement (5 cm of asphalt concrete in the wearing course, 17 cm of asphalt gravel in the base course and 22 cm of improved lateritic gravel in the sub-base) and rigid pavements for the roundabouts (7 cm of high-modulus bituminous concrete (BBME), 20 cm of asphalt gravel and 20 cm of cement gravel). The hydraulic structures, dimensioned in accordance with the Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer (BCEOM) document on road hydraulics [1], include four types of gutters (1 x 2.5 x 1.5 m², 3 x 2.5 x 1.5 m², 1 x 3.5 x 1.5 m² and 3 x 3 x 1.5 m²) and three types of culverts (100 x 100 m², 120 x 120 m² and 140 x 140 m²). An environmental impact assessment identified potential risks and proposed corrective measures. A financial evaluation estimated the total cost of the project at fourteen billion six hundred and seventy-eight million four hundred and eight thousand nine hundred and sixty-eight (14,678,408,968) CFA francs, all taxes included.

Keywords

- ✓ National Road RN4
- ✓ Mobility ;
- ✓ Road infrastructure ;
- ✓ Roundabout ;
- ✓ Environment.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements	ii
Abréviations et sigles.....	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Résumé	viii
Abstract	ix
Table des matières	x
Introduction générale.....	1
Chapitre I..... PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	3
I.1. Présentation de la structure d'accueil	3
I.1.1. Historique	3
I.1.2. Domaine d'intervention.....	4
I.1.3. Objectifs et missions	5
I.1.4. Organigramme.....	5
I.2. Présentation du projet et des données liées à l'étude	6
I.2.1. Contexte du projet	6
I.2.2. Justification du projet	7
I.2.3. Localisation de la zone d'étude	7
I.2.4. Etat des lieux	9
I.2.5. Données de base	10
Conclusion partielle.....	12
Chapitre II..... CONCEPTION ET ETUDE STRUCTURALE DES CARREFOURS GIRATOIRES ET DE LA ROUTE.....	13
II.1. Conception géométrique	13
II.1.1. Carrefours giratoires.....	13
II.1.2. Conception géométrique de la route.....	18
II.2. Détermination des épaisseurs de la chaussée et de l'anneau du giratoire.....	22
II.2.1. Données de base	22
II.2.2. Détermination de l'indice de portance du sol.....	23
II.2.3. Etude du trafic	23
II.2.4. Détermination de la nature et de l'épaisseur des différentes couches de chaussées.....	24
II.3. Calcul des sollicitations admissibles et vérification des contraintes et déformations sur Alizé	26
II.3.1. Calcul des sollicitations admissibles	26

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

II.3.1.	Vérification des variantes par la méthode rationnelle à l'aide du logiciel Alizé	
LCPC	26	
Conclusion partielle.....		30
Chapitre III.....	ETUDES DES OUVRAGES HYDRAULIQUES	31
III.1.	Etudes hydrologiques.....	31
III.1.1.	Identification et délimitation des Bassins Versants.....	31
III.1.2.	Caractéristiques des Bassins Versants.....	31
III.1.3.	Méthodologie d'estimation des débits.....	33
III.1.4.	Résultats d'estimation des débits de crues	35
III.2.	Etudes hydrauliques.....	37
III.2.1.	Ouvrages transversaux	37
III.2.2.	Ouvrages longitudinaux	40
III.3.	Etudes structurales des ouvrages hydrauliques	41
III.3.1.	Normes et règlements de calcul	41
III.3.2.	Hypothèses de calcul.....	41
III.3.3.	Ouvrages transversaux	44
III.3.1.	Ouvrages longitudinaux	49
Conclusion partielle.....		52
Chapitre IV....	SIGNALISATION, SECURITE ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC	54
IV.1.	La signalisation temporaire.....	54
IV.2.	La signalisation définitive.....	54
IV.2.1.	La signalisation verticale.....	54
IV.2.2.	La signalisation horizontale	55
IV.3.	La sécurité routière	56
IV.4.	L'éclairage public	56
IV.5.	Autres équipements.....	57
Conclusion partielle.....		57
Chapitre V.....	APERÇU D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET EVALUATION FINANCIERE	58
V.1.	Aperçu d'impact environnemental et social	58
V.1.1.	Contexte et justification de l'étude d'impact environnemental et social	58
V.1.2.	Cadre politique, juridique et institutionnel.....	59
V.1.3.	Zone d'influence du projet	59
V.1.4.	Etat initial de la zone	59
V.1.5.	Impacts potentiels du projet	60

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

V.1.6.	Analyse des risques environnementaux et sociaux	60
V.1.7.	Mesures d'atténuation et de bonification	60
V.1.8.	Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES).....	60
V.1.9.	Plan de réinstallation (PSR)	61
V.1.10.	Participation et consultation publique	61
V.2.	Evaluation financière	61
V.2.1.	Avant-métré.....	61
V.2.2.	Devis estimatif.....	61
	Conclusion partielle.....	63
	Conclusion générale et recommandations.....	64
	Bibliographie.....	66
	Annexes.....	I
I.	Paramètres du tracé en plan	II
II.	Paramètres du profil en long.....	IV
III.	Profils en travers types	IX
I.	Estimation du trafic de dimensionnement	XI
I.	Etude hydrologique	XIV
II.	Etude hydraulique.....	XXVIII
I.	Dalot.....	XXX
II.	Caniveau	XXXV
I.	Signalisation verticale	XLIII
II.	Signalisation horizontale	XLIII
I.	Avant-métré	XLIV
II.	Devis estimatif.....	XLVI
	Note de calcul Dalot.....	XLIX

PAGE A SUPPRIMER

Introduction générale

L'infrastructure routière constitue l'un des moteurs essentiels du développement d'un pays. Elle facilite les échanges, améliore la mobilité des personnes et des biens, et contribue au désenclavement des régions reculées. Ce constat est d'autant plus pertinent pour les pays enclavés comme le Burkina Faso. Conscient de cet enjeu, l'Etat Burkinabè à travers le décret n°2012-302/PRES/PM/MTPEN/MEF/MID du 24 avril 2012, a entrepris une stratégie nationale de développement des transports allant de 2011 à 2025 dont le premier axe stratégique vise le développement et le renforcement du réseau routier national. C'est dans cette dynamique que s'inscrit le projet d'élargissement et de modernisation de la Route Nationale n°4 (RN4), l'une des voies les plus importantes du pays. Elle relie la capitale Ouagadougou aux régions de l'Est et constitue un axe d'intégration régionale majeur vers le Niger. Toutefois, la section urbaine de cette route, connaît une dégradation de son niveau de service due à l'augmentation constante du trafic, à une configuration géométrique inadaptée et à l'insuffisance des équipements de sécurité et de régulation. Le présent projet dont le thème est : « **Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso) : cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.** » s'inscrit dans un cadre plus large de la modernisation du transport routier entrepris par le gouvernement burkinabè pour améliorer la circulation et la sécurité routière sur la RN4. C'est ainsi que cette étude a pour objectif principal de proposer un dossier technique d'Avant-Projet Détaillé des travaux d'aménagement et de bitumage pour répondre aux besoins de fluidité et de sécurité de cette zone urbaine. Pour ce faire, nous allons de façon spécifique :

- ✓ concevoir une étude structurale de la route et des carrefours giratoires ;
- ✓ concevoir les ouvrages d'assainissement connexes y compris leurs plans d'exécution à travers une estimation des débits projets (étude hydrologique et hydraulique) ;
- ✓ proposer des équipements de signalisation routière, de sécurité routière et d'éclairage public sur tout le linéaire du projet ;
- ✓ élaborer une notice d'impact environnemental et social ainsi qu'une évaluation du coût global du projet.

Les résultats attendus de cette étude comprennent principalement un rapport de synthèse, une description des méthodes de conception routière, les notes de calcul relatives aux

***Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.***

différents ouvrages d'assainissement, ainsi que les plans d'aménagement routier et les plans d'exécutions des ouvrages en béton armé.

Le présent mémoire s'articulera autour de cinq (05) chapitres répartis comme suit :

- ✓ le premier chapitre présente la structure d'accueil et le projet dans son ensemble ;
- ✓ le deuxième chapitre est consacré à la conception géométrique et l'étude structurale de la route et des carrefours giratoires ;
- ✓ le troisième chapitre traite de l'identification, conception et étude structurale des ouvrages d'assainissement du projet routier ;
- ✓ Le quatrième chapitre présente les dispositifs de signalisation, de sécurité routière et éclairage public du projet routier ;
- ✓ Le cinquième et le dernier chapitre porte sur la notice d'impact environnemental et social du projet, ainsi que l'évaluation financière du projet routier

Chapitre I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

Ce chapitre présente la structure d'accueil, **AGEIM Ingénieurs-Conseils**, ainsi que le projet d'élargissement et de modernisation de la Route Nationale numéro 4 (RN4), qui constituera l'objet de notre étude. Nous décrirons d'abord la structure, en mettant en avant ses domaines d'expertise, ses missions et son impact sur le développement économique du Burkina Faso et de la sous-région. Ensuite, nous aborderons le projet en détaillant ses objectifs, ses spécificités techniques et ses enjeux socio-économiques. Enfin, nous exposerons la méthodologie de travail adoptée ainsi que les données de bases et matériels utilisés pour mener à bien cette étude.

I.1. Présentation de la structure d'accueil

Dans le cadre de notre formation à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2IE), il nous est demandé d'effectuer un stage de fin d'étude pour la rédaction du mémoire, dans le but d'obtenir le diplôme d'ingénieur avec grade de master. C'est dans ce cadre que le **Directeur General de l'Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvres Ingénieurs-Conseils (AGEIM), Monsieur Tiraogo Herve OUEDRAOGO** a permis à ma demande d'intégrer son entreprise. Grâce au regard, au suivi et à l'encadrement attentif de tous les ingénieurs et du personnel, dans un cadre propice et respectueux, ce stage a été une expérience enrichissante et formatrice. Les prochaines lignes dériveront en détail le bureau AGEIM-IC.

I.1.1. Historique

L'entreprise **AGEIM-IC**, créée en **janvier 2000** dans un esprit de perspective pluridisciplinaire, représentée par son **Directeur General, Monsieur Tiraogo Herve OUEDRAOGO**, est un bureau spécialisé dans les études d'ingénierie et la gestion des projets, sous un statut juridique de **SARL (Société à Responsabilité Limitée)** avec un capital social estimé à **2.000.000 FCFA**. Son siège social est situé à l'adresse :

Cité 1200 Logements, 64 Rue 14.10 Villas n^o205 et 206

10 BP 13478 Ouagadougou 10 – Burkina Faso

Téléphones: (+226) 50 36 91 98 / 50 36 97 11

Fax : (+226) 50 36 34 03

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

E-mails : ageim@fasonet.bf / ageim@ageim-ic.com

Site web: www.ageim-ic.com

I.1.2. Domaine d'intervention

Dans son processus de contribution au développement de la société, le Bureau d'études AGEIM-IC intervient dans trois grands secteurs : les infrastructures de transport, les aménagements hydrauliques et environnementaux, ainsi que les bâtiments et ouvrages d'art.

✓ **Infrastructures de transport :**

Intervient en faisant des études, des contrôles et des surveillances pour :

- les routes, voiries et réseaux divers ;
- les pistes rurales ;
- la réhabilitation d'infrastructures de transport.

✓ **Aménagement hydraulique et environnement :**

L'agence propose son expertise dans :

- les aménagements hydro-agricoles ;
- les barrages ;
- la gestion environnementale ;
- l'hydrologie et l'hydrogéologie.

✓ **Bâtiments et ouvrages d'art :**

AGEIM-IC apporte son expérience dans la conception des ouvrages fiables et durables. Elle Intervient donc sur :

- les structures métalliques ;
- les bâtiments publics ;
- les ouvrages d'art ;
- la réhabilitation

Agissant dans plusieurs pays d'Afrique tels que le Benin, le Burkina Faso, la Cote d'Ivoire, la Guinée Bissau, la Guinée Conakry, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal, le Tchad, et le Togo. Elle est composée d'une équipe de 21 ingénieurs et environs 40 techniciens spécialisés, et jouit également d'une reconnaissance auprès des bailleurs de fonds et institutions internationales.

I.1.3. Objectifs et missions

L'objectif premier du Bureau est de garantir satisfaction vis-à-vis de sa clientèle, se tenant au cœur de ses préoccupations. C'est dans cette vision que l'entreprise contribue modestement au développement des pays où elle intervient. Ces principales missions sont :

- ✓ identification et évaluation des projets ;
- ✓ reconnaissances de sites ;
- ✓ études préliminaires et techniques approfondies ;
- ✓ préparation des dossiers pour consultations ;
- ✓ évaluation d'impact environnemental des projets ;
- ✓ proposition des solutions de gestion durable des ressources naturelles ;
- ✓ étude de diagnostics conjoints ;
- ✓ aménagement forestier ;
- ✓ étude sur les énergies nouvelles et renouvelables et la cartographie ;
- ✓ formations intra-entreprises, séminaires, étude et définition de programmes, formations théoriques et pratiques.

I.1.4. Organigramme

L'organigramme d'AGEIM-IC est structuré comme suit :

- ✓ une Direction Générale, incluant un Directeur Adjoint, un assistant de Direction et un Secrétaire ;
- ✓ une Direction de la Communication et de Ressources Humaines ;
- ✓ une Direction Administrative et Financière regroupant un Département Administratif et un Département Financier ;
- ✓ direction Technique comprenant plusieurs départements spécialisés, notamment en transport, hydraulique, structure et recherche, et topographie...

L'organigramme d'AGEIM-IC est présenté à la figure I-1.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

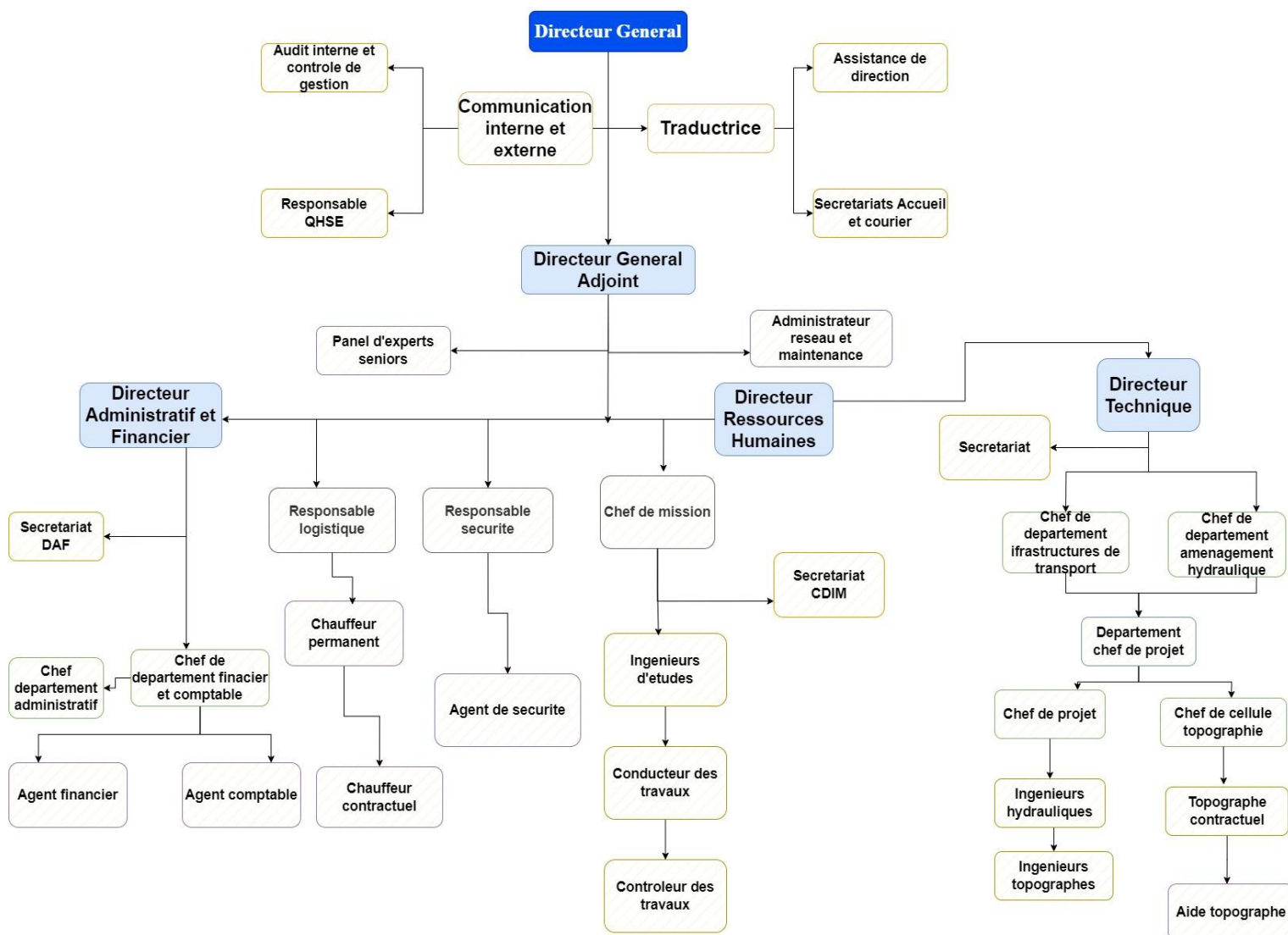


Figure I- 1 : Organigramme de la structure d'accueil (AGEIM-IC)

I.2.Présentation du projet et des données liées à l'étude

I.2.1. Contexte du projet

Dans le cadre de la modernisation des infrastructures routières du pays, le gouvernement burkinabé a lancé un programme ambitieux visant à restructurer le réseau urbain et périurbain afin de réduire les embouteillages à l'intérieur de la capitale Ouagadougou, et de renforcer la sécurité des usagers ainsi que des résidents. Ainsi, depuis Octobre 2019, les travaux de construction et de bitumage des voies de contournement de la ville de Ouagadougou, s'étendent sur 125 km, sont en cours de réalisation.

I.2.2. Justification du projet

Il a été constaté que les sorties Est et Nord de Ouagadougou font face à une congestion importante du trafic, entraînant des vitesses de déplacement très faibles, ce qui cause souvent des ralentissements, voire des arrêts complets du trafic, ainsi que divers désagréments (augmentation du temps de trajet, augmentation de la pollution, risques accrus d'incidents, etc.).

Pour résoudre ces problèmes, l'Etat burkinabé, par l'intermédiaire du **Ministère d'Infrastructure et du Désenclavement (MID)**, a entrepris un projet d'élargissement de ces sorties financé par le MID à travers le budget de l'Etat, ce projet comprend l'étude, le contrôle et la surveillance des travaux d'élargissement et de modernisation de la RN4, sur la section entre l'intersection entre RD152 et l'intersection RD40 en 2x2 voies, y compris la voie d'accès à l'Université Thomas Sankara, sur une longueur d'environ 23 km. En outre, l'aménagement des voiries connexes est également pris en compte.[2]

Ces aménagements permettront de décongestionner la circulation et d'assurer la sécurité routière sur la RN4. Cette route enregistre un trafic important tant pour les particuliers que pour les poids lourds assurant le transport de marchandises en provenance et à destination des pays limitrophes. De plus, la prise en compte de la voie d'accès à l'Université Thomas Sankara ainsi que des voiries connexes permettra de :

- ✓ garantir une accessibilité plus sûre à l'Université Thomas Sankara ;
- ✓ fluidifier la circulation et réduire les pertes de temps dues aux importants embouteillages ;
- ✓ améliorer les conditions de sécurité pour les usagers de la route ;
- ✓ contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des populations ;
- ✓ réduire les nuisances sonores et atmosphériques en optimisant la fluidité du trafic automobile.

Le projet est financé par l'Etat burkinabé en partenariat avec VISTA BANK Burkina Faso.

I.2.3. Localisation de la zone d'étude

Le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4, débute à l'intersection de la RD152 et prends fin jusqu'à l'intersection RD40 sur une longueur de 23 km. Le tronçon qui fera l'objet de notre étude s'étend sur une distance de 8,00 km, allant du pk 0+00 au pk 8+00. Il se situe plus précisément dans la province de Kadiogo, dans la commune de Ouagadougou dont la

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

superficie est de 520 km² et comprend 23 villages. La commune de Ouagadougou est limitée au Nord-Est par Loumbila, au Nord-Ouest par Pabré, à l'ouest par Tanghin-Dassouri, à l'Est par Saaba, au Sud-Ouest par Komsilga, au Sud-Est par Koubri.[2]

La figure I-2 illustre la localisation de notre zone d'étude.

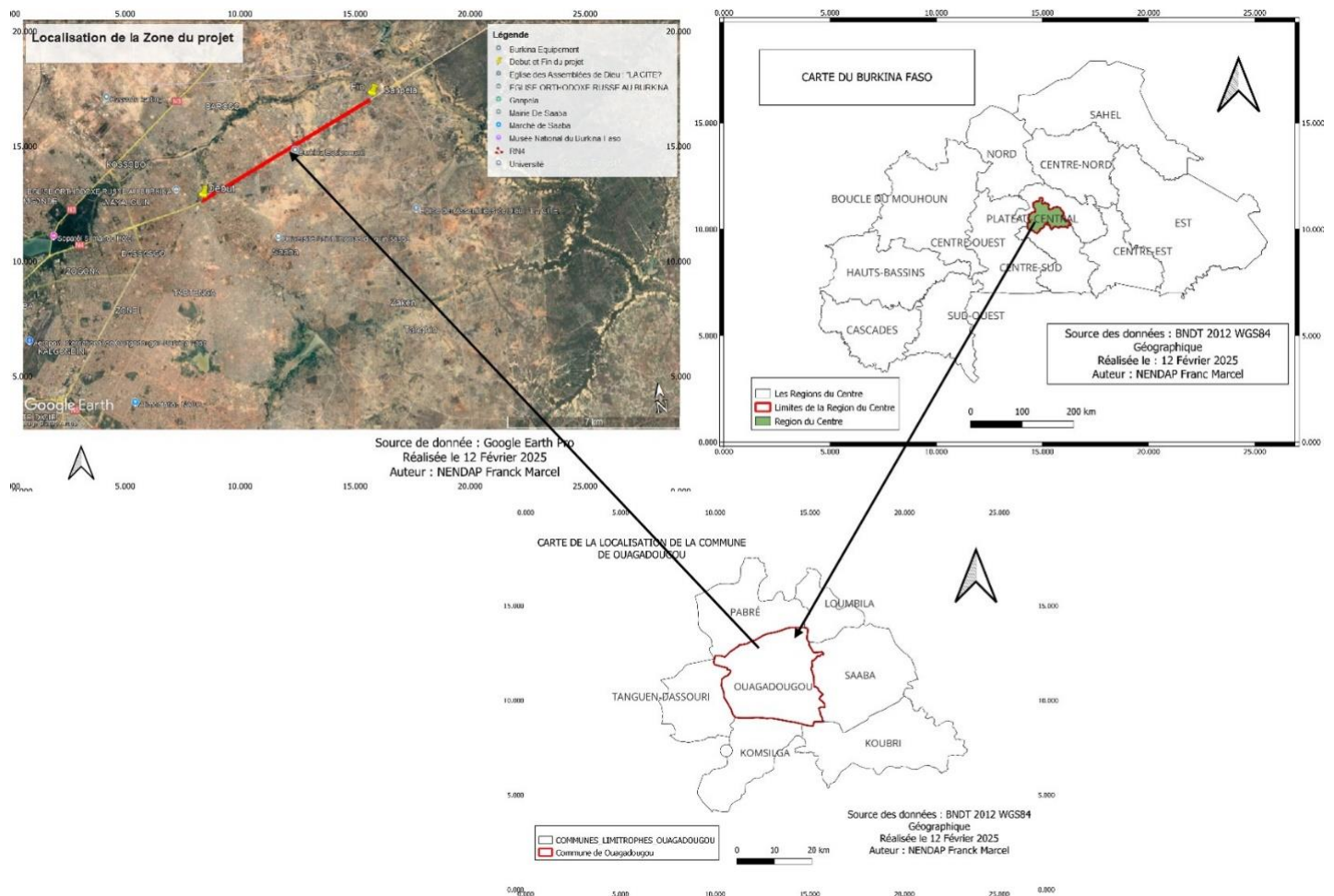


Figure I- 2 : Localisation de la zone d'étude (Source BNDT 2012 WGS84 et Google Earth Pro)

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

I.2.4. Etat des lieux

La route nationale (RN4), qui traverse le cœur de la commune de Saaba, fait face à des défis majeurs en matière de capacité et de sécurité en raison de l'augmentation significative du trafic. Cette voie, constituée de 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement, 20 cm de graveleux latéritique naturelle en couche de base et 15 cm de graveleux latéritique naturelle en fondation, initialement conçue pour supporter un volume de circulation bien inférieur à celui actuel, est aujourd'hui largement congestionnée, rendant la circulation souvent chaotique, surtout aux heures de pointes. Sur notre tronçon, on retrouve plusieurs ouvrages hydrauliques existants, dont 07 dalots et 02 buses dans le sens transversal de notre route. On constate également des fissures sur la chaussée et des nids de poules, créant des conditions dangereuses pour les usagers. Notre étude prendra donc en compte le dimensionnement d'une nouvelle structure de chaussée pouvant répondre aux exigences actuelles. Elle fera également des études hydrologiques et hydrauliques afin d'évaluer la

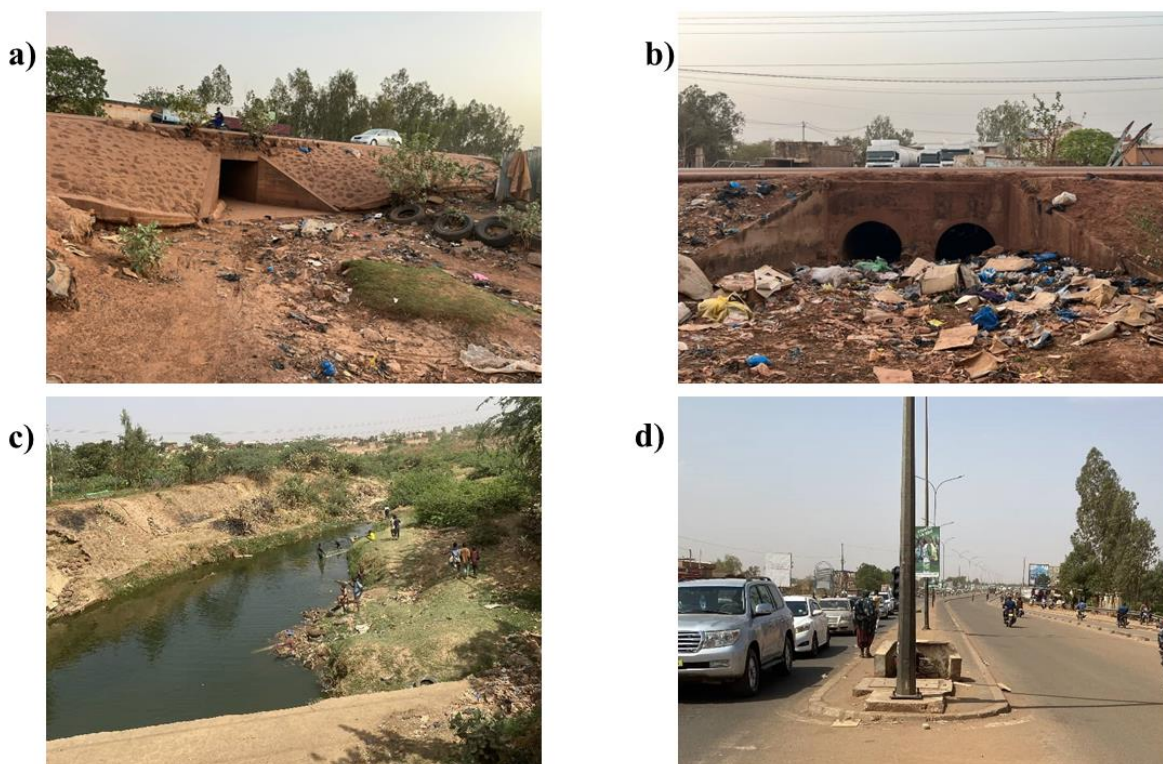


Figure I- 3 : Etat actuel de notre zone d'étude : Dalot de 150*150 au PK0+575 (a) Buse 2φ100 au PK2+500 (b) exutoire au PK0+00 (c) Début projet PK0+00 (d)

capacité des ouvrages existants à maintenir leur fonctionnement habituel sur le long terme.

La figure I-3 présente quelques images de l'état actuel de notre zone d'étude.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

I.2.5. Données de base

Il sera question pour nous ici, de présenter les différentes données recueillies auprès de la structure d'accueil AGEIM-IC dans le cadre de notre étude. Il s'agit notamment des termes de référence du projet, du fond topographique, du comptage du trafic, des données géotechniques et pluviométriques.

I.2.5.1. Termes de référence (TDR) du projet

Le TDR est un document contractuel essentiel dans la gestion de projets, utilisé pour encadrer la réalisation d'un projet, il a été établi par le Ministère des Infrastructures et de Désenclavement du Burkina Faso, spécifiant l'ensemble des normes techniques à respecter pour la réussite de ce projet.[2]

I.2.5.2. Fond Topographique

L'équipe topographe a procédé au levé général, matérialisant l'ensemble des détails se trouvant le long de notre projet. Ils sont essentiels pour une bonne conception et un meilleur dimensionnement. Il s'agit : des talus, des bornes de lotissements, des concessions, des fontaines publiques, de la chaussée existante, des arbres, des panneaux de signalisations

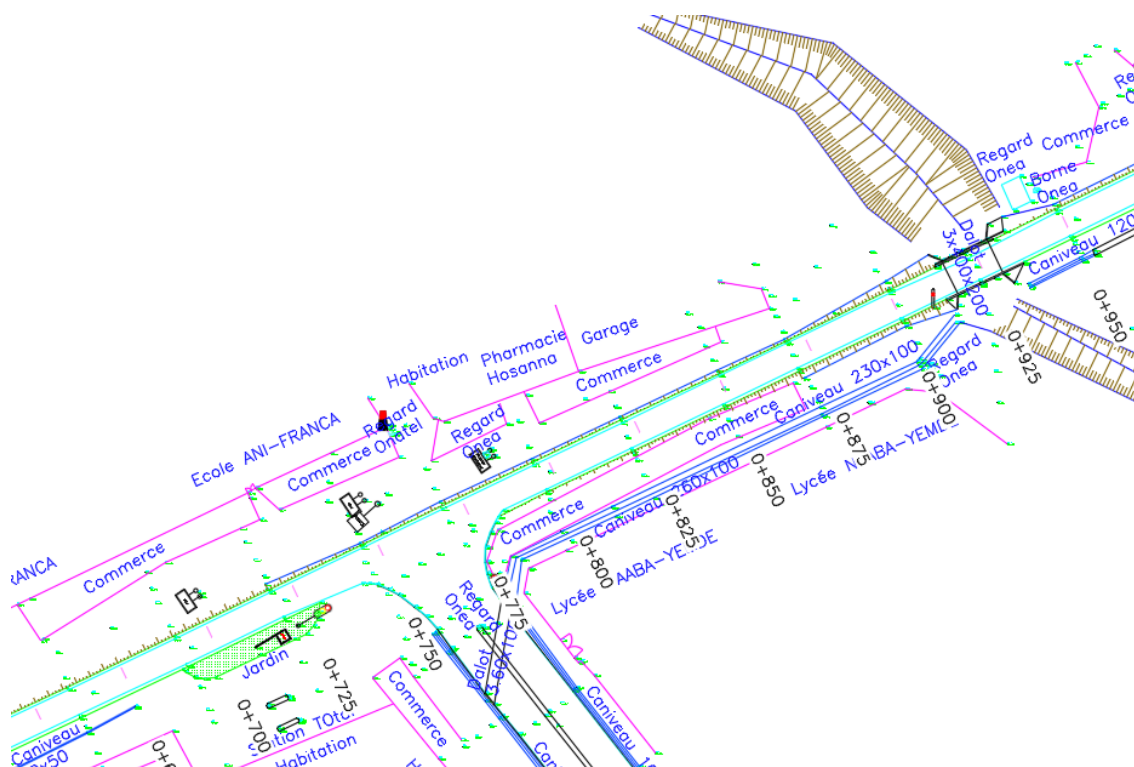


Figure I- 4 : Fond topographique de notre zone d'étude

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

existants, des caniveaux existants, des ouvrages de franchissements, etc. La figure I-4 présente une partie du fond topographique correspondant à notre tronçon.

I.2.5.3. Comptage du trafic

Il permet de connaître le trafic total sur l'axe de notre projet, en renseignant sur le nombre, la composition, la provenance, et la destination, afin de prévoir l'évolution du trafic et assurer le confort et la sécurité des usagers. Il a été effectué en 2021 et a estimé un trafic moyen journalier de 1094 poids lourds et un taux d'accroissement estimé à 6%.

I.2.5.4. Données géotechniques

Les études géotechniques ont été effectuées par le Laboratoire National de Bâtiment et Travaux Publics (LNBTP) du Burkina Faso dans le but d'obtenir des données sur les propriétés du sol et des matériaux présents sur le site de notre projet. Ces données sont indispensables pour la détermination des couches structurales de chaussée. L'identification et la portance des sols supports de la chaussée permettent de caractériser les sols rencontrés, elles sont essentielles pour le dimensionnement, en considérant les paramètres comme le trafic total, la répartition du trafic et la nature des matériaux utilisés. Ces études permettent également de reconnaître les zones de faible portance, ou seront effectuées différentes purges ou substitutions.

Des sondages ont donc été réalisés sur la plateforme tout au long du projet après chaque 100m, des graves latéritiques composent essentiellement ses sols, donc offrent une bonne portance. Les données géotechniques pour le tronçon (PK0+00, au PK8+00) qui fera l'objet de notre étude, obtenus après un sondage sont renseignées dans le tableau I-2. (Source Laboratoire LNBTP).[3] Notons que les données géotechniques dans ce tableau, n'est qu'une synthèse de l'ensemble des sondages effectués sur le tronçon du projet. Le détail des sondages est présenté en **annexe 2**.

Tableau I- 2 : Données géotechniques de notre tronçon (Source Laboratoire LNBTP)

Échantillon				Portance CBR (%OPM)		Classe de portance
Sondage	Couche	Position	PK	95	98	
1	0/80	Droite	0+00	20	30	S4
2	10/80	Droite	0+100	24	34	S4
12	0/40	Droite	1+100	4	6	S1
22	20/60	Gauche	2+100	17	25	S4
32	10/40	Gauche	3+100	11	14	S3
42	10/100	Gauche	4+200	4	6	S1
51	20/60	Droite	5+100	22	31	S4

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

61	20/100	Gauche	6+100	22	29	S4
71	0/30	Droite	7+100	44	63	S5
81	20/100	Gauche	8+100	6	8	S2

I.2.5.1. Données pluviométriques

Elles nous permettront de faire une analyse et un ajustement des pluies maximales journalières et annuelles sur une période retour de 10 ans. Ces données ont été établies par le service météorologique, sur une tranche de 62 ans, à partir des relèves de la station pluviométrique installée à Ouagadougou. Elles sont essentiellement, la hauteur des pluies maximales journalières et mensuelles repérée pendant cette période donnée. Le détail des données pluviométriques sera présenté en **annexe 3**.

Conclusion partielle

Ce chapitre a permis de présenter en détail la structure d'accueil AGEIM-IC. Nous avons présenté ses domaines d'intervention ainsi que ses objectifs et missions. Il ressort qu'elle joue un rôle essentiel dans le développement des infrastructures au Burkina Faso et dans la sous-région. Elle intervient dans plusieurs secteurs, notamment les infrastructures de transport, les aménagements hydrauliques, et les constructions des bâtiments etc. Par la suite, nous avons présenté le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4, qui s'inscrit dans une stratégie globale visant à relever les défis liés à la mobilité urbaine, à la sécurité routière et au développement socio-économique. Enfin, nous avons présenté les données nécessaires, fournies par la structure d'accueil pour la réussite de cette étude telles que : les termes de référence du projet, le fond topographique, le comptage du trafic, les données géotechniques et pluviométriques.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons les aspects liés à la conception et l'étude structurale des carrefours giratoires et de la route.

Chapitre II. CONCEPTION ET ETUDE STRUCTURALE DES CARREFOURS GIRATOIRES ET DE LA ROUTE

Dans ce chapitre, nous aborderons principalement, tous les aspects liés à la conception et l'étude structurelle de la route et des carrefours giratoires, en respectant les normes et réglementations en vigueur.

II.1. Conception géométrique

II.1.1.Carrefours giratoires

Un carrefour désigne l'intersection en deux ou plusieurs voies de circulation. Dans notre projet, ils sont situés dans un environnement bâti, c'est à dire en agglomération. Ils sont conçus pour gérer les flux de circulation (véhicules, piétons, cyclistes), et son aménagement spécifique permet d'améliorer la sécurité, la fluidité et la lisibilité de la circulation. De manière globale, on distingue deux (02) principales catégories de carrefours :

- ✓ les carrefours dénivelés ou échangeurs : ici les voies sont séparées par des différences de hauteurs pour minimiser tous conflits lors de la circulation ;
- ✓ les carrefours plans : qui concernent les échanges qui se font sur le même plan (les carrefours plans ordinaires et les carrefours à sens giratoires communément appelés "ronds-points".)

Le choix du type de carrefour dépend principalement des facteurs tels que : la sécurité, le coût, le délai de mise en œuvre, la cohérence des différents aménagements tout le long de l'axe routier.[4]

C'est ainsi que pour notre projet, nous avons envisagé deux (02) carrefours plans à sens giratoire, car notre tronçon ne présente pas un relief accidenté.

II.1.1.1. Principes fondamentaux et Normes géométriques des carrefours

Lors de la conception géométrique et fonctionnelle d'un carrefour en milieu urbain, il est essentiel de respecter un certain nombre de principes fondamentaux d'aménagement, afin de garantir la sécurité, la fluidité et la lisibilité lors de la circulation. Ces principes peuvent être résumés de la manière suivante :

- ✓ la correspondance avec la hiérarchie fonctionnelle de la voirie, en cohérence avec les usages attendus et les comportements induits par le profil de la route ;

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

- ✓ l'insertion harmonieuse dans la trame viaire, assurant la continuité des aménagements, la lisibilité de l'itinéraire et la structuration spatiale de l'axe routier ;
- ✓ une organisation spatiale lisible et intuitive, permettant une compréhension immédiate du régime de priorité, des trajectoires et des mouvements autorisés ;
- ✓ la prise en compte des exigences de sécurité, pour l'ensemble des usagers y compris ceux issus des flux secondaires ou peu fréquents ;
- ✓ la préservation de la capacité d'écoulement et l'optimisation du niveau de service, pour les axes à forte charge ou à statut prioritaire ;
- ✓ l'intégration des besoins des usagers spécifiques, tels que les piétons, cyclistes, transports collectifs, personnes à mobilité réduite et véhicules exceptionnels, à travers des dispositifs adaptés et différenciés.

Concernant la norme géométrique, nous utiliserons le document d'aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales décembre 1998 (SETRA)[4], dans le cadre de cette étude, qui est le mieux adapté pour la détermination des caractéristiques générales de conception.

II.1.1.2. Paramètres de conception

Les carrefours sont aménagés sous forme de giratoires à priorité à l'anneau, régulés par une signalisation de type "**cédez-le-passage**" sur les voies d'accès. Des îlots directionnels sont implantés à l'approche des branches pour assurer la séparation physique des flux entrants et sortants, et canaliser les trajectoires. En fonction de la largeur disponible de notre plateforme, nous avons opté pour un rayon extérieur de 20 mètres qui est le mieux recommandé, permettant d'assurer une bonne giration pour les véhicules de grand gabarit tout en induisant une modération naturelle de la vitesse à l'entrée et dans l'anneau giratoire.

Dans notre étude, nous avons deux intersections sur notre tronçon, où seront prévues les deux carrefours giratoires. Le premier sera implanté au PK0+025 et le deuxième au PK0+775 comprenant chacun quatre (04) branches. La figure II-1 présente les terminologies des carrefours giratoires et d'un îlot séparateur de rayon giratoire ($R_g \geq 15m$). Les paramètres (voies de sorties et d'entrées) des carrefours giratoires et paramètres de construction d'un îlot sont présentés dans le tableau II-1.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

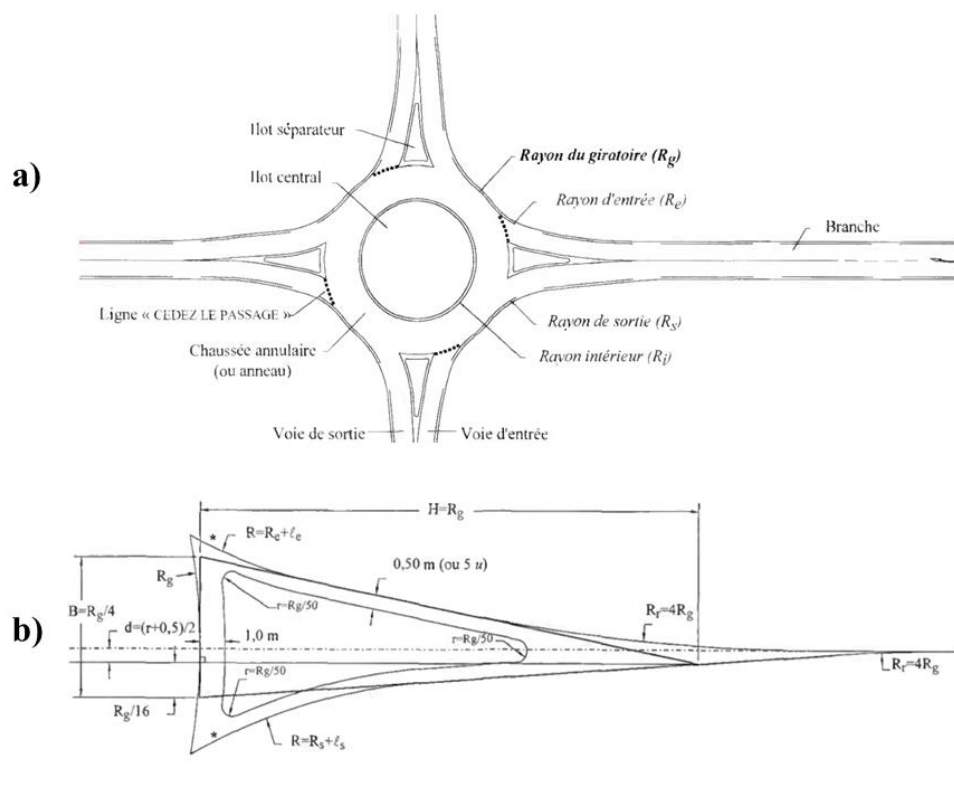


Figure II- 1 : Terminologies des carrefours giratoires (a) Terminologie d'un ilot séparateur de rayon $R_g \geq 15\text{m}$ (b)

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Tableau II- 1 : Paramètres de conception (îlots, voies de sorties et d'entrées)

Paramètres de voies de sorties et d'entrées						
	Notations	Paramétrage	Valeurs courantes (m)			
Rayon giratoire	Rg	$12m \leq Rg \leq 25m$	Rg = 12	Rg = 15	Rg = 20	Rg = 25
Largeur de l'anneau	la	$6m \leq la \leq 9m$	7	7	7	8
Surlargeur franchissable	slf	$1,5m$ si $Rg \leq 15m$	1,5	1,5	-	-
Rayon inférieur	Ri	$Rg * la * slf$	3,5	6,5	13	18
Rayon d'entrée*	Re	$10m \leq Re \leq 15m$ et $\leq Rg$	12	15	15	15
Largeur de la voie entrante	le	$le = 4m$	4	4	4	4
Rayon de sortie*	Rs	$15m \leq Re \leq 30m$ et $\leq Ri$	15	20	20	20
Largeur de la voie sortante	ls	$4m \leq ls \leq 5m$	4	4	4,5	5
Rayon de raccordement	Rr	$Rr = 4Rg$	48	60	80	100
Paramètres de construction des îlots						
	Notations	Paramétrage	Valeurs courantes (m)			
Rayon giratoire	Rg		Rg < 15	Rg = 15	Rg = 20	Rg = 25
Hauteur du triangle de construction	H	$H = Rg$	12 à 15	15	20	25
Base du triangle de construction	B	$B = Rg / 4$	3 à 3,75	3,75	5	6,25
Départ dz l'îlots sur l'axe	d	$d = (0,5 + Rg/50)/2$ ou 0	0	0,4	0,45	0,5
Rayon de raccordement des bordures	r	$r = Rg / 50$	0,25	0,3	0,4	0,5

Ainsi, grace à ses différents paramètres et terminologies, nous avons pu concevoir nos différents **carrefours giratoires représentés par les figures II-2 et II-3.**

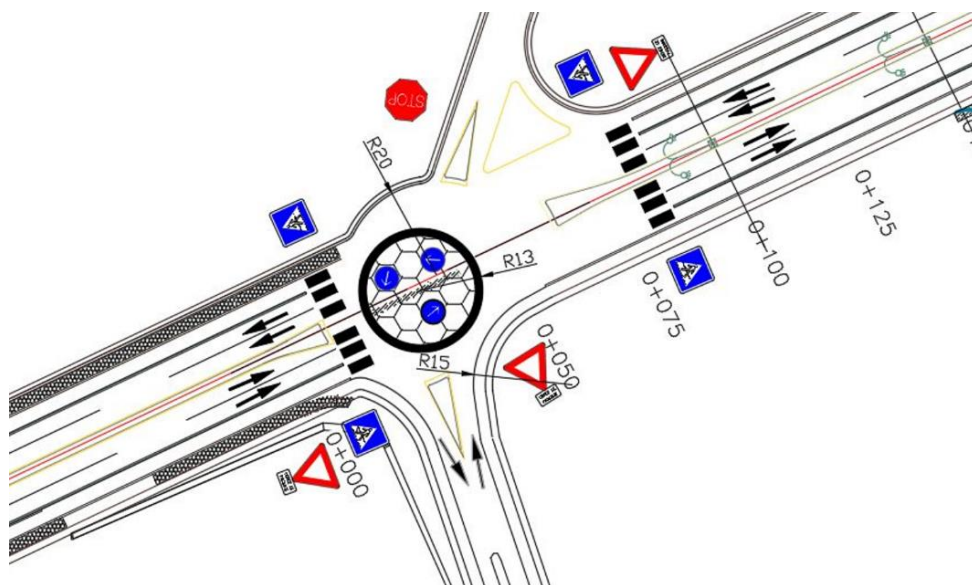


Figure II- 3 : Carrefour giratoire du PK0+025

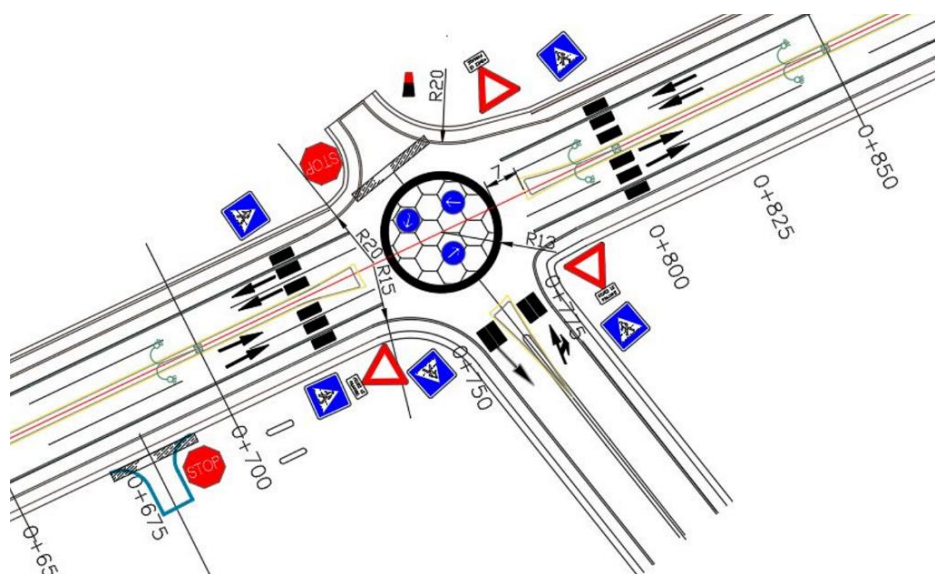


Figure II- 2 : Carrefour giratoire du PK0+775

Afin d'assurer un niveau de sécurité optimal pour l'ensemble des usagers au niveau du giratoire, divers aménagements fonctionnels et dispositifs de signalisation ont été intégrés au projet. Une piste cyclable bidirectionnelle de 3 mètres de large est implantée sur toute la longueur de la voie, assurant la continuité des circulations douces. En périphérie de l'anneau, un trottoir de 1,5 mètres est prévu pour garantir la continuité piétonne autour du giratoire.

II.1.2. Conception géométrique de la route

Pour une bonne conception, il sera nécessaire de faire un choix judicieux des caractéristiques générales telles que :

- ✓ le choix du type de Route : qui précise les règles de traitement des carrefours, des points d'échange, et des accès ;
- ✓ le choix de la catégorie de la route (dans chaque type), qui fixe les principales caractéristiques du tracé ;
- ✓ le profil en travers qui précise le nombre de voies

Cette conception s'articule autour de trois éléments fondamentaux : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Elle se doit de garantir un bon confort, une bonne visibilité et surtout la sécurité des usagers. Pour notre conception géométrique, nous nous sommes référés à l'ARP (Aménagements des Routes Principales).[5]

II.1.2.1. Choix du type de route

Le choix du type de route vise à assurer une adéquation de la route aux fonctions que l'on veut privilégier.[5] Il existe trois (03) types de routes :

- ✓ les routes de type L : elle fait référence à la notion de grande liaison, ce sont principalement **des Autoroutes** ;
- ✓ les routes de type T : ce sont des routes pour lesquelles la fonction d'écoulement de trafic de transit à moyenne ou grande distance est privilégiée (ce sont **des routes express à une chaussée**) ;
- ✓ les routes de type R : constituent l'essentiel des réseaux des voies principales de rase campagne et ont plusieurs fonctions (**les artères interurbaines**).

Pour notre projet, il s'agit d'une route de type R, car c'est une route nationale constituée de plusieurs artères interurbaines.

II.1.2.2. Choix de la catégorie de la route

Chaque catégorie présente des différences techniques minimales concernant le tracé en plan et le profil en long, ce qui différencie légèrement les niveaux de confort principalement pour les aspects dynamiques[5]. Le tableau II-2 présente des différentes catégories de route d'après l'ARP.

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Tableau II- 2 : Classification du type de et catégorie de route selon l'ARP

TYPES de ROUTES	R (routes multifonctionnelles)		T (transit)	L (liaison)
	Routes	Artères interurbaines	Routes express (à une chaussée)	Autoroutes
Nombre de chaussées	1 chaussée (2)	2 chaussées	1 chaussée (2)	2 chaussées
Carrefours (3)	plans ordinaires, ou giratoires	giratoires, ou plans sans traversée du T.P.C.	dénivelés	dénivelés
Accès	selon les cas, sans accès, ou accès possibles.	si accès, pas de traversée du T.P.C.	sans accès riverains.	sans accès riverains.
Limitation de vitesse hors agglomération	90 km/h	110 km/h (4) ou 90 km/h	90 km/h	130km/h ou 110 km/h (5)
Traversée d'agglomérations	oui, éventuellement		non	non
Catégories possibles (cf.. point I.I.bi)	R 60 (6) ou R80		T80 ou T 100	L 100 ou L 120 (L80)
Domaine d'emploi (à titre indicatif)	fonction de liaison à courte ou moyenne distance, et prise en compte des usages liés à l'environnement.		fonction de liaison à moyenne ou grande distance privilégiée.	fonction de liaison à moyenne ou grande distance privilégiée.
Trafic à terme	Trafic fort moyen(1chaussée) trafic(2chaussée)		trafic moyen	fort trafic
Types de "Sécurité des routes et des rues" (7)	Voies principales en milieu rural		Voies isolées de leur environnement	

Dépendant donc de la fonction attribuée à la voie, du niveau de performance attendu, et selon les exigences de l'ARP (Aménagement des Routes Principales), nous avons opté pour une **R60**, avec une vitesse de référence de **60m/h**, pour garantir la sécurité des usagers.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

II.1.2.3. Le tracé en plan

C'est une représentation en deux dimensions de la route, une vue de dessus qui montre la position relative des éléments, y compris les courbes, les lignes droites et les intersections.[5] Ce tracé respectera les règles de conception de l'ARP pour la catégorie R60, donnant les valeurs minimales. Les rayons recommandés pour ce cas sont présentés dans le tableau II-3.

Tableau II- 3 : Rayons recommandés pour le tracé en plan selon l'ARP

Catégorie de route	R60	T80 R80	T100
Vitesse de référence	60	80	100
Rayon minimal : Rm (en m)	120	240	425
Rayon au devers minimal : Rdm (en m)	450	650	900
Rayon non déversé : Rnd (en m)	600	900	1300

Pour que le conducteur aborde les virages en toute sécurité, nous ferons une alternance entre les rayons de courbure et les segments droits tout en respectant les critères suivants :

- ✓ éviter les alignements droits dépassant 1km et les rayons de courbure inférieurs à 300m
- ✓ deux courbes de même concavité doivent être séparées par un alignement droit d'au moins 200 m.

Nous comptons au total onze (11) alignements droits et neuf (09) courbes. Le plus grand alignement droit a une longueur de 1102,906 m, et le rayon de la plus grande courbe est de 1000 m. pour les projets routiers, il est recommandé d'avoir en moyenne 40% de courbes contre 60% d'alignements droit. Le tableau II-4 présente la synthèse de notre tracé en plan. Les résultats du tracé en plan sont présentés en **Annexe 1**.

Tableau II- 4 : Récapitulatif des résultats du tracé en plan

Désignation	Longueur (m)	Pourcentage (%)
Total courbes	3299,99	41,25
Total alignements droits	4699,99	58,75
Longueur totale de la route	7999,98	100

II.1.2.4. Le profil en long

C'est une représentation graphique de la dénivellation du tracé le long de l'axe principal, mettant en évidence une succession de sections horizontales, associés par des raccordements paraboliques.[5] Le calage de la ligne rouge a été effectué en fonction du niveau fini des

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

ouvrages hydrauliques déterminer à partir de : La cote minimale du radier, la hauteur de l'ouvrage (150 cm) et l'épaisseur de la chaussée retenue (44 cm). Nous obtenons donc un total de remblai de 41207 m³, contre 27889 m³ de déblai. Les rayons recommandés sont présentés dans le tableau II-5. Les paramètres géométriques du profil en long recommandés sont présentés en **Annexe 1**.

Tableau II- 5 : Rayons recommandés pour le profil en long selon l'ARP

Catégorie de route	R60	T80 R80	T100
Déclivité maximale (en%)	7	6	5
Rayon minimal en angle saillant (en m)	1500	3000	6000
Rayon minimal en angle rentrant (en m)	1500	2200	3000

II.1.2.5. Le profil en travers

Il représente la coupe transversale perpendiculaire au profil en long, montrant la topographie du terrain à un certain point ou section.[5] Il permet de définir à la fois la géométrie de la voie et sa structure. Les caractéristiques du profil en travers consignés sont présentées en **annexe 1**.

On distingue deux (02) types de profil en travers :

- ✓ le profil en travers type : C'est un profil standardisé qui représente les dimensions et la disposition d'une section transversale typique d'une route, incluant les éléments constructifs de la nouvelle route que ce soit en agglomération ou en rase campagne (Remblais, Déblais). Les différents profils en travers types sont présentés en **annexe 1**.
- ✓ le profil en travers courant : Il montre la configuration réelle du terrain pour le tronçon spécifique, c'est l'application du profil en travers type au terrain naturel à des équidistances bien définies ou suivant des profils topographiques imposés. Dans notre projet, nous avons opté pour des profils imposés avec une application au niveau des ouvrages et des points de tangences. Les détails des profils en travers courant sont présentés en **annexe 1**.

II.2. Détermination des épaisseurs de la chaussée et de l'anneau du giratoire

Elle consiste à déterminer la structure optimale (épaisseurs, types de couches et matériaux), d'une chaussée afin qu'elle puisse supporter les charges du trafic (principalement définies par les poids lourds) et résister aux charges climatiques (gel, chaleur et humidité), pendant toute sa durée de vie prévue, sans dégradation excessive. Pour le présent projet, nous utiliserons la méthode du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du (CEBTP)[6] et Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal[7], pour définir la structure de chaussée. Elle sera ensuite vérifiée à partir de la méthode rationnelle (grâce au logiciel Alizé LCPC).

II.2.1. Données de base

Il s'agit principalement des données liées au comptage du trafic, de la portance du sol.[3] Les études de sols ont été réalisées par le laboratoire LNBTP et le comptage du trafic a été fait par la structure d'accueil. Tous ces résultats nous ont été fournis pour mener à bien notre étude. Ainsi les données de base provenant du TDR sont présentées dans le tableau II-6.

Tableau II- 6 : Données de base pour le calcul du trafic (Source TDR)

Désignation	Valeurs
Année de comptage	2021
Année de mise en service	2027
Durée de service	15 ans
Taux de croissance géométrique	6,00%
Année de fin de service	2042
Coefficient de répartition transversale 2x2 voies	0,5
Coefficient d'agressivité moyen (CAM)	1
TMJA en 2021 (dans les 2 sens)	1094

II.2.2.Détermination de l'indice de portance du sol

La portance du sol désigne sa capacité à supporter des charges sans subir des déformations excessives ou de ruptures. Elle est notamment caractérisée par l'indice CBR, qui est l'un des paramètres fondamentaux pour la détermination de la structure de chaussée et est le meilleur critère pour différencier les sols en fonction de leur résistance au poinçonnement.

Evaluer donc la portance d'un sol, revient à déterminer son indice CBR grâce à des essais géotechniques spécifiques (essai CBR). Selon les études menées, le sol support de notre tronçon en moyenne est de classe S4, ce qui correspond à une plage d'indice CBR comprise entre 15 et 30 pour la plateforme. Le tableau II-7 présente la plage CBR en fonction de la classe de portance.

Tableau II- 7 : Classe de portance du sol en fonction de la plage CBR [6]

S1	S2	S3	S4	S5
CBR < 5	5 < CBR < 10	10 < CBR < 15	15 < CBR < 30	CBR < 30

On cherchera à disposer du meilleur sol de plateforme possible, en sélectionnant le matériau de façon à avoir en tête de remblai des sols de bonne portance sur tout le tronçon (on fera des purges sur au moins 30cm d'épaisseur au niveau des sols de classe inférieure à S4).

II.2.3.Etude du trafic

II.2.3.1. Données du trafic

Le comptage du trafic a été réalisé en 2021 et a permis d'estimer un trafic moyen journalier annuel de 1094 PL dans les deux sens de circulation.

II.2.3.2. Estimation du trafic de dimensionnement

Le trafic qui sera pris en compte pour le calcul de la structure de chaussée, sera celui pendant sa durée de vie sur la voie la plus sollicitée. Pour estimer cela, nous avons utilisé les hypothèses énumérées plus haut (tableau II-7). Les calculs sont présentés en **annexe 2**.

Nous obtenons après calcul un trafic cumulé (Tc) pendant la durée de vie de $6,59 \times 10^6$, qui se situe dans l'intervalle $4 \times 10^6 < T < 10^7$, cela correspond à un trafic T4. Nous pouvons donc conclure que notre trafic est de catégorie T4. Le tableau II-8 présente la catégorie du trafic en fonction de la plage du trafic cumulé.

Tableau II- 8 : Catégorie du trafic en fonction de la plage du trafic cumulé[6]

Classe de trafic	Trafic cumulé en nombre de poids lourds
T1	$T < 5 \times 10^5$
T2	$5 \times 10^5 < T < 1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 < T < 4 \times 10^6$
T4	$4 \times 10^6 < T < 10^7$
T5	$10^7 < T < 2 \times 10^7$

II.2.4.Détermination de la nature et de l'épaisseur des différentes couches de chaussées

II.2.4.1. Proposition des variantes de chaussées selon le CEBTP et le Guide Sénégal

Plus haut, nous avons pu classer notre sol en S4, et l'analyse du trafic nous a permis de le catégoriser en T4. Selon le Guide pratique de dimensionnement des chaussées CEBTP[6] et le Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal[7], ce couplage S4/T4 correspond à des variantes proposées dans le tableau II-9.

Tableau II- 9 : Variantes de structures adaptées suivant le guide du CEBTP et le guide Sénégal

Couches de chaussée	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4 (Guide du Sénégal)
Revêtement	5 cm de Béton bitumineux	5 cm de Béton bitumineux	7 cm de Béton bitumineux	6 cm de Béton bitumineux
Base	15 cm de Grave de Bitume	15 cm de Grave de Bitume	20 cm de Grave ciment	14 cm de Grave de Bitume
Fondation	20 cm de Grave naturelle ou concassée	15 cm de Grave naturelle améliorée au ciment	20 cm de Graveleux latéritique naturel	25 cm de GNT

II.2.4.2. Choix et justification de la variante retenue

Dans le domaine de la construction d'une chaussée, le choix des matériaux joue un rôle essentiel, car il influence directement sa durabilité, sa résistance, et son entretien. Il dépend principalement de leur coût, de leur disponibilité, de leur accessibilité et de la facilité de mise en œuvre. Le matériau retenu doit répondre aux exigences climatiques, techniques et économiques du projet.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

A l'aide de la mercuriale des prix unitaire BTP de la ville de Ouagadougou, édition 2025[9], nous avons déterminé le coût de fourniture et pose de chaque variante sur 1 km de route. Le graphique présenté est un histogramme comparatif des coûts en FCFA associés à différents matériaux pour quatre variantes de conception (Variante 1 à variante 4). Les matériaux représentés sont les suivants :

- ✓ BB (Béton Bitumineux en FCFA) : représenté par la barre jaune ;
- ✓ GB (Grave Bitume en FCFA) : barre grise ;
- ✓ GL ou GN (Grave Latéritique ou Naturelle en FCFA) : barre verte ;
- ✓ GNT (Grave Non Traité en FCFA) : barre orange ;
- ✓ GC (Grave Ciment en FCFA) : barre bleue claire ;
- ✓ Total (FCFA) : barre noire.

L'axe horizontal présente les différentes variantes de structures de chaussée (Variante 1, Variante 2, Variante 3, Variante 4.) et l'axe vertical indique les coûts en Francs CFA (avec une échelle logarithmique atteignant jusqu'à environ $6,5 \times 10^8$ FCFA) des différents matériaux utilisés. La figure II-4 présente les coûts des variantes de structure de chaussée en fonction des matériaux utilisés.

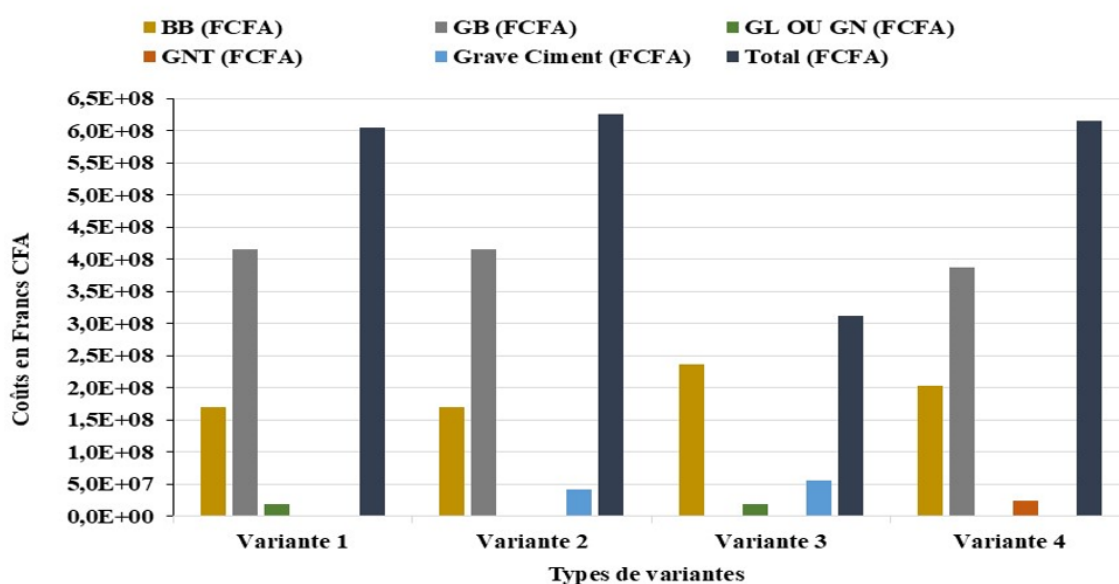


Figure II- 4 : Comparaison des coûts des variantes de structure de chaussée en fonction des matériaux utilisés

Les variantes 1 et 4 (structure souple) utilisent principalement du BB et GB, elles semblent fortement influencer le coût total. L'objectif ici étant de minimiser les coûts, la variante 1

semble la plus avantageuse pour la structure se chaussée. En revanche, au niveau de l'anneau du giratoire, la durabilité, la portance et les critères liés aux forces de freinages sont également pris en compte. Le choix se fera entre les variantes 2 et 3. La variante 2 semble être le choix optimal pour l'anneau du giratoire.

II.3. Calcul des sollicitations admissibles et vérification des contraintes et déformations sur Alizé

Elles permettront de s'assurer que les sollicitations mécaniques (déformation, contraintes et efforts), induites dans les différentes couches de la chaussée par des charges roulantes soient inférieures aux seuils admissibles (liés aux caractéristiques des matériaux). En d'autres termes c'est de s'assurer que la chaussée retenue puisse supporter le trafic cumulé de poids lourds prévu sur une durée de vie de 15 ans. Ainsi trois (03) critères doivent être vérifiés :

- ✓ la déformation verticale epsilon z (ϵ_z), au niveau des couches en matériaux non traités et du sol support doit être inférieure à la valeur admissible ;
- ✓ la déformation horizontale epsilon t (ϵ_t), à la base des couches bitumineuses doit rester inférieure à la valeur limite ;
- ✓ la contrainte sigma t (σ_t), au niveau des couches en matériaux traitées aux liants hydrauliques ou béton ne doit pas dépasser la valeur admissible.

II.3.1. Calcul des sollicitations admissibles

Après calcul on obtient les valeurs renseignées dans le tableau II-10. Les détails des calculs sont présentés en **annexe 2**.

Tableau II- 10 : Contraintes et déformations admissibles

$\epsilon_{z,adm}$	391,8 μdef
$\epsilon_{t,adm}$	153,3 μdef
$\sigma_{t,adm}$	0,672 μdef

II.3.1. Vérification des variantes par la méthode rationnelle à l'aide du logiciel Alizé LCPC

Pour les vérifications, le programme Alizé tient compte des paramètres suivant :

- ✓ les épaisseurs des différentes couches ;

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

- ✓ les modules d'Young (E) et les coefficients de poisson (ν) de chaque couche ;
- ✓ le sol support.

Les caractéristiques des matériaux (Module de Young et Coefficient de poisson) sont présentées dans le tableau II-11.

Tableau II- 11 : Caractéristiques des matériaux selon le Guide du Sénégal

Matériaux/Caractéristiques	Module de Young (E) MPa	Coefficient de poisson
Béton Bitumineux	1300	0,45
Grave de Bitume	3190	0,45
Grave de Ciment	23000	0,25
Graveleux latéritique	200	0,35
GNT amélioré aux concassés	400	0,35
Sol support (Pf3)	120	0,35

II.3.1.1. Vérification de la structure de la chaussée

Comme il a été dit plus haut, les contraintes et déformations doivent être inférieures aux valeurs admissibles, quand nous modélisons donc la variante de chaussée retenue sur Alizé, nous obtenons des valeurs supérieures aux valeurs limites. Le tableau II-12 présente les valeurs des contraintes et déformations calculées.

Tableau II- 12 : Valeurs des contraintes et déformation calculées de la structure de chaussée

Couches	Epaisseurs	Valeurs des limites admissibles	Valeurs calculées
		Déformation ϵ_t	
Couche de revêtement (BB)	5 cm	153,3 μdef	61,5 μdef
Couche de base (GB)	15 cm	150,0 μdef	-202,8 μdef
		Déformation ϵ_z	
Plateforme	Pf3	391,8 μdef	463,3 μdef

L'allongement (ϵ_t) à la base de la couche en grave de bitume dépasse largement le seuil et la déformation (ϵ_z) au niveau du sol support excède également la valeur limite. Par conséquent, les conditions requises ne sont pas satisfaites.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Nous ferons alors un ajustement de la structure de chaussée, pour que les conditions soient respectées. Ainsi, nous allons améliorer au concassé le matériau de la couche de fondation et ajuster les épaisseurs de la couche de base et fondation. Ainsi le tableau II-13 présente les valeurs des contraintes et déformations calculées après ajustement de la structure de chaussée.

Tableau II- 13 : Valeurs des contraintes et déformations calculées après ajustement de la structure de chaussée

Couches	Epaisseur	Valeurs des limites admissibles	Valeurs calculées
		Déformation ε_t	
Couche de revêtement (BB)	5 cm	153,3 μdef	46,4 μdef
Couche de base (GB)	17 cm	150,0 μdef	-141,8 μdef
		Déformation ε_z	
Plateforme	Pf3	391,8 μdef	379,3 μdef

Nous avons effectué la litho-stabilisation, en améliorant le graveleux latéritique naturel de la couche de fondation avec du concassé pour avoir un module plus élevé (400 MPa) ; pour la couche de base et de fondation, l'épaisseur a été augmenté de 2 cm et la couche de roulement est maintenu. Nous constatons alors que nous avons une déformation verticale ε_z de 379,3 μdef contre une valeur admissible de 391,8 μdef ; une déformation horizontale ε_t de 141,8 μdef contre une valeur admissible de 150,0 μdef . Le tableau II-14 présente la nouvelle structure de chaussée.

Tableau II- 14 : Variante adoptée pour la structure de la chaussée

Couches de chaussée	Variante 1
Revêtement	5cm de BB
Base	17 cm de GB
Fondation	22cm de GL amélioré au concassé (Litho-stabilisation)

II.3.1.2. Vérification de la structure de l'anneau du giratoire

Il est question de s'assurer que les contraintes et déformations soient inférieures aux valeurs admissibles, ainsi après modélisation de la structure de l'anneau du giratoire, nous remarquons que ces valeurs sont supérieures. Le tableau II-15 présente les valeurs des contraintes et déformations calculées.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Tableau II- 15 : Valeurs des contraintes et déformations calculées de l'anneau du giratoire

Couches	Epaisseurs	Valeurs des limites admissibles	Valeurs calculées
		Contrainte σ	
Couche de foundation (GC)	15 cm	0,672 μ def	-1,162 μ def
		Déformation ϵ_z	
Plateforme	Pf3	391,8 μ def	73,4 μ def

La contrainte (σ) à la base de la couche en grave de ciment dépasse le seuil. Par conséquent, une des conditions requises n'est pas satisfaite.

Nous ferons alors un ajustement de la structure de chaussée, pour que les conditions soient respectées. Ainsi le tableau II-16 présente les valeurs des contraintes et déformations calculées après ajustement de la structure de chaussée.

Tableau II- 16 : Valeurs des contraintes et déformations calculées après ajustement de l'anneau du giratoire

Couches	Epaisseurs	Valeurs des limites admissibles	Valeurs calculées
		Contrainte σ	
Couche de foundation (GC)	20 cm	0,672 μ def	-0,654 μ def
		Déformation ϵ_z	
Plateforme		391,8 μ def	37,0 μ def

Ainsi, nous avons augmenté le module de la couche de roulement (6151 MPa) et ajuster les épaisseurs de la couche de roulement, de base et de fondation. Nous constatons alors que nous avons une déformation verticale ϵ_z de 37,0 μ def contre une valeur admissible de 391,8 μ def ; une contrainte σ de -0,654 μ def contre une valeur admissible de 0,672 μ def. Le tableau II-17 présente la nouvelle structure de l'anneau du giratoire.

Tableau II- 17 : Variante adoptée pour la structure de l'anneau du giratoire

Couches de chaussée	Variante 2
Revêtement	7cm de BBME
Base	20 cm de GB
Fondation	20cm de Grave amélioré au ciment

Conclusion partielle

Ce chapitre nous a permis d'aboutir à une conception cohérente, sécurisée et durable des giratoires et de la chaussée, tout en respectant techniques, économiques et normatives du projet.

Ainsi :

- ✓ Sur le plan géométrique, la route a été classée **de type R60** selon l'ARP, adaptée aux fonctions de liaisons interurbaines. Le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers ont été définis de manière à offrir une visibilité suffisante, un confort de conduite et une sécurité optimale. Les rayons de courbures, les profils types ont été sélectionnés conformément aux prescriptions normatives, permettant une bonne intégration dans l'environnement bâti. Le choix du type de carrefours s'est porté sur **des carrefours giratoires à priorité à l'anneau**, implantés au **PK 0+025 et PK 0+775, chacun à quatre (04) branches**. Ils ont été conçus selon les recommandations du SETRA (1998), avec un **rayon du giratoire de 20 m**, des **îlots directionnels**, une **piste cyclable bidirectionnelle de 3 m** et un **trottoir de 1,5 m**.
- ✓ Sur le plan structural, la détermination des chaussées a été déterminée selon le CEBTP et le guide du Sénégal, complétée par une vérification rationnelle via le logiciel Alizé LCPC. En se basant sur des données géotechniques (sol de classe S4) et le trafic cumulé estimé (catégorie T4), les variantes optimales de structures suivantes ont été retenues :

Pour la route, la structure adoptée comprend : **5 cm de Béton Bitumineux, 17 cm de Grave Bitume, 22 cm de grave latéritique améliorée au concassé (litho-stabilisation)**. Cette structure respecte les critères mécaniques (ϵ_t , ϵ_z) imposés par les normes. Et concernant l'anneau du giratoire, la structure finale est constituée de : **7 cm de BBME (Béton Bitumineux à Module Elevé), 20 cm de Grave Bitume, 20 cm de grave améliorée au ciment**. Cette structure permet de satisfaire les contraintes admissibles, notamment la contrainte σ_t .

Dans le prochain chapitre, nous ferons une étude des ouvrages hydrauliques en présentant les études hydrologiques, hydrauliques et structurales.

Chapitre III. ETUDES DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

L'objectif de cette partie est de proposer des systèmes d'assainissement dans notre zone d'étude, pour assurer la pérennité et la sécurité de l'infrastructure routière en maîtrisant l'écoulement des eaux pluviales, de ruissellement et autres sources pouvant détériorer la chaussée ou perturber la circulation. Ce chapitre portera principalement sur l'estimation des débits de crues aux différents exutoires, la définition des sections hydrauliques adaptées selon les valeurs de débits retenus, et enfin l'analyse structurale des ouvrages hydrauliques à mettre en place.

III.1. Etudes hydrologiques

Le but de cette étude est d'évaluer les débits d'eau qui transiteront notre projet jusqu'aux exutoires. Cela se fera par la délimitation du bassin versant et la détermination de ses caractéristiques.

III.1.1. Identification et délimitation des Bassins Versants

Cette étape consiste à définir les limites géographiques des bassins versants sur l'ensemble du territoire qui draine l'eau de pluie vers un même exutoire.[10] Pour ce faire, nous avons utilisé les logiciels tels que : Global Mapper pour les grands bassins versants et Google Earth Pro pour les sous bassins versants. Ainsi donc nous avons pu délimiter cinq (05) grands bassins versants et onze (11) sous bassins versants, matérialisés par la figure III-1.

III.1.2. Caractéristiques des Bassins Versants

Après délimitation des bassins versants, nous avons procédé à la détermination de leurs caractéristiques (périmètre, superficie, altitude maximale et minimale, pente moyenne, et la longueur de l'écoulement) à partir du logiciel Global Mapper. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau III-1.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

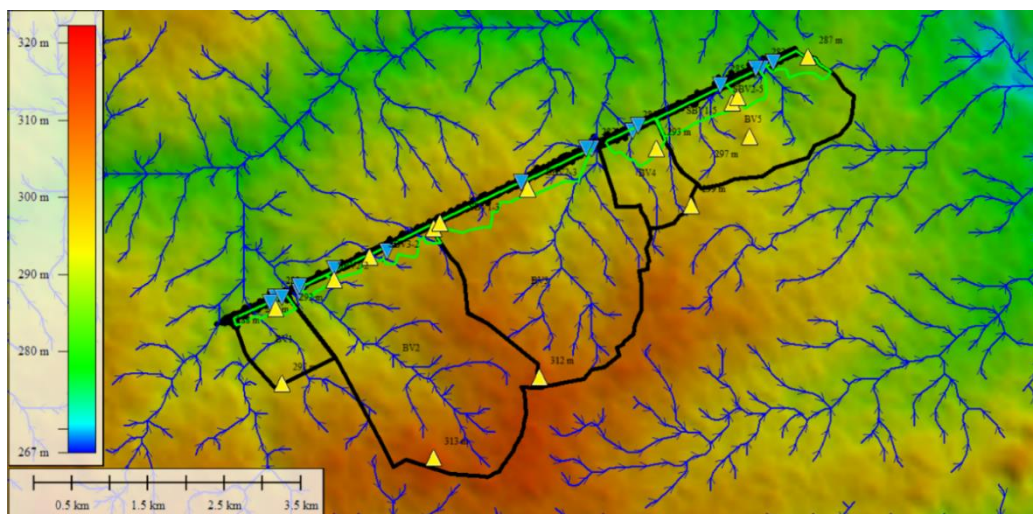


Figure III- 1 : Délimitation des bassins versants

Tableau III- 1 : Caractéristiques des bassins versants

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Z max (m)	Z min (m)	Pente (%)	Longueur écoulement (km)	Méthode choisie
SBV1-1	0,062	1,363	292	288	1,31	0,573	Caquot
SBV2-1	0,047	0,892	291	288	1,28	0,275	Caquot
BV1	0,890	3,715	306	288	1,13	0,382	Orstom, CIEH
SBV1-2	0,057	1,159	302	295	1,36	1,368	Caquot
SBV2-2	0,068	1,504	298	291	0,93	0,647	Caquot
SBV3-2	0,168	2,480	295	287	0,93	1,086	Caquot
BV2	5,955	10,236	313	286	1,31	3,329	Orstom, CIEH
SBV1-3	0,077	3,167	296	288	0,83	1,534	Caquot
SBV2-3	0,099	2,274	294	286	1,23	1,042	Caquot
BV3	5,363	9,631	312	287	1,31	3,067	Orstom, CIEH
SBV1-4	0,156	2,126	293	286	1,47	0,887	Caquot
BV4	1,067	4,335	299	286	1,23	1,412	Orstom, CIEH
SBV1-5	0,103	2,609	291	282	1,47	1,220	Caquot
SBV2-5	0,150	1,564	288	283	1,84	0,448	Caquot
SBV3-5	0,147	1,992	288	283	0,97	0,816	Caquot
BV5	2,727	6,627	296	282	1,29	1,790	Orstom, CIEH

III.1.3. Méthodologie d'estimation des débits

Pour cette estimation, nous avons principalement tenu compte des paramètres climatiques, topographiques, morphologiques, de la couverture végétale et de l'occupation des sols. Il existe cependant plusieurs méthodes permettant d'obtenir ces débits. Pour notre projet, nous avons utilisé les méthodes ORSTOM et CIEH pour les grands bassins versants (BV1, BV2, BV3, BV4, BV5), selon le manuel « Crues et apports FAO »[10] et la méthode de Caquot pour nos sous bassins versants.[11]

III.1.3.1. Méthode ORSTOM

C'est une méthode développée dans le manuel « Crues et apports FAO »[10], elle s'applique aux bassins versants dont la superficie est située entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km². Le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la formule suivante :

$$Q_{r10} = \frac{A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times S}{Tb_{10}} [10]$$

A : le coefficient d'abattement
P10 : la hauteur de pluie journalière décennale
Kr10 : le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale
α10 : le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale = 2,6
S : la superficie du bassin versant
Tb10 : le temps de base correspondant à la crue décennale

Cette méthode sera appliquée à l'ensemble de nos bassins versants.

III.1.3.2. Méthode CIEH

C'est une méthode statistique, connue depuis sous le nom de méthode CIER et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux. Elle s'applique aux bassins versants dont la superficie est comprise entre 10km² et 1500km² en zone sahélienne et ceux dont la superficie est inférieure à 1500km² en zone tropicale sèche.[10] La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q10 est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

$$Q_{10} = a * S^s * \bar{P}_{an}^p * I_g^i * Kr_{10}^k [10]$$

Où S est la surface du bassin, Ig est l'indice global de pente, Pan est la pluie annuelle moyenne, Kr10 est le coefficient de ruissellement décennal et a, s, p, i, k sont des coefficients à déterminer en fonction des équations CIEH.[12]

Les formules seront choisies en fonction des paramètres, de la position des bassins versants et du coefficient de corrélation r (on prendra les valeurs plus proches de 1). Ainsi nous avons choisi les équations 12, 27, 39, 40, 41 et 42 représentées dans le tableau III-2.

Tableau III- 2 : Coefficients CIEH en fonction des équations

Equations	Position des bassins versants	a	s	i	k	r
12	Découpage pour la zone Pan < 1000 mm	0,095	0,643	0,406	1,038	0,892
27	Découpage Afrique de l'Ouest, de 10°E à 10°W	0,560	0,619	0,279	0,51	0,806
39	Burkina Faso	0,410	0,425		0,923	0,904
40	Burkina Faso	0,254	0,462	0,101	0,976	0,908
41	Burkina Faso + Mali + Niger	0,407	0,532		0,941	0,829
42	Burkina Faso + Mali + Niger	0,0912	0,643	0,399	1,019	0,869

III.1.3.3. Méthode Caquot

Elle est utilisée pour déterminer les débits des différents sous bassins versants urbains, de petites superficies (inférieures à 4km²). C'est une évolution de la méthode rationnelle et intègre d'autres phénomènes comme : le stockage temporaire de l'eau dans le réseau et le temps de concentration du bassin versant dépendant du débit[13]. Sa formule est la suivante :

$Q_p = m \times (K^{1/u}) \times (I^{v/u}) \times (C^{1/u}) \times (A^{w/u})$. [13] Avec :

$$K = (0,5^b \times a) / 6,6$$

Q (m³/s) : Débit maximal à l'exutoire

$$u = 1 + 0,287b$$

I (m/m) : Pente moyenne du BV

$$v = -0,41b$$

C : Coefficient de ruissellement

$$w = 0,95 + 0,507b$$

A: Superficie du BV en ha (en m² pour le calcul de l'allongement)

$$\mu = 0,84b / 1 + 0,287b$$

a, b : coefficients de Montana

$$M = L / \sqrt{A} \quad (M > 0,8)$$

k, u, v, w : coefficients d'ajustement

si $M \neq 2$, $Q_{cor} = m \times Q_{brut}$ M: Allongement du BV

$$m = (M/2)^{(0,7 \times b)}$$

m: facteur correctif en fonction de la morphologie du BV

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Ces différents coefficients ont été ajusté à partir des données expérimentales de collecte des bassins versants en occident (France et Etats-Unis) et en Afrique (Ouagadougou, Niamey et Abidjan). Les valeurs proposées donc sont celles issues de Sighomnou (1986) :

$\beta + \delta = 1,4$, $\varepsilon = 0,05$, $c = 0,41$, $d = 0,51$, $f = 0,29$. Les coefficients de montana choisis correspondent à une période de retour de 5 ans : $a = 7,37$ et $b = -0,5$.

La configuration de nos sous-bassins versant, nous impose à utiliser un montage en série, ce qui nous permet d'obtenir le tableau II-3 :

Tableau III- 3 : Configuration des sous-bassins versants

Surface	Coefficient de ruissellement	Pente	Allongement	Débit maximum
$A_{eq} = \sum A_j$	$C_{eq} = \frac{\sum C_j \times A_j}{\sum A_j}$	$I_{eq} = \frac{\sum (L_j)^2}{\left(\sum \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}\right)^2}$	$M_{eq} = \frac{\sum L_j}{\sqrt{\sum A_j}}$	Si $Q_{eq} > \sum(Q_j)$ Alors $Q_{eq} = \sum(Q_j)$ Si $Q_{eq} < \text{Max}(Q_j)$ Alors $Q_{eq} = \text{Max}(Q_j)$

III.1.4. Résultats d'estimation des débits de crues

Selon les prescriptions du TDR, l'estimation a été faite pour une période retour de 10 ans pour les grands bassins versants et 05 ans pour les sous bassins versants. Après l'estimation des débits par les méthodes ORSTOM et CIEH, une moyenne arithmétique des deux types de résultats sera faite afin d'obtenir les débits optimaux qui seront utilisés pour la détermination des sections des ouvrages hydrauliques.

III.1.4.1. Débits de crues par la méthode ORSTOM

Les débits de crues par la méthode ORSTOM sont présentés dans le tableau II-4 et le détail des calculs est présenté en **annexe 3**.

Tableau III- 4 : Résultats des débits par la méthode ORSTOM

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Pan (mm)	P10 (mm)	Pm10	Kr (10%)	Tb10 (mn)	Débit Q10 (m3/s)
BV1	0,89	956	107	107,693	27,506	380,605	3,092
BV2	5,955	956	107	96,392	26,707	593,390	11,531
BV3	5,363	956	107	97,014	26,797	622,057	10,004
BV4	1,067	956	107	106,614	26,797	222,626	6,112
BV5	2,727	956	107	101,035	31,754	182,368	21,412

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

III.1.4.2. Débits de crues par la méthode CIEH

Les débits de crues par la méthode CIEH sont présentés dans le tableau III-5 et le détail des calculs est présenté en **annexe 3**.

Tableau III- 5 : Résultats des débits par la méthode CIEH

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Ig	P10 (mm)	Pm10	Kr10 (%)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	0,89	5,997	107	107,693	27,506	6,618
BV2	5,955	5,823	107	96,392	26,707	18,021
BV3	5,363	5,452	107	97,014	26,797	16,861
BV4	1,067	8,018	107	106,614	26,797	7,477
BV5	2,727	8,909	107	101,035	31,754	14,867

III.1.4.3. Débits retenus pour nos grands bassins versants

Nous remarquons qu'il y'a une grande différence entre les débits estimés avec la méthode ORSTOM et celle CIEH. Le tableau III-6 présente la moyenne entre les débits estimés par les deux méthodes (ORSTOM et CIEH).

Tableau III- 6 : Débits retenus

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Pan (mm)	P10 (mm)	Pm10	Kr (10%)	Tb10 (mn)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	0,89	956	107	107,693	27,506	380,605	4,855
BV2	5,955	956	107	96,392	26,707	593,390	14,776
BV3	5,363	956	107	97,014	26,797	622,057	13,432
BV4	1,067	956	107	106,614	26,797	222,626	6,794
BV5	2,727	956	107	101,035	31,754	182,368	18,140

III.1.4.4. Débits de crues par la méthode Caquot

Les résultats de la méthode de Caquot sont présentés dans le tableau III-7 et le détail des calculs est présenté en **annexe 3**.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Tableau III- 7 : Résultats des débits par la méthode Caquot

Bassins Versants		Assemblage	Superficie Aj (ha)	Pente (%)	Chemin hydraulique Lj (hm)	Qp (m3/s)
Série 1	SBV1-1	SBVeq1 = SBV1-1	6,24	0,0131	3,82	1,847
	SBV2-1	SBVeq2 = SBV2-1	4,708	0,0128	3,32	1,460
Série 2	SBV1-2	SBVeq1 = SBV1-2	5,71	0,0113	4,9	1,436
	SBV2-2	SBVeq2 = SBV1-2 + SBV2-2	6,79	0,0136	1,95	2,919
	SBV3-2	SBVeq3 = SBV1-2 + SBV2-2 + SBV3-2	16,75	0,0093	4,99	5,012
Série 3	SBV1-3	SBVeq1 = SBV1-3	7,66	0,0093	3,47	2,216
	SBV2-3	SBVeq2 = SBV1-3 + SBV2-3	9,88	0,0131	3,03	4,249
Série 4	SBV1-4	SBVeq1 = SBV1-4	15,64	0,0083	3,94	4,313
Série 5	SBV1-5	SBVeq1 = SBV1-5	10,29	0,0123	4,84	2,750
	SBV2-5	SBVeq2 = SBV1-5 + SBV2-5	14,96	0,0131	5,08	5,078
	SBV3-5	SBVeq3 = SBV3-5	14,68	0,0147	7,18	3,445

III.2. Etudes hydrauliques

III.2.1. Ouvrages transversaux

Le choix entre une buse et un dalot, dépend principalement de plusieurs facteurs techniques, économiques et environnementaux :

- ✓ le débit à évacuer : pour les grands débits (supérieurs à 10 m³/s), il convient d'utiliser des dalots, dans le cas contraire, on adoptera des buses ;
- ✓ hauteur de remblai : les buses sont limitées par la résistance mécanique du matériau et la hauteur du remblai (hauteur minimale de 0.8m)[1], pour toutes les valeurs inférieures, il est préférable de prévoir un dalot pour des raisons de sécurité et de stabilité.

Ainsi pour notre projet, nous utiliserons principalement les dalots, car nos débits aux exutoires sont supérieurs à 10 m³/s (BV2, BV3, BV5) et pour les bassins (BV1 et BV4) bien que leur débit soit inférieur à 10 m³/s, la hauteur de remblai (44 cm) est inférieure à 8cm.

Les critères et les hypothèses de calculs pris en compte sont les suivants :

- ✓ une vitesse maximale d'écoulement est fixée à 3 m/s (BCEOM, hydraulique routière)[1] pour garantir l'auto-curage ;
- ✓ un fonctionnement des dalots se fera en sortie libre (hauteur d'eau à l'aval est inférieur au bord supérieur), car nous ne sommes pas dans une zone inondable ou marécageuse ;
- ✓ l'écoulement se fera en surface libre ;
- ✓ les dalots seront de type cadres en béton armé ;

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

- ✓ les murs en ailes feront un angle de 45° avec l'axe de l'ouvrage.

Pour déterminer nos différentes sections hydrauliques, nous avons établi une méthodologie basée sur le manuel BCEOM (hydraulique routière)[1] de la manière suivante :

- ✓ La hauteur d'eau en amont dépend principalement du débit réduit Q^* et de la hauteur réduite H^* . On se fixe une hauteur et une largeur du dalot en fonction du débit à écouler et la valeur de la vitesse admissible, on détermine par la suite le débit réduit par la formule suivante :

$$Q^* = \frac{q}{A \times \sqrt{2gD}}$$

La hauteur réduite est déterminée graphiquement (valeur adimensionnelle : fig77 page 248 BCEOM), afin de pouvoir calculer la hauteur d'eau en amont par la formule :

$$H1 = D \times H^* \text{ et } H1/B \leq 1,25 \text{ [1]}$$

Avec : Q^* = le débit réduit (m³/s) ; Q = le débit du projet (m³/s) ; D = la hauteur du dalot (m) ; A = la section du dalot en (m²) ; H^* = la hauteur réduite (m) ; H = la hauteur d'eau en amont(m) ; g = accélérateur de la pesanteur (m/s²).

- ✓ Concernant la pente critique, le dalot doit être capable d'évacuer le débit critique associé à la hauteur d'eau en amont. La pente longitudinale doit donc être au moins égale à la pente critique, nous avons les formules suivantes :

$$Q^* = \frac{q}{(g \times B^5)^{0,5}}$$

$$Ic = Ic^* \times g / (Ks^2 \times B^{(1/3)}) \text{ [1]}$$

Avec : Q^* : Débit réduit (m³/s) ; Ic : pente critique (%) ; B : la largeur du dalot (m) ; Ks : le coefficient de rugosité (sans unité).

- ✓ La vitesse moyenne d'écoulement est déterminée pour vérifier qu'elle reste en dessous de la vitesse admissible ($V < V_{max} = 3 \text{ m/s}$), en s'assurant qu'elle reste élevée pour éviter le dépôt de particules solides dans l'ouvrage. On détermine tout d'abord le débit réduit Q^* par la formule : $Q^* = q / (Ks \times Ic^{0,5} \times B^{(8/3)})$, ensuite la vitesse d'écoulement à la sortie de l'ouvrage : $V = V^* \times Ks \times Ic^{0,5} \times B^{(2/3)} \text{ [1]}$

Ainsi nous avons obtenus les résultats présentés dans le tableau III-8.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Tableau III- 8 : Sections des Dalots retenues

Bassins versants	Débit projet (m ³ /s)	Nombre de cellules	Hauteur du dalot D (m)	Largeur de cellule B (m)	Vitesse de sortie V (m/s)
BV1	4,85	1	1,50	2,50	1,70
BV2	14,78	3	1,50	2,50	1,57
BV3	13,43	3	1,50	2,50	1,55
BV4	6,79	1	1,50	3,50	1,83
BV5	18,14	3	1,50	3,00	1,72

Le schéma de la figure III-2 présente la méthodologie utilisée. Le détail des calculs sera présenté en annexe 3.

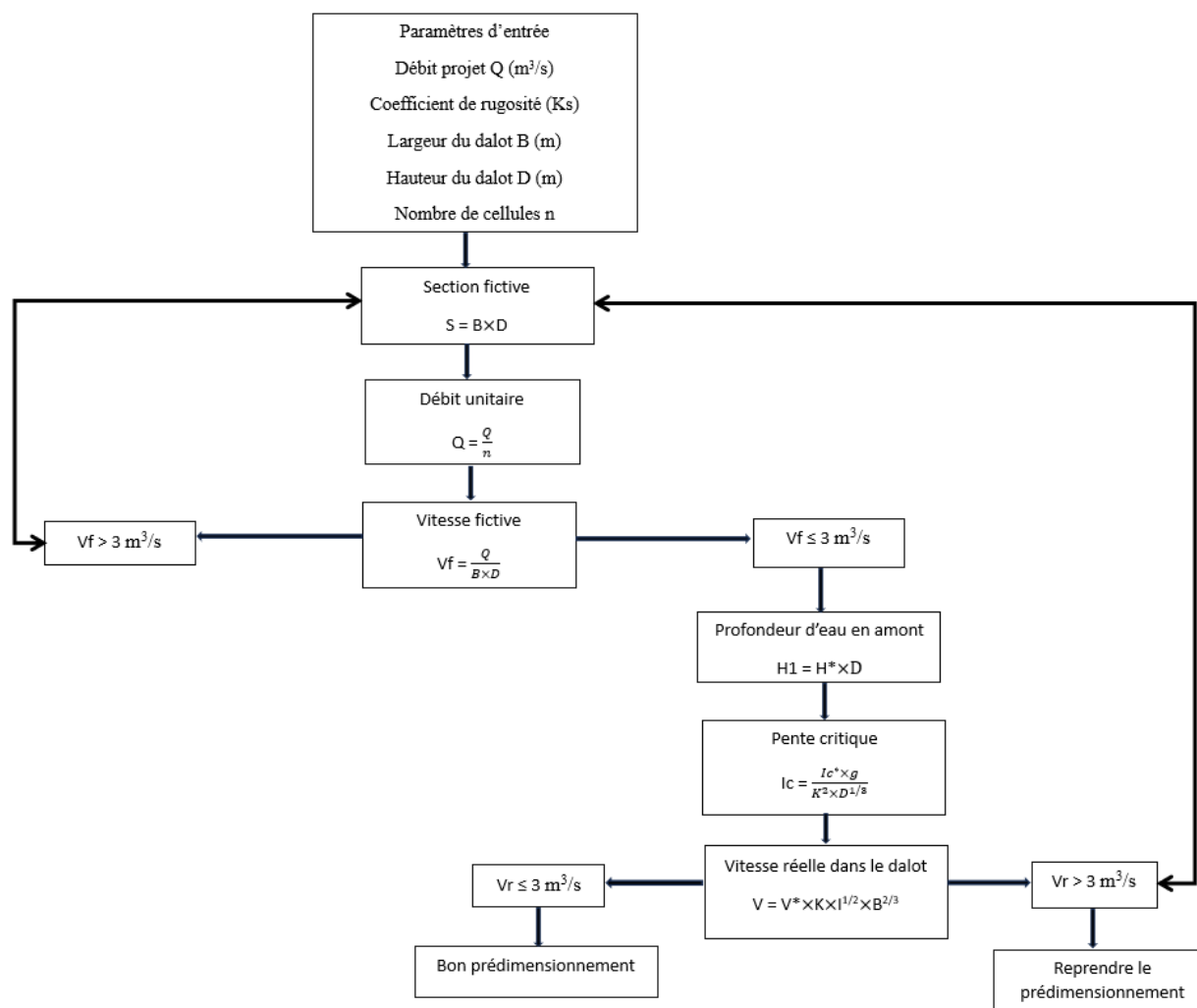


Figure III- 2 : Méthodologie du calcul hydraulique des dalots

III.2.2. Ouvrages longitudinaux

Etant donné que nous sommes en agglomération, il s'agira de déterminer la section des caniveaux capable de drainer les eaux provenant de la chaussée et des concessions. Avec les différents débits évalués, nous allons déterminer les différents paramètres des caniveaux, supposés en section économique (hydrauliquement favorable) et l'écoulement se fera en surface libre. Ceci dans le but de minimiser simultanément la surface mouillée et le périmètre mouillé. Les calculs hydrauliques ont été réalisés grâce à la méthode de la débitance basée sur la formule de Manning Strickler.[13] Nous avons opté pour des formes carrées ou rectangulaires car ce sont les plus courantes et les plus simples à concevoir et à mettre en place et le matériau sera en béton armé, pour une meilleure résistance et pour faciliter l'écoulement.

La formule de Manning Strickler est donnée par la formule suivante :

$$Q_p = K_s \times S \times R_H^{2/3} \times I^{1/2} [13]$$

- ✓ la surface mouillée, représente la section occupée par l'eau dans le plan perpendiculaire à la direction de l'eau : $S = by$ en m^2 ;
- ✓ le périmètre mouillé, désigne la longueur de la ligne de contact entre l'eau et les parois dans le plan perpendiculaire à la direction de l'eau : $P = b + 2y$ en m ;
- ✓ le rayon hydraulique, proportionnelle à la surface mouillée sur le périmètre mouillé : $R_h = S/P$ en m ;
- ✓ la pente longitudinale du fond, prise égale à 1% soit 0,01
- ✓ le coefficient de rugosité, dépendant du type de revêtement (67 pour caniveau en béton).

Ainsi nous fixons la largeur B et nous faisons varier le tirant d'eau de telle sorte à obtenir le coefficient K sensiblement égal à 0 : $K = D - Q/I^{1/2}$.

- ✓ la débitance D est égale à : $D = K_s \cdot S \cdot R^{2/3} = Q/I^{1/2}$
- ✓ la revanche r est fixée à 0,15m
- ✓ la vitesse d'écoulement calculée, qui représente le rapport entre le débit et la section adoptée, doit être inférieure ou égale à la vitesse admissible qui est prise égale à 3 m/s
- ✓ le nombre de Froude, permet de déterminer le type d'écoulement $Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot y \cdot m}}$
- ✓ le fruit de berge m qui est égale à 0, car les caniveaux sont de forme rectangulaire. On obtient trois types de section de caniveaux : (100 x 100 m^2 , 120 x 120 m^2 et 140 x 140 m^2).

III.3. Etudes structurales des ouvrages hydrauliques

L'objectif de cette partie est de présenter les plans d'exécution des ouvrages hydrauliques sous la base d'évaluation des sollicitations et la détermination des sections d'armatures théoriques.

III.3.1. Normes et règlements de calcul

Les calculs et les justifications se feront suivant les recommandations et prescriptions des documents suivants :

- ✓ guide de conception des ponts-cadre et portique (SETRA)[14] ;
- ✓ fascicule 62 (titre V), Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie civil ;
- ✓ fascicule n° 61 (Titre II), Conception, Calcul et épreuves des ouvrages d'art[15] ;
- ✓ BAEL 91 modifié en 99[16].

III.3.2. Hypothèses de calcul

Elles se feront essentiellement sur le béton, l'acier et le sol support.

III.3.2.1. Béton

Nous prendrons en compte quelques aspects de durabilité, afin d'assurer la pérennisation de l'ouvrage dans le temps. Ainsi, on a :

- ✓ le choix de la classe du béton et la détermination de sa formulation

La classe d'exposition de l'ouvrage dépend essentiellement de l'environnement immédiat de celui-ci, ainsi que de son utilisation au cours de sa durée de vie. Elle sera déterminée d'après le tableau III-9.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Tableau III- 9 : Classe d'exposition en fonction des caractéristiques de l'environnement

Classe d'exposition		Caractéristiques de l'environnement
Pas de risque d'attaque ni de corrosion	X0	Très sec, taux d'humidité très faible
Carbonatation provoquant la corrosion du béton	XC1	Toujours sec ou humide
	XC2	Plus souvent humide, quelque fois sec
	XC3	Modérément humide
	XC4	Alternativement humide ou sec
Exposition au gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage	XF1	Faible exposition au gel sans agents antigel
	XF2	Faible exposition au gel avec agents antigel
	XF3	Forte exposition au gel sans agents antigel
	XF4	Forte exposition au gel avec agents antigel

Notre ouvrage étant donc dans un environnement alternativement humide ou sec, nous avons donc une classe d'exposition **XC4**.

A partir de cette classe d'exposition, nous pouvons déduire celle du béton et d'autres paramètres d'après le tableau III-10.

Tableau III- 10 : Classe du béton en fonction de la classe d'exposition

	X0	XC1/XC2	XF1, XC3, XC4, XD1	XF2	XF3	XF4
Eeff/liant éq, maxi	-	0,65	0,6	0,55	0,55	0,45
Résistance mini	-	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Liant éq, mini	150	260	280	300	315	340
Air mini	-	-	-	4	4	4
Additions maxi	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Nature ciment	-	-	-	-	-	-

✓ Enrobage (selon LEO)

Il est obtenu à partir de la formule suivante :

$$X(t) = \gamma \times f(HR) \times k \times \sqrt{t} \quad \text{et} \quad f(HR) = -3.5833 HR^2 + 3.4833 HR + 0.2 = 0,75$$

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Avec $X(t)$: la profondeur de carbonatation ou encore l'enrobage min (cm) ; t : la durée de vie (an) ; γ : le coefficient d'exposition à la carbonatation ($\gamma = 0.9$ dans notre projet car structures partiellement exposées à la pluie). HR : humidité relative de la zone concernée (HR = 77.5 %), suivant une approximation faite à partir de la figure III-3.[17]

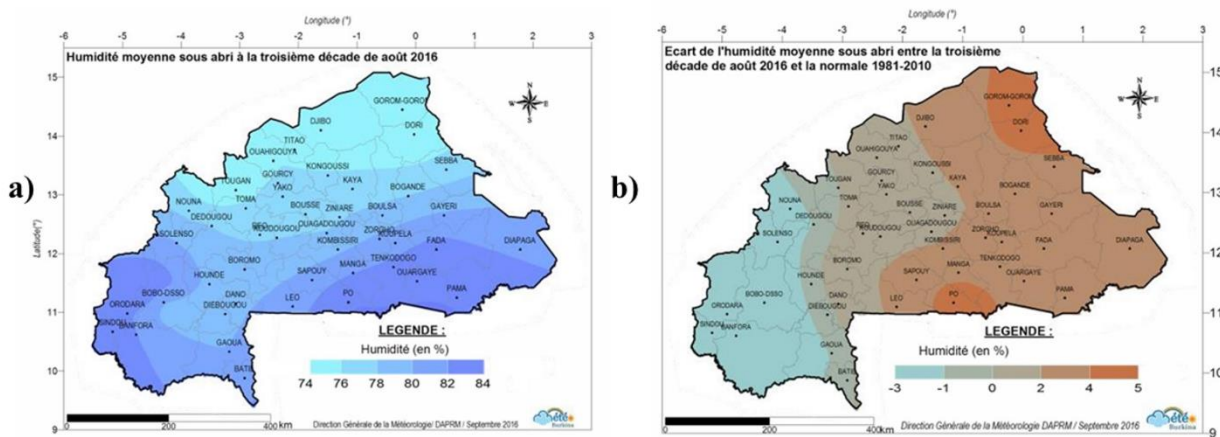


Figure III- 3 : Evolution de l'humidité relative moyenne à la troisième décennie d'août 2016 (a), Ecart de l'humidité moyenne entre la troisième décennie d'août 2016 et la moyenne entre 1981 et 2010 (b)

$$k = \sqrt{365} \left(\frac{1}{2,1\sqrt{Rc28}} - 0,6 \right) = 0,67 \text{ car } Rc28 = 25 \text{ MPa}$$

Ainsi, $X(t) = 2,55$ cm pour $Rc28 = 25$ MPa correspondant à une durée de vie de 30 ans. Nous retiendrons donc un enrobage de $X(t) = 3$ cm.

✓ Les caractéristiques mécaniques telles que :

- la résistance caractéristique à la compression à 28 jours : $fc28 = 2\,500 \text{ t/m}^2$;
- la résistance caractéristique à la traction à 28 jours : $ft28 = 210 \text{ t/m}^2$;
- le module d'élasticité instantanée : $Ei = 11000 \times fc28^{1/3}$;
- le module d'élasticité différée : $Ev = Ei/3$;
- le diamètre du plus gros des granulats est de 25 mm ;
- le coefficient de sécurité $\gamma_b = 1,5$;
- la contrainte admissible à l'ELS $\sigma_{bc} = 0,6 fc28 = 15 \text{ MPa}$.

III.3.2.2. Acier

- Type : HA (Haute Adhérence) ; Nuance : FeE400 ;
- Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$; Coefficient d'adhérence $\eta = 1,6$;

- Contrainte limite des aciers à l'ELS : $\bar{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max \left(\frac{1}{2} F_e; 110 \sqrt{\eta F t_j} \right) \right\} = 201,63$ MPa.

III.3.2.3. Sol support

Le sol constitué de sable dense, nous supposons un module pseudo-élastique $\varepsilon_{sol} = 150$ MPa.

- Poids volumique du remblai : $\gamma = 20$ kN/m³ ;
- La contrainte admissible du sol est supposée égale à 15000 kPa, cas défavorable pour le sol de fondation ;
- Coefficient de poussée de terre au repos (K_a) = $t g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{32}{2} \right) = 0,33$.

III.3.3. Ouvrages transversaux

Ce sont des structures disposées perpendiculairement à l'axe de la voie. Dans notre étude, il s'agira des Dalots. Nous ferons un calcul manuel du plus grand dalot (Dalot 3×250×150) selon les recommandations et prescriptions en vigueur, par la suite nous utiliserons le logiciel CYPE pour vérifier les résultats et avoir une bonne précision.

III.3.3.1. Prédimensionnement

Les épaisseurs du tablier (e_1) et celui du radier (e_2) sont déterminée grâce à la formule suivante :

$$e_1 = e_2 = \frac{L}{32} + 0,125 [15]$$

L : longueur d'une cellule. Après calcul nous obtenons une épaisseur de 30 cm. Nous allons maintenir cette valeur pour les piédroits.

III.3.3.2. Paramètres de dimensionnement

Avant tout calcul, il est important de définir la classe de notre ouvrage choisie en fonction de sa largeur roulable. Bien que notre projet soit défini en une 2 x 2 voies, il est impossible pour nous de charger les deux voies simultanément. Ainsi une seule voie sera considérée pour le chargement. On a alors :

- ✓ largeur roulable et largeur chargeable : La largeur roulable (L_r) représente la distance entre les dispositifs de retenus ou bordures. Dans notre projet $L_r = 7$ m. Et la largeur chargeable (L_c) est la différence entre la largeur roulable et une bande de 0,5m le long de chaque dispositif de retenus. Le cas échéant, les deux largeurs sont égales. Ainsi pour notre projet $L_r = L_c = 7$ m.
- ✓ la classe de l'ouvrage

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

On distingue trois (03) types de pont en fonction de la largeur roulable. Ainsi nous les avons classifiés dans le tableau III-11

Tableau III- 11 : Classe de l'ouvrage en fonction de la largeur roulable

Classe	Largeur roulable Lr (m)
I	$\geq 7\text{m}$
II	$5,5\text{m} < Lr < 7\text{m}$
III	$\leq 5,5\text{m}$

Etant donné que la largeur roulable est égale à 7m et elle se trouve dans l'intervalle $Lr \geq 7\text{m}$, notre ouvrage est de classe I.

III.3.3.3. Evaluation des charges sur l'ouvrage

Les différentes charges appliquées sur l'ouvrage sont présentées sur la figure III-4. Ainsi nous avons :

- ✓ les charges permanentes

Ce sont des charges fixes qui s'exercent en permanence sur la structure durant toute sa durée de vie. On distingue dans notre cas : **la charge permanente du tablier P1** (Poids propre du tablier PT, Poids du remblai au-dessus du tablier Pr, Poids du revêtement au-dessus du remblai PR, et le Poids propre des guides roues Pg), **la charge permanente des poussées latérales sur les piédroits P3 et P4** (Poussée latérale P3 à Z1, Poussée latérale P4 à Z2, Surcharge du remblai Pq) et enfin **la charge permanente du radier P2** (poids propre des piédroits, poids propre du radier, et la charges permanentes du tablier). On obtient les résultats présentés dans le tableau III-12. Le détail des calculs est présenté en **annexe 4**.

Figure III- 4 : Différentes charges appliquées sur le dalot

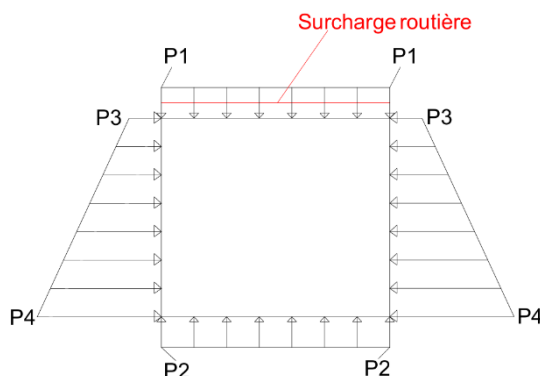


Tableau III- 12 : Résultats des charges permanentes sur le Dalot

I- Charge permanente du tablier P1 (kN/m²)	
Poids propre du tablier PT (kN/m²)	7,5
Poids du remblai au-dessus du tablier Pr (kN/m²)	12,2
Poids du revêtement au-dessus du remblai PR (kN/m²)	1,68
Poids propre des guides roues (kN/m²)	40
P1 (kN/m²)	61,38
II- Charge permanente des poussées latérales sur les piédroits Gterres (kN/m²)	
Poussée latérale P3 sur Z1	6,006
Poussée latérale P4 sur Z2	13,926
Surcharge du remblai Pq	3,96
Gterres (kN/m²)	19,932
III- Charge permanente du radier P2 (kN/m²)	
Poids propre des piédroits	45
Poids propre du radier	7,5
Charges permanentes du tablier P1	61,38
P2 (kN/m²)	113,88

✓ Les surcharges routières

Ce sont les sollicitations variables liées à l'usage de l'ouvrage. Elles sont dues à la circulation des véhicules, des piétons, du vent, etc. Les différentes charges routières que nous allons considérons sont : le système de charge A, le système charge B (Bt, Bc, Br), les systèmes de charge Mc80, Me80 et les systèmes de charge Mc120, Me120.

- Le système de charge A

Il se compose d'une charge uniformément répartie dont la valeur dépend de la longueur L (en m) chargée. $A(L) = 2,30 + \frac{360}{L+12}$ (kN/m²). Cette valeur est ensuite multipliée par un coefficient de dégressivité transversal a_1 , obtenu à partir du tableau III-13.

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Tableau III- 13 : Valeurs du coefficient a_1 en fonction du nombre de voies chargées et de la classe de l'ouvrage

Nombre de voies chargée		1	2	3	4	≥ 5
Classe du pont	1 ^{ère} classe	1	1	0,9	0,75	0,7
	2 ^{ème} classe	1	0,9	-	-	-
	3 ^{ème} classe	0,9	0,8	-	-	-

L'ouvrage est de classe I et nous avons deux voies chargées, donc $a_1 = 1$. Pour les grandes longueur chargée, $a_1 A(L)$ est limitée par : $(4 - 0,002L)$ en kN/m^2 . De sorte que la densité de charge effective $q(L)$ soit mise sous la forme : $q(L) = \text{Sup}\{a_1 A(L) ; (4 - 0,002L)\}$ en kN/m^2 . La valeur de calcul de la surcharge A vaut alors : $Q_A = Y_q \cdot a_2 \cdot q(L)$. $Y_q = 1,2$ à l'ELS et $Y_q = 1,61$ à l'ELU. Le coefficient a_2 est défini par : $a_2 = \frac{V_0}{V}$, V étant la largeur d'une voie, qui est égal à 3,5m dans notre cas. Et $V_0 = 3,5$ (pont de première classe) ; $V_0 = 3$ (pont de deuxième classe) ; $V_0 = 2,75$ (pont de troisième classe).

Comme nous avons un ouvrage de classe I, $V_0 = 3,5$. Donc nous obtenons une valeur $a_2 = \frac{3,5}{3,5} = 1$.

- Le système de charge B

Etant composé de trois (03) sous-systèmes (Bt, Bc, et Br). Les détails de calcul des charges B sont présentés en **annexe 4**.

- Le système de charge M

On distingue quatre (04) sous-systèmes : Mc80, Me80, Mc120 et Me120. Les détails de calcul sont présentés en **annexe 4**. Ainsi après calcul, on obtient les valeurs renseignées dans le tableau III-14.

Tableau III- 14 : Résultats des différentes surcharges routière

Récapitulatif des surcharges routière				
Désignation	Tablier		Radier	
	ELS (kN/m^2)	ELU (kN/m^2)	ELS (kN/m^2)	ELU (kN/m^2)
Système A(l)	19,123	25,656	19,123	25,656
Système Bt	136,884	183,653	130,723	175,387
Système Bc	41,933	56,260	40,046	53,728
Système BcNiger	41,192	55,266	39,338	52,778
Système Mc80	72,652	97,475	70,573	94,685
Système Mc120	164,631	220,888	160,190	214,921

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Nous avons par la suite utilisé le logiciel PyBar pour modéliser le dalot et déterminer les différents moments maximums en appuis et en travées, La figure III-5 présente ces résultats.

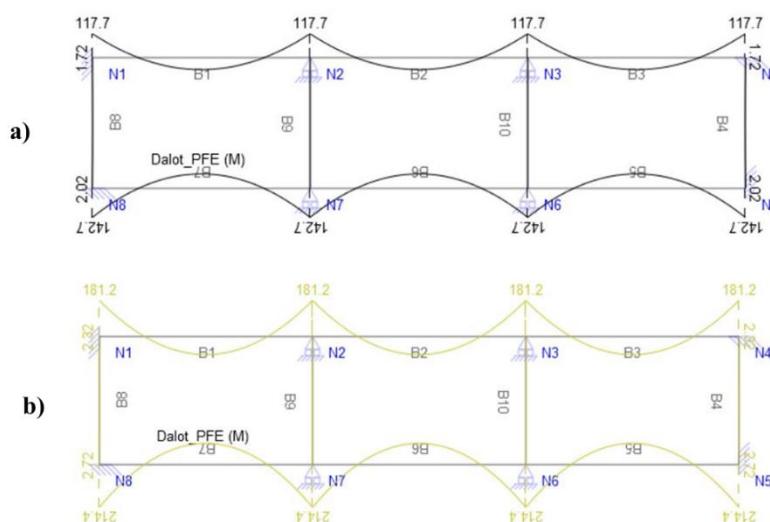


Figure III- 5 : Moments maximums en appuis et en travées à l'ELS (a) et à l'ELU (b)

Le tableau III-15 présente le récapitulatif des résultats de l'étude structural du Dalot 3×250×150. La note de calcul avec le logiciel Cype est présentée en **annexe 4**.

Tableau III- 15 : Résultats de l'étude structural du Dalot 3×250×150

Section	Corps de dalot	Sollicitations max (KN.m)		Aciers principaux			Esp (cm)		Aciers de répartition		Esp (cm)
				ELS	Ast (cm ²)	Choix /nappe			Ast (cm ²)	Choix /nappe	
Dalot de 3×250×150	Tablier	Moment fléchissant	Travée	58,8	3,80	HA10	10		2,72	HA10	15
			Appui	117,7	5,41	HA10	10		2,72	HA10	15
	Radier	Moment fléchissant	Travée	58,8	5,42	HA12	10		2,72	HA12	15
			Appui	124,7	7,55	HA12	10		2,72	HA12	15
	Piédroits	Moment fléchissant		0,931	2,72	HA10	10		2,72	HA10	15
		Effort normal		2,97							

III.3.1. Ouvrages longitudinaux

Le calcul se fera par bande de 1,00 mètre linéaire. Nous présenterons dans cette partie les différentes étapes de calcul pour le dimensionnement du plus grand caniveau (**140cm x 140cm**). Nous présenterons les différents résultats obtenus. Et le détail des calculs sera présenté en **annexe 4**.

III.3.1.1. Schéma du principe

La figure III-6 présente le schéma du principe d'un collecteur :

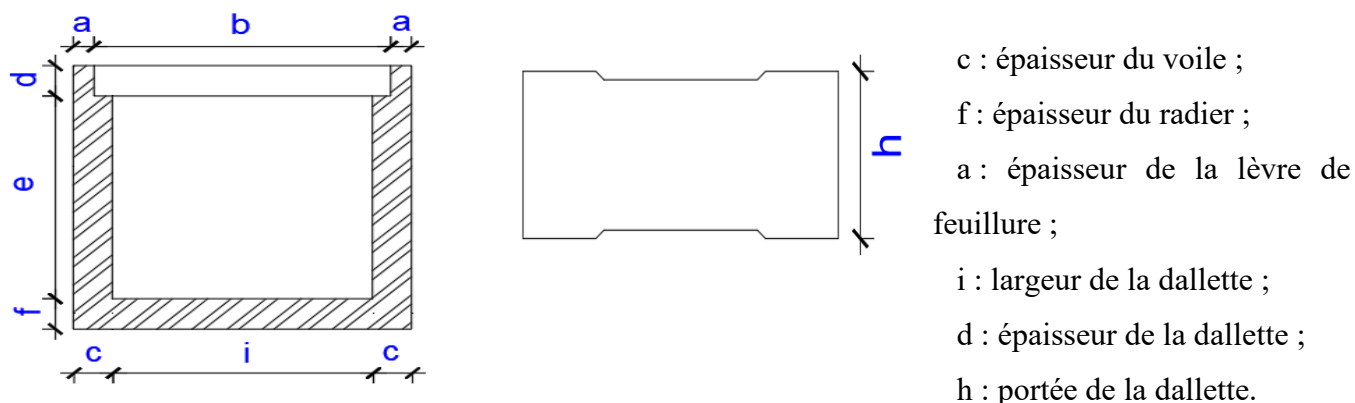


Figure III- 6 : Schéma du principe d'un caniveau de la dalle

III.3.1.2. Dimensionnement

Elle sera étudiée sous une roue isolée Bc de 60t (charge la plus défavorable).[15] Les différentes sollicitations et moments fléchissants obtenus sont présentées dans le tableau III-16.

Tableau III- 16 : Sollicitations et moments fléchissants sur la dalle

Poids propre de la dalle		Surcharge		
$G = 25 \times 0,2 \times 1,64 = 8,2 \text{ KN/ml}$		$B_c = 60 \text{ KN}$ $Q = \frac{B_c}{L} = 36,58 \text{ KN/ml}$		
Combinaison des charges				
ELU	P_u	$1,35 * G + 1,5 * Q$	65,94	kn.m
ELS	P_{ser}	$Q + G$	44,78	kn.m
Moments de flexion				
Moment à l'ELU M_u		$M_u = 3,115 \text{ t.m} = 31,15 \text{ KN.m}$		
Moment à l'ELS M_{ser}		$M_{ser} = 2,223 \text{ t.m} = 22,23 \text{ KN.m}$		

III.3.1.3. Dimensionnement des voiles

Le calcul se fera à l'ELS pour les piédroits. Les différents efforts transmis par la dalle et la poussée de terres sur le voile sont matérialisés par la figure III-6. V_{br} : L'effet des poids d'une roue sur la dalle ; R_t : Résultante des forces de poussée de terres sur la paroi. Le piédroit sera donc calculé en flexion composée.

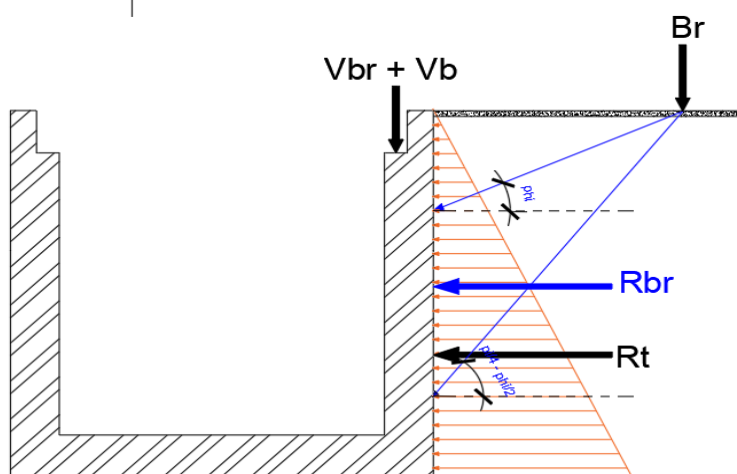


Figure III- 7 : Répartition des charges sur les voiles

Après calcul, on obtient les résultats renseignés dans le tableau III-17.

Tableau III- 17 : Sollicitations et moments fléchissants sur les voiles

Poids propre du piédroit	$P_p = 25 \times (1,4 \times 0,20 + 0,08 \times 0,2) = 5,53 \text{ kN/ml}$
Charge venant de la dalle	$P_d = 4,1 \text{ kN/ml}$
Poussée des terres	$P_t = k \times \gamma \times h^2 = 0,5 \times 0,33 \times 20 \times (1,4 + 0,2)^2 = 8,45 \text{ kN/ml}$
Effort normal dans le piédroit	
Effort normal maximal dans le piédroit: $N_{ser_{max}} = \sum P = 48,08 \text{ kN/ml}$	
Moments	
Moment maximum dû à la poussée des terres: $M = \frac{P_t \times h}{3} = 3,94 \text{ kN. m/ml}$	
Combinaison des moments	

Moment maximum à la base du piédroit: $\bar{M}_{ser} = 9,22 \text{ kN. m/ml}$

III.3.1.4. Dimensionnement du radier

R_{sol} : La réaction du sol.

Après calcul, les différentes sollicitations et moments fléchissant sont présentés dans le tableau III-18. Et les charges sur le radier sont matérialisées sur la figure III-8.

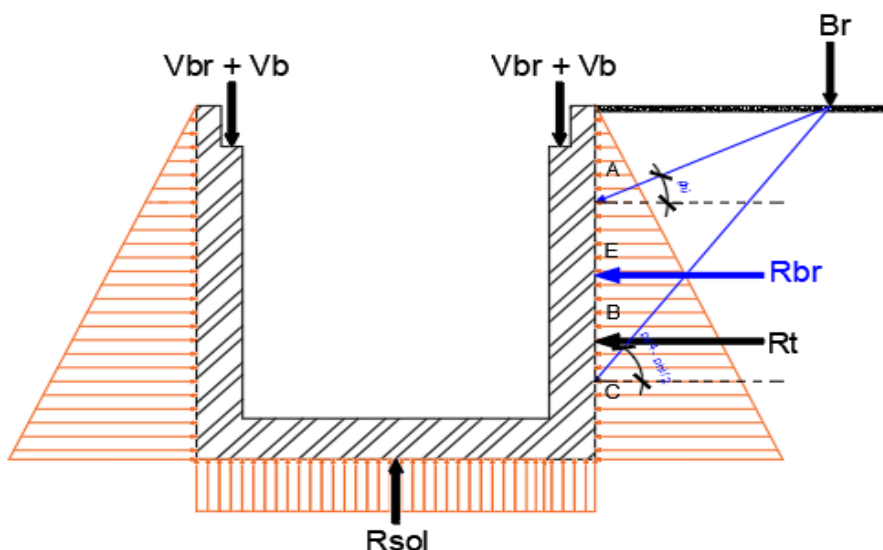


Figure III- 8 : Répartition des charges sur le radier

Tableau III- 18 : Sollicitations et moments fléchissants sur le radier

Poids propre du piédroit	$P_p = 14,8 \text{ kN/ml}$
Charge venant de la dalle	$P_d = 8,2 \text{ kN/ml}$
Poids propre du radier	$P_r = 25 \times 0,2 \times 1,4 = 7 \text{ kN/ml}$
Surcharge Bc	$B_c = 75 \text{ kN/ml}$
Poids de l'eau	$P_e = 10 \times 1,4 \times 1,4 = 19,6 \text{ kN/ml}$
Réaction du sol	$R_{sol} = \sum P = 105 \text{ kN/ml}$
Effort normal dans le radier	
Moments	
Moment maximum dû à la poussée des terres sous le radier:	$M = \frac{P_{tr}^2}{8} = 8,93 \text{ kN. m/ml}$
Combinaison des moments	
Moment maximum dans le radier:	$M_{ser} = 25,725 \text{ kN. m}$

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Le tableau III-19 présente le récapitulatif des résultats de l'étude structural du caniveau 140 cm x 140 cm.

Tableau III- 19 : Résultats de l'étude structural du caniveau 140x140

Récapitulatif des aciers du caniveau de 140x140					
Partie d'ouvrage	Dalle supérieure (dallette)		Radier		Piédroits
Caractéristiques	b = 140 cm; h = 20 cm		b = 140 cm; h = 20 cm		a = 20 cm b = 140 cm h = 140 cm
Section	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Nappe inférieure	Nappe supérieure	rive
Acier principaux	5HA10	5HA10	6HA10	6HA10	6HA10
Espacement	20 cm	20 cm	15 cm	15 cm	15 cm
Acier de répartition	5HA8	5HA8	5HA8	5HA8	5HA8
Espacement	16 cm	16 cm	20 cm	20 cm	20 cm

Conclusion partielle

L'objectif de ce chapitre est l'édition des plans d'exécution des ouvrages hydrauliques sur la base d'évaluation des sollicitations et détermination des sections d'armatures théoriques.

- ✓ Dans un premier temps, nous avons fait une étude hydrologique qui nous a permis de caractériser les régimes des eaux à travers l'analyse des données pluviométriques et des débits observés. Cette analyse a abouti à la détermination des débits caractéristiques nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages, notamment les débits de pointe pour différentes périodes de retour (10 ans pour les ouvrages transversaux et 05 ans pour les ouvrages longitudinaux). Ces résultats ont constitué une base essentielle pour les étapes suivantes.
- ✓ L'étude hydraulique a ensuite permis d'évaluer le comportement des écoulements au droit des ouvrages. À travers des calculs adaptés (méthode des sections, méthode de débitance), les conditions d'écoulement ont été analysées afin de vérifier la capacité des ouvrages à évacuer les crues sans engendrer de risques de surverse ou d'érosion. Les résultats ont mis en évidence 5 types d'ouvrages transversaux et 03 types de sections de caniveaux sur notre tronçon.

***Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.***

- ✓ Enfin, l'étude structurale s'est focalisée sur la stabilité et la résistance des ouvrages. Les analyses menées, basées sur les contraintes mécaniques et les sollicitations identifiées, ont permis de valider les choix de conception en termes de matériaux, et les sections d'armatures théoriques.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons les aspects liés à la signalisation routière, à la sécurité routière et à l'éclairage public.

Chapitre IV. SIGNALISATION, SECURITE ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC

La signalisation routière est l'information véhiculée ou l'ensemble des dispositifs mis en place pendant les travaux (pour garantir la sécurité des travailleurs) et après les travaux (pour garantir la sécurité des usagers lors de l'exploitation). Elle permet donc d'informer, de prévenir de diriger et réguler les comportements des conducteurs et des piétons.

IV.1. La signalisation temporaire

Comme son nom l'indique, elle est mise en place de manière provisoire, principalement à l'occasion des travaux, d'événements ponctuels ou de situations d'urgence (accident, inondation, déviation...). Dans le cadre de notre projet, nous utiliserons les signalisations suivantes :

- ✓ début ou fin de chantier ;
- ✓ limitation de vitesse à 30km/h dans une zone de travaux ;
- ✓ flèche de déviation pour contournement de chantier ;
- ✓ panneau de route barrée, chaussée rétrécie, sortie camions ;
- ✓ réduction du nombre de voies ;
- ✓ marquage jaune temporaire pour guider la circulation.

IV.2. La signalisation définitive

Elle est installée de façon permanente et durable pour organiser la circulation en continu sur le réseau routier. On distingue deux grands types de signalisation définitive :

- ✓ une signalisation verticale (panneaux de danger, de priorité, de prescription),
- ✓ une signalisation horizontale (marquages au sol directionnels, passages piétons et cyclables).

IV.2.1. La signalisation verticale

Matérialisée par des panneaux et classée par catégorie selon divers objectifs. Particulièrement dans notre projet, on retrouve :

- ✓ Panneaux de danger : **A** – triangulaires ;
- ✓ Panneaux de prescription : **B** – Circulaires ou carrés ;
- ✓ Panneaux d'intersection : **AB** – Triangulaires, carrés ou orthogonaux.

Ils seront placés à des endroits où la visibilité est de bonne qualité, pour permettre aux usagers une perception claire la nuit. Des dispositifs ou matériaux rétroréfléchissants seront placés pour garder le même aspect en journée. Les différents panneaux utilisés pour notre projet seront présentés **en annexe 5**.

IV.2.2. La signalisation horizontale

Matérialisée par des bandes blanches continues ou discontinues, la signalisation horizontale a pour rôle d'assurer le guidage des automobilistes. Selon les réglementations internationales, on distingue :

- ✓ les lignes longitudinales : continues infranchissables, discontinues axiales ou de délimitation des voies, discontinues d'annonce d'une ligne continue ou de dissuasion, discontinue de bord de chaussée ;
- ✓ les lignes transversales continues (STOP) ou discontinues (céder le passage) ;
- ✓ les autres marquages spéciaux : pour le stationnement et autres périmètres protégés, pour passage de piétons, flèches de rabattement ou hachures.

La largeur des lignes est définie par le paramètre "u", et dépend du type route. Dans notre cas, comme il ne s'agit pas d'une autoroute ou d'une route à grande circulation, nous aurons une largeur de ligne $u = 5$ cm. Les différentes catégories de lignes prévues sont :

- ✓ la ligne de délimitation de voie en agglomération ou ligne de type T'1 : trait plein de largeur "2u", et de longueur 1,5 m. l'intervalle entre deux traits est de 5 m. Elle est située au niveau de l'axe et sépare la chaussée en deux ;
- ✓ la ligne de rive simple ou la ligne de type T2 : trait plein de largeur "3u", et de longueur 3 m. l'intervalle entre deux traits est de 3,5 m. Elle est située de part et d'autre de la route et sépare la chaussée de l'accotement ;
- ✓ la ligne d'annonce d'une ligne continue ou ligne de type T3 : trait plein de largeur "2u", et de longueur 3 m. l'intervalle entre deux traits est de 1,33 m. Elle est située au niveau de l'axe et sépare la chaussée en deux voies ;
- ✓ la ligne continue : ligne située au niveau de la partie centrale, se trouvant à des endroits dangereux comme les virages. Les différents marquages horizontaux utilisés pour notre projet sont présentés **en annexe 5**.

IV.3. La sécurité routière

Il s'agira de concevoir des aménagements adaptés pour prévenir autant que possible les accidents. Il sera donc essentiel de respecter certaines exigences telles que : la visibilité, la cohérence de tous les éléments de la route et de l'environnement, diminution de la gravité des collisions. Les différents dispositifs de sécurité utilisés pour ce projet sont : **les balises ; les garde-corps ; les glissières de sécurité et les ralentisseurs**. Par ailleurs, un éclairage public adapté sera mis en place pour assurer une visibilité suffisante en période nocturne, renforcé par des équipements de sécurité passive tels que des ralentisseurs, glissières de sécurité, balises de guidage et dispositifs réfléchissants.

IV.4. L'éclairage public

Il vise à garantir une circulation nocturne sûre et confortable. Il doit permettre aux usagers de distinguer clairement les obstacles, bordures, intersections et véhicules sans dépendre uniquement de leurs phares. Ainsi, des travaux seront entrepris tels que :

- ✓ la création d'un mini réseau à Moyenne tension (MT) ;
- ✓ l'installation de postes de transformation MT/BT raccordés au réseau SONABEL ;
- ✓ la pose des candélabres et de luminaires ;
- ✓ l'installation des feux tricolores.

L'éclairage des voies sera garanti par des consoles équipées de lanternes à lampes à vapeurs de sodium haute pression, montée sur des candélabres simples ou doubles. Un coffret d'éclairage normalisé sera installé pour assurer leur gestion.

Le luminaire choisi (lampe ballon et SBP) combine une longue durée de vie (8 000 à 12 000 heures pour 4 h d'allumage) et un coût réduit. Les candélabres mesureront environ 10 m de hauteur avec un espacement de 50 m en fonction de la largeur de notre voie. La luminance visée est d'au moins 2 cd/m² pour les zones urbaines à fort trafic. L'éclairage public joue également un rôle crucial en renforçant la visibilité nocturne, assurant ainsi la sécurité des conducteurs et des riverains.

IV.5. Autres équipements

On retrouve également des bordures, utilisée pour séparer la chaussée ou délimiter des espaces. Sur notre tronçon, des bordures de type CS2+T2 sont placées pour séparer la piste cyclable du trottoir. Tandis que, des bordures de type GSS2 délimitent le terre-plein central.

Conclusion partielle

L'objectif de ce chapitre était de présenter l'ensemble des solutions cohérentes et adaptées en matière de signalisation, de sécurité et d'éclairage.

- ✓ L'étude de la **signalisation routière** a permis d'identifier les besoins en dispositifs de signalisation horizontale (marquages au sol) et verticale (panneaux), en se basant sur la configuration géométrique de la voie, le volume de trafic et les normes en vigueur.
- ✓ Concernant la **sécurité routière**, une analyse des risques a été menée afin d'identifier les zones potentiellement dangereuses. L'étude a intégré des paramètres tels que la visibilité, la vitesse, le type d'usagers (véhicules légers, poids lourds, piétons) et la configuration des lieux.
- ✓ Enfin, l'étude relative à l'**éclairage public** s'est attachée à définir un système d'éclairage efficace, économe en énergie et conforme aux exigences de sécurité. L'implantation des points lumineux a été étudiée de manière à assurer une couverture homogène des zones critiques (carrefours, passages piétons, accotements), tout en limitant les nuisances lumineuses.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons les aspects liés à l'évaluation environnementale et sociale, et une estimation financière du projet.

Chapitre V. APERÇU D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET EVALUATION FINANCIERE

V.1. Aperçu d'impact environnemental et social

Dans le cadre de notre projet, il est essentiel d'examiner les impacts environnementaux et sociaux liés à sa mise en œuvre. Ce chapitre vise à identifier les effets potentiels du projet sur l'environnement naturel et humain, à évaluer leur ampleur, et à proposer des mesures d'atténuation appropriées, afin d'assurer un aménagement durable, respectueux des écosystèmes et bénéfique pour les populations locales.

V.1.1. Contexte et justification de l'étude d'impact environnemental et social

La route nationale (RN4) représente un axe stratégique du réseau routier du Burkina Faso, reliant Ouagadougou aux différentes régions de l'Est. Le tronçon qui fait l'objet de notre étude connaît une forte congestion particulièrement aux heures de pointe, à cause de la forte croissance des activités économiques, scolaires et universitaires dans la zone. L'université Thomas Sankara implantée dans la zone, ainsi que des nouveaux lotissements dans les périphéries (Gampela, Saaba, etc.), ont fortement augmenté la demande en mobilité. Par conséquent, avec le mauvais état actuel de certaine section entrave le trafic et augmente le temps de déplacement et entraîne de nombreux accidents.

Le projet est donc justifié par la nécessité de moderniser cette infrastructure afin d'augmenter la capacité, améliorer la sécurité et l'intégration urbaine.

Faisant référence au Décret n°2015-1187 / PRES-TRANS / PM / MERH / MATD / MME / MS / MARHASA / MRA / MICA / MHU / MIDT / MCT[19] portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social, on note une classification des projets et programmes en trois (03) catégories :

- ✓ catégorie A : activités soumises à une Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) ;
- ✓ catégorie B : activités soumises à une Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES) ;
- ✓ catégorie C : activités faisant objet de Prescriptions Environnementales et Sociales (PES).

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

En faisant référence à l'annexe I (secteur d'activité de travaux publics) de ce Décret, les travaux sont de catégorie A, donc soumis à réalisation préalable d'une Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES). Dans le cadre de notre présent mémoire, nous ferons juste un streaming environnemental ou évaluation environnemental et social.

V.1.2. Cadre politique, juridique et institutionnel

Il repose sur une série de textes législatifs, réglementaires et d'engagement internationaux. La description de chaque élément est présentée dans le tableau V-1.

Tableau V- 1 : Cadre politique, juridique et institutionnel

Éléments	Description
Politique	Alignement avec le Plan National de Développement Économique et Social (PNDES) et le Programme d'Urgence du Sahel (PUS)
Juridique	Respect du Code de l'environnement (Loi N°006-2013/AN), de la loi sur l'expropriation pour cause d'utilité publique, et des textes sur les études d'impact environnemental
Institutionnel	Maîtrise d'ouvrage : Ministère des Infrastructures. Suivi : Direction Générale des Infrastructures Routières (DGIR). Appui technique : Bureau de contrôle (AGIEM Conseil)

V.1.3. Zone d'influence du projet

On distingue deux (02) principales zones :

- ✓ zone directe : axe de la RN4 du PK 0+00 au PK 8+00 ;
- ✓ zone indirecte : quartiers périphériques tels que Dassasgho, Saaba, Nioko 1, Wayalghin, Borogo, et les installations de l'Université Thomas Sankara.

V.1.4. Etat initial de la zone

Le tableau V-2 présente les différentes composantes de notre tronçon avec description.

Tableau V- 2 : Composantes et description de l'état initial de notre zone

Composante	Description
Réseau routier	Route bitumée à 2 voies étroites, état dégradé, trafic dense
Environnement urbain	Densification résidentielle rapide, expansion urbaine, activités commerciales
Risques	Accidents fréquents, insécurité pour les piétons, dégradations de chaussée
Écologie	Absence d'espaces écologiquement sensibles majeurs, mais pression anthropique élevée

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

V.1.5. Impacts potentiels du projet

Le tableau V-3 présente les différents impacts potentiels du projet.

Tableau V- 3 : Impacts potentiels du projet

Type d'impact	Nature	Phase	Intensité	Durée
Émissions de poussières	Négatif	Construction	Moyenne	Temporaire
Bruit	Négatif	Construction	Élevée	Temporaire
Déplacement de populations	Négatif	Préparation	Moyenne	Définitive
Création d'emplois	Positif	Construction/Exploitation	Moyenne	Temporaire
Accès et fluidité	Positif	Exploitation	Élevée	Durable

V.1.6. Analyse des risques environnementaux et sociaux

Il s'agira d'identifier les principaux risques susceptibles d'affecter les écosystèmes, la qualité de vie des populations riveraines et la dynamique socio-économique locale, tout au long du cycle de vie du projet. On peut avoir :

- ✓ les risques environnementaux : pollution de l'air et des eaux, dégradation des sols, perturbation temporaire de la biodiversité urbaine.
- ✓ les risques sociaux : expropriations, interruption temporaire d'accès à certains services, accidents potentiels liés au chantier.

V.1.7. Mesures d'atténuation et de bonification

Le tableau V-3 présente les différentes mesures d'atténuation et de bonification.

Tableau V- 4 : Mesures d'atténuation et de bonification

Impact	Mesures proposées
Pollution de l'air	Arrosage régulier, bâchage des camions
Bruit	Limitation des travaux nocturnes, barrières acoustiques temporaires
Déplacement	Compensation équitable, Plan de Réinstallation
Accès amélioré	Aménagement de passerelles piétonnes, signalisation adaptée
Sécurité	Sensibilisation, feux tricolores et éclairage

V.1.8. Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES)

Les différentes Composantes du PGES sont les suivantes :

- ✓ mesures d'atténuation (cf. tableau V-4) ;
- ✓ plan de surveillance (fréquence : mensuelle, acteurs : DGIR, ONEDD) ;
- ✓ indicateurs : nombre de plaintes, qualité de l'air, taux d'accidents ;
- ✓ responsabilités : Maître d'ouvrage, entreprise, commune.

V.1.9. Plan de réinstallation (PSR)

Il se fera sur la base de :

- ✓ l'identification des personnes affectées : vendeurs ambulants, ménages installés en bordure.
- ✓ la compensation : selon les normes nationales et la Banque Mondiale (si cofinancement).
- ✓ le mécanisme de recours : cellule locale d'écoute et d'intermédiation sociale.

V.1.10. Participation et consultation publique

Elles sont essentiellement :

- ✓ méthodologie : Assemblées générales de quartiers, entretiens avec les leaders communautaires et les riverains.
- ✓ thèmes abordés : expropriations, sécurité, nuisances sonores.
- ✓ retour des populations : forte adhésion au projet, mais demande de transparence sur les indemnisations.

V.2. Evaluation financière

Dans le cadre de l'étude technique d'un projet routier, l'évaluation du coût prévisionnel de réalisation constitue une étape déterminante pour l'analyse de sa viabilité économique. Cette estimation débute par l'élaboration d'un métré quantitatif détaillé, visant à recenser l'ensemble des volumes et unités d'ouvrages à exécuter, préalable indispensable à l'établissement du devis estimatif.

V.2.1. Avant-métré

Il est essentiel pour quantifier de manière préliminaire l'ensemble des travaux nécessaires à la réalisation de l'infrastructure. Il consiste à déterminer, à partir des plans d'exécution et des études techniques, les quantités approximatives des différents éléments d'ouvrages (terrassements, chaussées, ouvrages d'art, assainissement, signalisation, etc.), dans le but de préparer les phases suivantes de planification et de chiffrage. Le détail est présenté en **annexe 6**.

V.2.2. Devis estimatif

Il constitue le résultat d'une évaluation économique fondée sur les quantités issues du métré. Il est élaboré en multipliant les quantités unitaires de chaque poste d'ouvrage par les prix

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

unitaires de référence, extraits du bordereau des prix applicable au projet. Cette méthode permet de déterminer les coûts partiels par catégorie de travaux afin d'obtenir le coût global prévisionnel de l'infrastructure.

Pour ce faire, nous avons établis les prix unitaires sur la base de la mercuriale des prix unitaires de la ville de Ouagadougou, édition 2025, en retenant les valeurs moyennes afin de refléter au mieux les conditions économiques locales. Le tableau V-5 présente la synthèse des prix globaux. Le détail est présenté en **annexe 6**.

Tableau V- 5 : Devis estimatif

N°	Désignation	MONTANT (FCFA)	% du total TTC
000	Installation générale du chantier	258,199,819	1,76
100	Travaux préparatoires	411,788,961	2,80
200	Travaux préliminaire- terrassement généraux	789,589,500	5,38
300	Chaussée & revêtement	8,970,248,613	61,09
400	Assainissement et drainage	1,445,775,679	9,84
500	Signalisation et sécurité	229,032,932	1,56
600	Application des mesures d'atténuation proposées	26,281,000	0,18
Montant total HTVA		12,130,916,503	-
TVA (18%)		2,183,564,971	14,88
Imprévus (3%)		363,927,495	2,48
Montant total TTC		14,678,408,968	100

Nous avons donc pu désigner sept (07) différents postes budgétaires, à savoir : le poste consacré à l'Installation générale du chantier qui représente 1,76% du prix total TTC ; le poste lié aux travaux préparatoires qui représente 2,80% du prix TTC ; le poste des travaux préliminaire-terrassement généraux représentant 5,38% du prix TTC ; le poste chaussée & revêtement représentant 61,09% du montant TTC ; le poste assainissement et drainage qui représente 9,84% du prix TTC ; le poste signalisation et sécurité représentant 1,56% du prix TTC et enfin le poste lié à l'application des mesures d'atténuation proposées représentant 0,18% du prix TTC.

Le montant total hors TVA est estimé à douze milliards cent-trente millions neuf-cent seize milles cinq-cents trois Francs CFA (12 130 916 503 FCFA), nous avons appliqué une TVA de 18% nous donnant un montant de deux milliards cent quatre-vingt-trois millions cinq-cents

***Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.***

soixante-quatre milles neuf-cents soixante-onze Francs CFA (2 183 564 971 FCFA), des imprévus estimés à 3% qui donne un montant de trois-cents soixante-trois millions neuf-cents vingt-sept milles quatre-cents quatre-vingt-quinze Francs CFA (363 927 495 FCFA). On obtient donc un montant global du projet tout taxes comprises de quatorze milliards six-cents soixante-dix-huit millions quatre-cents huit milles neuf-cents soixante-huit Francs CFA (14 678 408 968 FCFA).

Conclusion partielle

Ce chapitre a été dédié à l'examen des implications environnementales et sociales du projet, ainsi qu'à l'évaluation financière de sa mise en œuvre.

- ✓ Pour ce qui concerne le volet environnemental, il a été élaboré selon les exigences et les recommandations de la loi N°066-2013/AN portant Code de l'environnement au Burkina Faso, qui définit le cadre légal et réglementaire encadrant la gestion environnementale des projets de développement. Comme tout projet d'infrastructure, la mise en œuvre de ce chantier engendrera des effets environnementaux et sociaux, à la fois favorables et défavorables, susceptibles d'affecter les milieux naturels ainsi que les populations riveraines. En réponse à ces enjeux, des mesures d'atténuation ont été formulées afin de réduire, compenser ou maîtriser les impacts négatifs potentiels identifiés au cours de l'analyse.
- ✓ Un devis estimatif détaillé a été élaboré, aboutissant à une évaluation financière globale du projet s'élevant à quatorze milliards six-cents soixante-dix-huit millions quatre-cents huit milles neuf-cents soixante-huit Francs CFA (14 678 408 968 FCFA). Ce montant représente le coût total prévisionnel des travaux. Par ailleurs, le coût unitaire par kilomètre a été estimé à un milliard huit-cents trente-quatre millions huit-cents un mille cent-vingt-un Franc CFA (1 834 801 121 FCFA).

Conclusion générale et recommandations

Au terme de notre étude, qui portait sur « **Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso): cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires** », dont l'objectif principal était de proposer un dossier technique d'Avant – Projet Détaillé pour les travaux d'aménagement routier et des carrefours giratoires d'une portion de la RN4, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- ✓ Sur l'aspect de la conception routière, la solution technique retenue comprend la réalisation d'une chaussée de type 2x2 voies, de catégorie R60. Celle-ci se compose de 5 cm de béton bitumineux (BB) en couche de roulement, 17 cm de grave bitume (GB) en couche de base et 22 cm de graveleux latéritique amélioré aux concassés (GLN) en couche de fondation. Par ailleurs, les carrefours giratoires, d'un rayon de 20 m, seront construits en chaussée rigide, avec 7 cm de béton bitumineux à module élevé (BBME), 20 cm de grave bitume et 20 cm de grave ciment (GC) ;
- ✓ Pour ce qui concerne les ouvrages d'assainissement, l'étude prévoit la mise en place de quatre types de dalots (1 x 250 x 150 cm², 3 x 250 x 150 cm², 1 x 350 x 150 cm² et 3 x 300 x 150 cm²) ainsi que trois types de caniveaux (100 x 100 cm², 120 x 120 cm² et 140 x 140 cm²) ;
- ✓ Enfin, le coût global du projet est estimé à quatorze milliards six cent soixante-dix-huit millions quatre cent huit mille neuf cent soixante-huit francs (**14 678 408 968 Francs CFA**, toutes taxes comprises (TTC)).

Au regard des résultats obtenus et des défis rencontrés, plusieurs recommandations peuvent être formulées pour optimiser la durabilité et l'efficacité du projet. Il serait notamment pertinent de :

- ✓ Moderniser les méthodes empiriques en intégrant des approches technologiques plus avancées ;
- ✓ Renforcer le contrôle qualité pendant la réalisation de ce projet afin d'assurer la longévité des infrastructures ;
- ✓ Faciliter l'accès aux données techniques pour les stagiaires, dans un cadre sécurisé, afin d'améliorer la transparence et la formation pratique.

***Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.***

Ces mesures contribueraient à maximiser les retombées positives du projet tout en garantissant sa pérennité.

Bibliographie

- [1] Nguyen Van Tuu (sous la supervision de BCEOM) et participation de Bernard Lemoine & Jacques Pouplard, « Hydraulique Routière ». Ministère de la Coopération et du Développement / BCEOM, Paris, 1981.
- [2] « Termes de Référence (TDR) – Projet : Renforcement/Élargissement de la Route Nationale 4 (RN 4) ». Banque africaine de développement (BAD), Burkina Faso – Projet P-Z1-DB0-182, novembre 2024.
- [3] LNBTP – Service Sols et Fondations, « ANNEXE 1 GÉOTECHNIQUE – LNBTP, rapport de synthèse études RN4 ». 2021.
- [4] DUPONT L. et al. (SETRA), « Aménagement des carrefours interurbains ». Cerema/SETRA, 1998.
- [5] Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), « Aménagement des Routes Principales ». Ministère chargé des Transports en France, 1994.
- [6] ministère de la Coopération (France), « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) ». Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics (CEBTP), 2014.
- [7] « Catalogue de structures de chaussées neuves et guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal ». AGEROUTE (Agence des Routes, Sénégal), 2015.
- [8] LCPC et SETRA, « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEE ». décembre 1994.
- [9] « MERCURIALE 2025 : BTP, Fournitures, Prestations – Ouagadougou ». Autorité de Régulation de la Commande Publique (ARCOP), Burkina Faso, 14 avril 2025.
- [10] « Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche ». Bulletin FAO Irrigation et Drainage no 54, 1996.
- [11] « Hydrologie urbaine quantitative ». weuzscribd, septembre 2001.
- [12] « Étude des pluies journalières de fréquence rare dans les pays membres du CIEH ». Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), avec Orstom, LCT CEMAGREF/ENGREF, BUNASOLS, 1984.
- [13] Alain Morel à L'Huissier, « L'assainissement des eaux pluviales en milieu urbain tropical subsaharien ». CERGRENE pour le PNUD, Abidjan, 1996.
- [14] « Ponts – cadres et portiques : Guide de conception (DT411) ». SETRA – Service d'Études Techniques de Routes et Autoroutes (Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art), 1 décembre 1992.

***Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.***

- [15] « Fascicule n° 61 – Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art. Titre II : Programmes de charges et épreuves des ponts-routes ». Ministère de l'Équipement et du Logement / Ministère de l'Économie et des Finances (France), Groupe permanent d'étude des marchés de travaux (Commission centrale des marchés), 28 décembre 1971.
- [16] sous la marque Collectif Eyrolles, « Règles BAEL 91 modifiées 99 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé selon la méthode des états-limites (Fascicule 62, Titre I du CCTG) ». Éditions Eyrolles (collection Blanche BTP), 4 mai 2000.
- [17] Banque africaine de développement, « Bulletin Agrométéorologique décadaire ». juin 2023.
- [18] « Décret n°2015-1187/PRES/TRANS/PM/MERH/MATD/MME/MS/MARA/MICA/MHU/MIDT/MCT portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social », 53, déc. 2015.

Annexes

Annexe 1 : Conception de la route et des carrefours giratoires	II
Annexe 2 : Dimensionnement structural de la route et des carrefours giratoires.....	XI
Annexe 3 : Etude hydrologique et hydraulique.....	XIV
Annexe 4 : Etudes structurale des ouvrages hydrauliques.....	XXX
Annexe 5 : Signalisation routière	XLIII
Annexe 6 : Avant-métré et Devis estimatif	XLIV
Annexe 7 : Plans d'exécution	XLIX

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Annexe 1 : Conception de la route et des carrefours giratoires

I. Paramètres du tracé en plan

Eléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	669094.030	1371233.420
D1	GIS = 71.677g	870.415			
			870.415	669879.716	1371608.013
C1	XC= 669449.355 YC= 1372510.670 R = 1000.000	8.965			
			879.380	669887.791	1371611.907
D2	GIS = 71.106g	719.015			
			1598.395	670534.015	1371927.150
C2	XC= 670095.578 YC= 1372825.912 R = 1000.000	2.729			
			1601.124	670536.466	1371928.350
D3	GIS = 70.933g	955.889			
			2557.013	671394.436	1372349.789
C3	XC= 671835.323 YC= 1371452.227 R = -1000.000	0.786			
			2557.800	671395.142	1372350.136
D4	GIS = 70.983g	493.465			
			3051.265	671838.228	1372567.350
C4	XC= 672278.410 YC= 1371669.441 R = -1000.000	0.678			
			3051.942	671838.837	1372567.648
D5	GIS = 71.026g	939.705			
			3991.648	672682.886	1372980.717
C5	XC= 672243.313 YC= 1373878.924 R = 1000.000	0.114			
			3991.762	672682.989	1372980.767
D6	GIS = 71.019g	233.223			
			4224.985	672892.460	1373083.310
LONGUEUR DE L'AXE 4224.9					

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Eléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	672892.460	1373083.310
D7	GIS = 71.019g	424.730			
			424.730	673273.933	1373270.054
C6	XC= 672834.256 YC= 1374168.210 R = 1000.000	0.020			
			424.750	673273.952	1373270.063
D8	GIS = 71.017g	1102.906			
			1527.656	674264.523	1373755.007
C7	XC= 673824.827 YC= 1374653.153 R = 1000.000	0.125			
			1527.781	674264.635	1373755.062
D9	GIS = 71.009g	750.309			
			2278.090	674938.482	1374085.054
C8	XC= 675378.290 YC= 1373186.962 R = -1000.000	0.238			
			2278.328	674938.695	1374085.158
D10	GIS = 71.024g	837.666			
			3115.994	675691.084	1374453.392

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

C9	XC= 675251.489 YC= 1375351.588 R = 1000.000	0.105			
			3116.099	675691.178	1374453.438
D11	GIS = 71.018g	658.901			
			3775.000	676282.970	1374743.150
LONGUEUR DE L'AXE 3775.0					

II. Paramètres du profil en long

PROFIL EN LONG 1

Eléments	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	286.796
D1	PENTE= -0.340 %	160.007		
			160.007	286.252
PAR1	S= 177.0020 Z= 286.2234 R = 5000.00	17.959		
			177.965	286.224
D2	PENTE= 0.019 %	167.273		
			345.239	286.256
PAR2	S= 344.2753 Z= 286.2557 R = 5000.00	6.677		
			351.916	286.262
D3	PENTE= 0.153 %	220.452		
			572.367	286.598
PAR3	S= 580.0079 Z= 286.6042 R = -5000.00	23.068		
			595.436	286.580
D4	PENTE= -0.309 %	146.729		
			742.165	286.128
PAR4	S= 726.7368 Z= 286.1515 R = -5000.00	4.258		
			746.423	286.113

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

D5	PENTE= -0.394 %	153.022		
			899.445	285.510
PAR5	S= 919.1309 Z= 285.4715 R = 5000.00	47.871		
			947.315	285.551
D6	PENTE= 0.564 %	94.155		
			1041.471	286.082
PAR6	S= 1013.2860 Z= 286.0022 R = 5000.00	20.094		
			1061.565	286.235
D7	PENTE= 0.966 %	137.675		
			1199.240	287.565
PAR7	S= 1247.5183 Z= 287.7978 R = -5000.00	9.079		
			1208.319	287.644
D8	PENTE= 0.784 %	166.949		
			1375.267	288.953
PAR8	S= 1414.4669 Z= 289.1066 R = -5000.00	22.921		
			1398.189	289.080
D9	PENTE= 0.326 %	194.227		
			1592.416	289.712
PAR9	S= 1576.1374 Z= 289.6859 R = 5000.00	17.417		
			1609.833	289.799
D10	PENTE= 0.674 %	168.660		
			1778.493	290.936
PAR10	S= 1812.1883 Z= 291.0496 R = -5000.00	6.203		
			1784.696	290.974

Eléments	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
D11	PENTE= 0.550 %	210.804		
			1995.500	292.133
PAR11	S= 1968.0081 Z= 292.0576 R = 5000.00	1.117		
			1996.616	292.139
D12	PENTE= 0.572 %	212.252		
			2208.868	293.354
PAR12	S= 2237.4766 Z= 293.4357 R = -5000.00	2.820		

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

			2211.688	293.369
D13	PENTE= 0.516 %	198.273		
			2409.961	294.392
PAR13	S= 2435.7493 Z= 294.4583 R = -5000.00	13.150		
			2423.111	294.442
D14	PENTE= 0.253 %	452.298		
			2875.409	295.586
PAR14	S= 2888.0475 Z= 295.6015 R = -5000.00	3.583		
			2878.993	295.593
D15	PENTE= 0.181 %	374.169		
			3253.161	296.271
PAR15	S= 3244.1064 Z= 296.2628 R = 5000.00	4.793		
			3257.954	296.282
D16	PENTE= 0.277 %	396.063		
			3654.017	297.379
PAR16	S= 3667.8641 Z= 297.3980 R = -5000.00	43.593		
			3697.609	297.310
D17	PENTE= -0.595 %	292.603		
			3990.212	295.569
PAR17	S= 3960.4671 Z= 295.6573 R = -5000.00	3.099		
			3993.311	295.549
D18	PENTE= -0.657 %	231.674		
			4224.985	294.028
LONGUEUR DE L'AXE 4224.985				

PROFIL EN LONG 2

Eléments	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	294.028
D1	PENTE= -0.933 %	257.101		
			257.101	291.629
PAR1	S= 303.7551 Z= 291.4110 R = 5000.00	0.739		
			257.841	291.622
D2	PENTE= -0.918 %	266.850		
			524.690	289.171

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

PAR2	S= 478.7761 Z= 289.3822 R = -5000.00	5.763		
			530.454	289.115
D3	PENTE= -1.034 %	324.215		
			854.669	285.764
PAR3	S= 906.3468 Z= 285.4971 R = 5000.00	58.279		
			912.948	285.501
D4	PENTE= 0.132 %	237.730		
			1150.678	285.815
PAR4	S= 1157.2785 Z= 285.8197 R = -5000.00	9.527		
			1160.205	285.819
D5	PENTE= -0.059 %	273.146		
			1433.350	285.659
PAR5	S= 1436.2765 Z= 285.6581 R = 5000.00	12.825		
			1446.175	285.668
D6	PENTE= 0.198 %	167.133		
			1613.308	285.999
PAR6	S= 1623.2071 Z= 286.0086 R = -5000.00	15.781		
			1629.089	286.005
D7	PENTE= -0.118 %	186.064		
			1815.153	285.786
PAR7	S= 1821.0345 Z= 285.7828 R = 5000.00	10.771		
			1825.923	285.785
D8	PENTE= 0.098 %	159.576		
			1985.499	285.941
PAR8	S= 1990.3878 Z= 285.9436 R = -5000.00	14.126		
			1999.625	285.935
D9	PENTE= -0.185 %	161.469		
			2161.094	285.637
PAR9	S= 2170.3305 Z= 285.6282 R = 5000.00	18.472		
			2179.565	285.637
D10	PENTE= 0.185 %	176.685		
			2356.250	285.963

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

PAR10	S= 2365.4851 Z= 285.9716 R = -5000.00	9.641		
			2365.892	285.972

Eléments	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
D11	PENTE= -0.008 %	182.251		
			2548.143	285.957
PAR11	S= 2547.7363 Z= 285.9568 R = -5000.00	24.441		
			2572.584	285.895
D12	PENTE= -0.497 %	125.509		
			2698.093	285.271
PAR12	S= 2673.2452 Z= 285.3331 R = -5000.00	27.507		
			2725.600	285.059
D13	PENTE= -1.047 %	265.011		
			2990.610	282.284
PAR13	S= 3042.9651 Z= 282.0100 R = 5000.00	17.722		
			3008.332	282.130
D14	PENTE= -0.693 %	180.067		
			3188.399	280.883
PAR14	S= 3223.0323 Z= 280.7627 R = 5000.00	20.289		
			3208.688	280.783
D15	PENTE= -0.287 %	147.413		
			3356.101	280.360
PAR15	S= 3370.4449 Z= 280.3398 R = 5000.00	16.863		
			3372.963	280.340

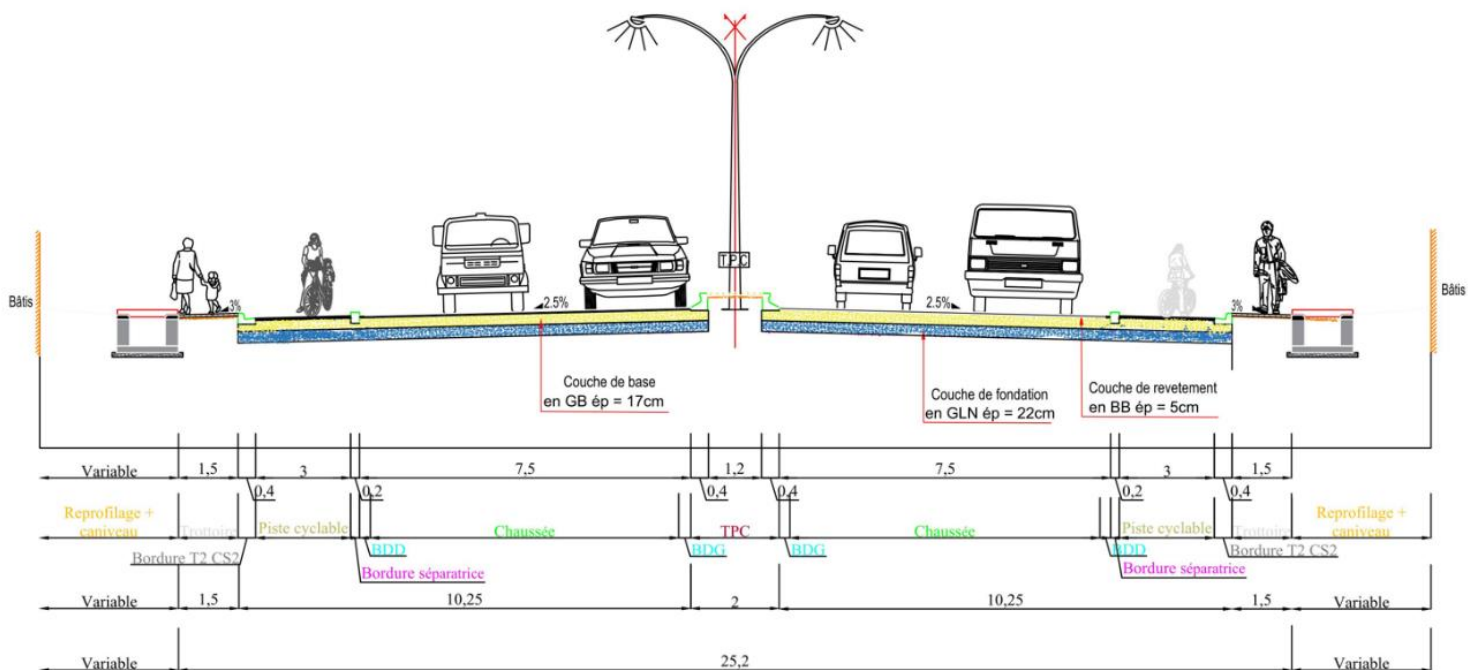
**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

D16	PENTE= 0.050 %	126.049		
			3499.012	280.404
PAR16	S= 3496.4939 Z= 280.4033 R = 5000.00	43.526		
			3542.539	280.615
D17	PENTE= 0.921 %	93.961		
			3636.500	281.481
PAR17	S= 3682.5446 Z= 281.6926 R = -5000.00	44.391		
			3680.891	281.692
D18	PENTE= 0.033 %	94.109		
			3775.000	281.723
LONGUEUR DE L'AXE 3775.000				

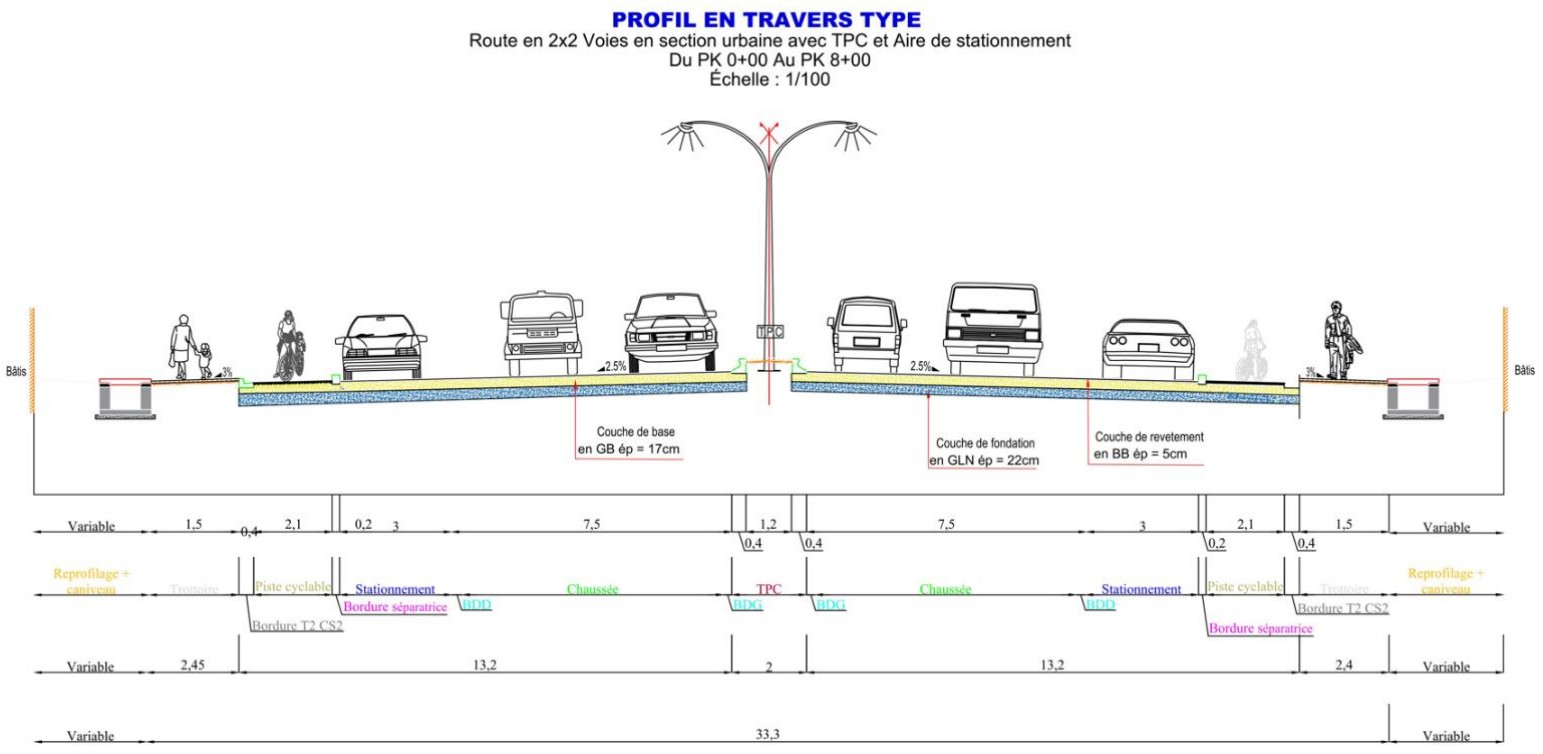
III. Profils en travers types

PROFIL EN TRAVERS TYPE

Route en 2x2 Voies en section urbaine avec TPC sans Aire de stationnement
Du PK 0+00 Au PK 8+00
Échelle : 1/100



Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.



Annexe 2 : Dimensionnement structural de la route et des carrefours giratoires

I. Estimation du trafic de dimensionnement

La formule de la croissance exponentielle à été utilisée pour le calcul du trafic. Elle s'exprime par : t_1

$$t_n = t_1(1 + i)^{n-1} \quad 365 \sum_1^n t_n \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$$

Avec : t_1 : représentant le trafic moyen journalier de la première année ; t_n : le trafic moyen journalier de l'année n ; n : nombre d'année (durée de vie) ; i : taux d'accroissement annuel du trafic ; $365 \sum_1^n t_n$: trafics cumulés pendant la durée de vie n . Ayant pris le comptage de 2021, estimer le trafic moyen journalier de l'année 2027 qui sera considéré comme étant le trafic moyen journalier à l'année de mise en service. Le tableau 1 fait un récapitulatif des calculs.

Tableau 1 : Récapitulatif des calculs du trafic cumulé pendant la durée de vie de la route

Désignation	Formule	Valeur
Trafic moyen journalier annuel en 2021 dans les 2 sens	-	1094
Taux de croissance (i)	-	6%
Durée de vie (n)	-	15
Coefficient de répartition dans un sens (Cr)		0,5
Coefficient de répartition sur la voie la plus chargée (Cr)		0,75
Trafic moyen journalier annuel en 2027 dans les 2 sens	$t1 = t0 \times (1 + i)^m - 1$	1552
Trafic moyen journalier annuel en 2027 dans 1 sens	$t2 = t1 \times 0,5$	776
Trafic moyen journalier annuel en 2027 sur la voie la plus sollicitée	$t3 = t2 \times 0,75$	582
Trafic cumulé pendant la durée de vie (Tc)	$tn = t3 \times 365 \times ((1 + i)^n - 1)/i$	$4,9445 \times 10^6$

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Nombre d'essieu	$NE = CAM \times tn$	$4,9445 \times 10^6$
-----------------	----------------------	----------------------

a. Calcul des sollicitations

✓ La déformation verticale admissible $\epsilon_{z,adm}$

Elle est calculée pour des couches en matériaux non traités et des sols. Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$\epsilon_{z,adm} = A \times (NE)^{\frac{-1}{45}} \quad \text{Avec } A = 0.016 \text{ si } NE = 250\,000 \text{ et } A = 0.012 \text{ si } NE > 250\,000$$

✎ L'allongement admissible $\epsilon_{t,adm}$

Pour des couches en matériaux bitumineux, soumise à une extension due à la déflexion. Obtenue à partir de l'équation suivante :

$$\epsilon_{t,adm} = \frac{\epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{ Hz}) \times \sqrt{E(10^\circ\text{C}, 20\text{Hz})}}{E(34^\circ\text{C}, 20\text{Hz}) \times (NE/106)^b \times Kc \times Kr \times Ks}$$

✎ La contrainte admissible $\sigma_{t,adm}$

Pour des couches en matériau traités aux liants hydrauliques ou béton, soumise à une traction due à une flexion. Elle est obtenue par l'équation suivante :

$$\sigma_{t,adm} = \sigma_6 \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times Kc \times Kr \times Kd$$

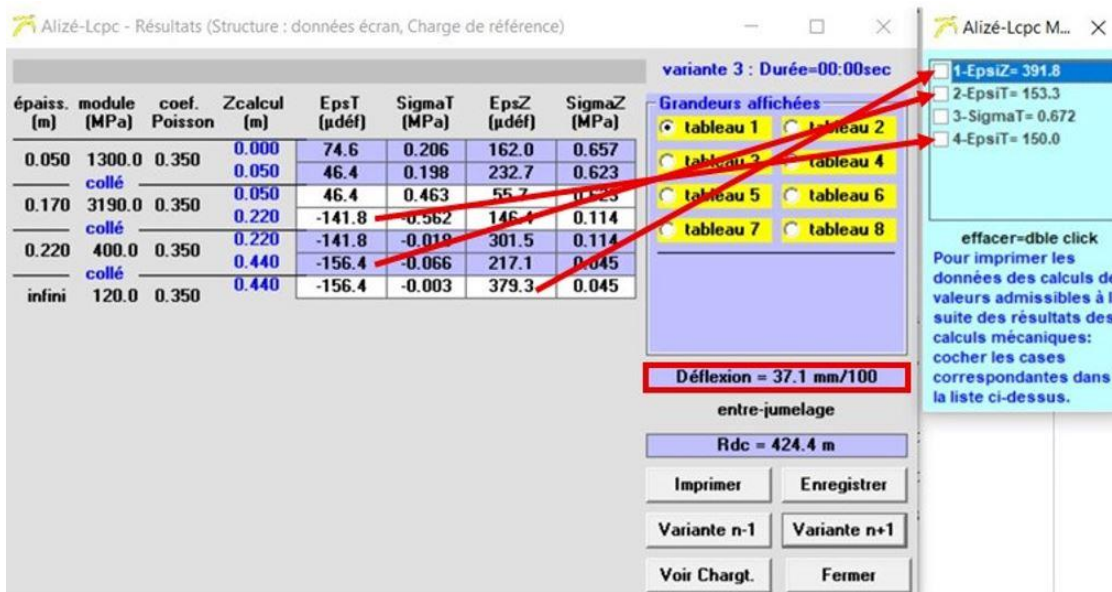
Après calcul sur Alizé, on obtient les résultats suivants :

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

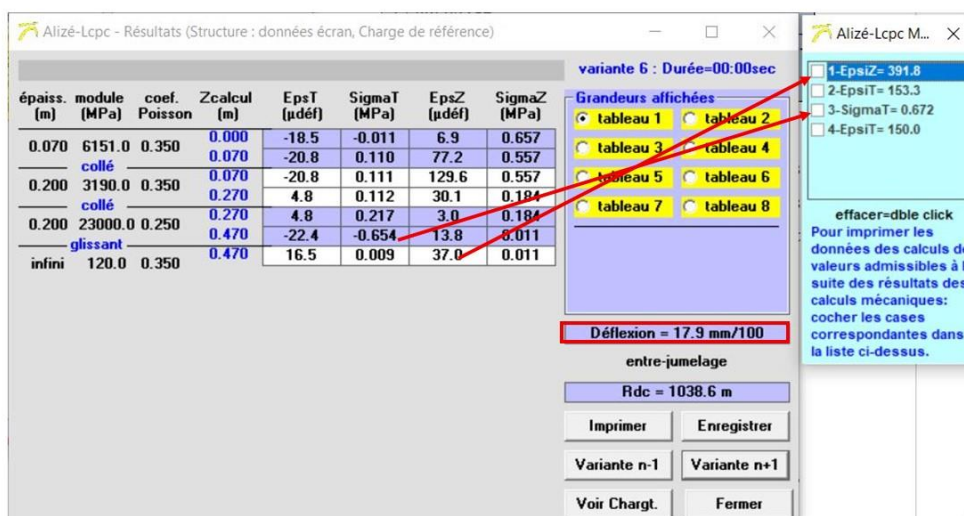
Vérifications des contraintes et déformation sur Alizé LCPC

La classification de la plate-forme dépend de son module de Young, il est estimé à partir de la relation $E=5 \times \text{CBR}$. D'après les résultats des essais en laboratoire réalisés sur notre tronçon, le sol appartient à la classe S4 avec un CBR pris égal à de 24, ce qui donne un module estimé à $E = 120 \text{ MPa}$.

✓ Vérification de la structure de chaussée



✓ Vérification de l'anneau du giratoire



Annexe 3 : Etude hydrologique et hydraulique

I. Etude hydrologique

a. Caractéristiques des Bassins Versants

Bassins Versants	Superficie (km²)	Périmètre (km)	Zmax (m)	Zmin (m)	Pente (%)	L écoulement (km)	Méthode choisie
SBV1-1	0,062	1,363	292	288	1,31	0,573	Caquot
SBV2-1	0,047	0,892	291	288	1,28	0,275	Caquot
BV1	0,890	3,715	306	288	1,13	0,382	Orstom, CIEH
SBV1-2	0,057	1,159	302	295	1,36	1,368	Caquot
SBV2-2	0,068	1,504	298	291	0,93	0,647	Caquot
SBV3-2	0,168	2,480	295	287	0,93	1,086	Caquot
BV2	5,955	10,236	313	286	1,31	3,329	Orstom, CIEH
SBV1-3	0,077	3,167	296	288	0,83	1,534	Caquot
SBV2-3	0,099	2,274	294	286	1,23	1,042	Caquot
BV3	5,363	9,631	312	287	1,31	3,067	Orstom, CIEH
SBV1-4	0,156	2,126	293	286	1,47	0,887	Caquot
BV4	1,067	4,335	299	286	1,23	1,412	Orstom, CIEH
SBV1-5	0,103	2,609	291	282	1,47	1,220	Caquot
SBV2-5	0,150	1,564	288	283	1,84	0,448	Caquot
SBV3-5	0,147	1,992	288	283	0,97	0,816	Caquot
BV5	2,727	6,627	296	282	1,29	1,790	Orstom, CIEH

b. Paramètres de formes des Bassins Versants

Cas du plus grand Bassin versant (BV2)

✓ **Indice de compacité**

Il caractérise la forme du bassin versant, la manière dont l'eau s'écoule à travers cette zone. Il permet donc d'évaluer l'efficacité de l'écoulement. Il est obtenu par la formule

suivante : $I_{comp} = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{S}}$ $I_{comp} = 0,282 * \frac{10,236}{\sqrt{5,955}}$

$$I_{comp} = 1,18$$

✓ **Détermination de la longueur du rectangle équivalent Leq**

C'est le rectangle ayant la même superficie, le même indice de compacité, et la même distribution hypsométrique que les bassins versants. Elle est souvent assimilée à la longueur du plus long chemin hydraulique et est obtenue par la formule suivante :

$$Leq = \sqrt{S} \left(\frac{I_{com}}{1,128} \right) * \sqrt{1 + \left(1 - \frac{1,128}{I_{com}} \right)^2}$$

$$Leq = \sqrt{5,955} \left(\frac{1,18}{1,128} \right) * \sqrt{1 + \left(1 - \frac{1,128}{1,18} \right)^2}$$

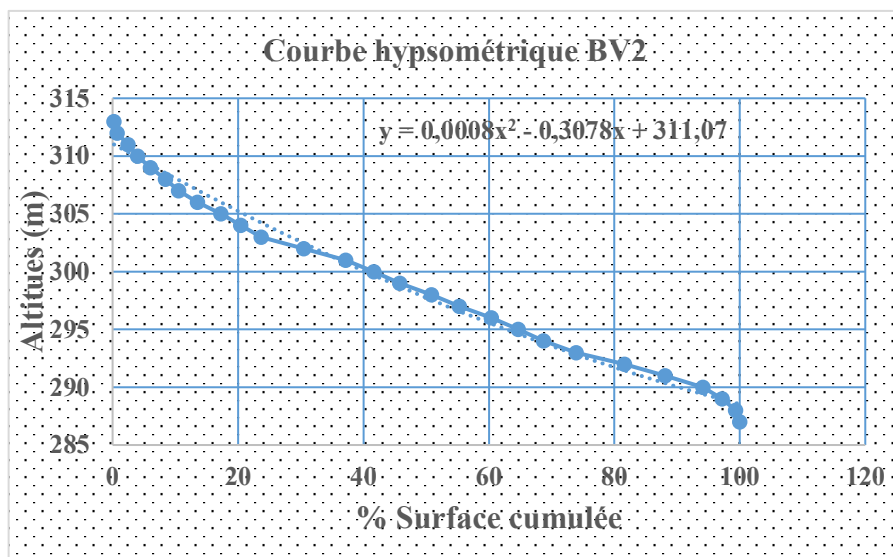
$$Leq = 3,521 \text{ km}$$

✓ **Détermination de l'indice global de pente**

C'est l'indice caractérisant le relief du bassin versant. Il est défini par la formule suivante :

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

$Ig = \frac{D}{Leq}$ D représente la dénivelée, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles ; ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique correspondant.



Alt5%	Alt95%
309,551	289,049

Bassin Versant BV2				
Altitudes (m)	Surface partielle (km²)	Surface cumulée (km²)	% Surface partielle	% Surface cumulée
287	0,040	5,936	0,674	100
288	0,127	5,896	2,139	99,326
289	0,181	5,769	3,049	97,187
290	0,359	5,588	6,048	94,137
291	0,384	5,229	6,469	88,090
292	0,458	4,845	7,716	81,621
293	0,308	4,387	5,189	73,905
294	0,240	4,079	4,043	68,716
295	0,256	3,839	4,313	64,673
296	0,302	3,583	5,088	60,361

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

297	0,262	3,281	4,414	55,273
298	0,302	3,019	5,088	50,859
299	0,245	2,717	4,127	45,772
300	0,267	2,472	4,498	41,644
301	0,397	2,205	6,688	37,146
302	0,402	1,808	6,772	30,458
303	0,195	1,406	3,285	23,686
304	0,187	1,211	3,150	20,401
305	0,221	1,024	3,723	17,251
306	0,179	0,803	3,015	13,528
307	0,123	0,624	2,072	10,512
308	0,143	0,501	2,411	8,440
309	0,120	0,358	2,017	6,029
310	0,093	0,238	1,568	4,013
311	0,104	0,145	1,745	2,444
312	0,029	0,042	0,481	0,699
313	0,013	0,013	0,218	0,218

b. Méthode ORSTOM

✓ Pluviométrie mensuelle (mm) de la station de Ouagadougou

STATION DE OUAGADOUGOU (AEROPORT)
Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du
projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
PLUVIOMETRIE MENSUELLE (mm)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	TOTAL
1961	0,0	0,0	1,0	5,1	14,0	164,5	145,8	181,0	184,8	0,0	0,0	0,0	696,2
1962	0,0	0,0	0,0	22,7	85,2	204,1	201,6	452,6	164,3	39,0	13,7	0,0	1183,2
1963	0,0	0,0	0,0	30,5	44,3	85,4	144,0	218,7	77,8	56,1	0,0	0,0	656,8
1964	0,0	0,0	0,0	54	92,8	157,2	191,5	319,7	261,0	13,2	0,0	13,8	1089,4
1965	0,0	0,0	0,0	10,2	134,7	59,4	224,1	225,5	172,4	25,9	0,0	0,0	852,2
1966	0,0	0,0	0,0	35,7	48,8	133,1	90,7	175,1	105,3	55,0	4,4	0,0	648,1
1967	0,0	1,1	0,0	7,3	73,6	83,9	163,2	275,6	139,7	19,4	0,6	0,0	764,4
1968	0,0	4,8	10,1	14,3	100,2	97,2	207,3	169,0	151,0	56,7	0,0	0,0	810,6
1969	0,0	0,0	11,0	27,7	67,8	117,3	228,7	320,5	169,3	41,7	0,5	0,0	984,5
1970	0,0	0,0	0,0	4,6	111,7	54,0	248,9	179,2	130,1	19,3	0,0	0,0	747,8
1971	0,0	0,0	6,0	56,5	37,4	61,7	264,5	215,9	151,1	0,0	0,0	3,7	796,8
1972	0,0	0,0	0,0	33,5	108,5	300,2	158,0	204,8	150,8	53,3	0,0	0,0	1009,1
1973	0,0	14,1	0,0	83,5	37,6	87,6	278,4	167,1	80,4	31,7	0,0	0,0	780,4
1974	0,0	0,0	0,5	7,0	91,1	60,8	143,2	342,0	207,7	37,1	0,0	0,0	889,4
1975	0,0	0,0	0,0	6,6	20,0	123,9	247,2	220,7	98,7	16,3	0,0	0,0	733,4
1976	1,5	0,0	13,6	8,1	103,0	187,8	163,1	267,0	178,0	102,0	0,0	0,0	1024,1
1977	0,0	0,0	7,2	0,6	72,4	81,5	54,3	315,4	73,2	14,8	0,0	0,0	619,4
1978	0,0	0,0	0,0	135,2	94,8	86,9	147,8	177,0	128,2	19,7	0,0	0,0	789,6
1979	0,0	0,0	4,7	23,8	48,5	100,5	177,5	181,2	163,4	14,9	14,8	0,0	729,3
1980	0,0	0,0	0,0	7,1	42,5	111,0	130,7	322,7	63,1	19,6	0,0	0,0	696,7
1981	0,0	0,0	0,0	20,5	79,7	82,0	262,1	193,4	139,5	0,0	0,0	0,0	777,2
1982	0,0	0,1	29,1	69,5	104,1	127,9	99,6	155,9	63,9	45,0	0,0	0,0	695,1
1983	0,0	0,0	0,2	1,9	63,8	124,6	230,5	208,8	101,1	4,7	0,0	0,0	735,6
1984	0,0	0,0	28,8	20,0	57,7	69,7	135,0	137,6	96,7	14,3	0,9	0,0	560,7
1985	0,0	0,0	0,0	2,8	68,1	86,2	144,6	164,3	151,5	2,4	0,0	0,0	619,9
1986	0,0	0,0	9,0	11,7	12,8	155,8	120,9	193,1	165,6	41,1	0,8	0,0	710,8

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

1987	0,0	0,0	13,3	0,0	67,0	163,8	148,3	221,9	131,2	39,0	0,0	0,0	784,5
1988	0,0	0,0	0,0	79,9	68,8	65,6	161,9	263,8	88,7	6,2	0,0	0,0	734,9
1989	0,0	0,0	5,5	0,0	35,7	55,3	233,5	305,3	112,4	48,4	0,0	1,7	797,8
1990	0,0	0,0	0,0	15,3	112,3	81,9	162,2	196,6	103,8	3,8	0,0	0,0	675,9
1991	0,0	0,0	0,4	65,8	235,3	95,1	158,1	248,7	47,9	49,4	0,0	0,0	900,7
1992	0,0	0,0	0,0	51,9	12,9	79,4	246,7	244,7	51,0	4,9	7,2	0,0	698,7
1993	0,0	0,0	9,4	25,7	8,4	128,8	226,2	195,8	97,8	58,5	0,0	0,0	750,6
1994	0,0	0,0	1,7	1,0	14,2	108,4	130,5	296,3	110,8	64,9	0,0	0,0	727,8
1995	0,0	0,0	0,0	9,6	50,3	114,3	118,3	258,2	136,0	13,1	0,4	0,0	700,2
1996	0,0	0,0	0,0	22,6	45,8	40,1	129,1	193,0	223,9	22,9	0,0	0,0	677,4
1997	0,0	0,0	49,2	58,0	51,6	66,4	111,3	154,9	48,0	48,1	0,0	0,0	587,5
1998	0,0	0,0	0,0	15,0	65,9	26,7	105,2	208,0	195,3	52,2	0,0	0,0	668,3
1999	0,0	0,0	0,7	17	53,9	74,7	240,7	235,7	168,6	8,9	0,0	0,0	800,2
2000	0,0	0,0	0,0	16,4	78,7	138,6	152,6	117,7	24,3	65,8	0,0	0,0	594,1
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	70,9	26,3	183,9	208,4	114,5	14,7	0,0	0,0	618,7
2002	0,0	0,0	0,0	7,0	39,8	38,2	169,7	179,3	182,8	39,4	0,0	0,0	656,2
2003	0,0	2,4	21,9	23,9	69,1	163,8	181,8	170,3	161,3	53,2	0,0	0,0	847,7
2004	0,0	0,0	0,0	54,4	42,5	27,9	245,6	194,4	181,1	16,3	9,8	0,0	772,0
2005	0,0	0,0	0,5	29,1	50,2	88,0	250,6	282,0	123,2	21,9	0,0	0,0	845,5
2006	0,0	0,0	0,0	5,7	13,3	66,4	168,0	202,3	108,8	32,3	0,0	0,0	596,8
2007	0,0	0,0	0,0	85,7	42,7	33,2	114,3	299,2	137,7	0,3	0,1	0,0	713,2
2008	0,0	0,0	4,4	0,0	60,9	33,2	247,0	250,8	131,3	28,0	0,0	0,0	755,6
2009	0,0	0,0	0,3	13,0	41,7	33,2	168,4	197,6	329,6	32,3	0,0	0,0	816,1
2010	0,0	0,0	0,0	50,9	67,6	33,2	235,1	249,4	85,3	47,2	0,0	0,0	768,7
2011													689,4
2012													1003,0

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

2013													795,3
2014													843,9
2015													898,6
2016													974,1
2017	0,0	0,0	0,0	13,3	216,8	110,1	120,7	307,6	101,9	3,7	0,0	0,0	874,1
2018	0,0	8,4	11,6	0,0	75,0	84,0	245,9	236,4	174,3	24,6	0,0	0,0	860,2
2019	0,0	0,0	7,6	20,2	47,8	61,7	321,3	212,0	93,1	89,0	0,0	0,0	852,7
2020	0,0	0,0	0,0	4,8	9,8	88,6	302,3	273,3	218,3	58,6	0,0	0,0	955,7
2021	0,0	0,0	0,0	0,0	101,0	168,5	243,8	345,7	118,3	33,0	0,0	0,0	1010,3
2022	0,0	0,7	2,3	29,0	40,5	137,3	190,4	272,8	251,1	15,0	0,0	0,0	939,1
2023	0,0	0,0		16,3	50,6	115,5	203,8	248,6	119,4	62,3	0,0		816,5
MOY	0,0	0,6	4,5	25,1	65,9	97,4	184,6	232,5	135,8	31,6	0,9	0,3	787,3

✓ Pluviométrie maximale journalière (mm)

STATION DE OUAGADOUGOU (AEROPORT)

PLUVIOMETRIE MAXIMALE EN 24 HEURES (mm)

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	TOTAL
1961	0	0	0,7	4,9	4,3	47,0	48,6	25,9	72,1	0,0	0,0	0,0	72,1
1962	0	0	0	10,8	47	57,0	93,6	76,5	33,7	12,3	11,3	0,0	93,6
1963	0	0	0	6,9	31,7	33,9	46,9	58,4	22,1	22,7	0,0	0,0	58,4
1964	0	0	0	27,9	17,9	37,3	39,6	57,3	47,7	12,5	0,0	10,6	57,3
1965	0	0	0	10,2	58,5	26,7	62,4	60,6	28,3	16,8	0,0	0,0	62,4
1966	0	0	0	15,6	21,3	33,8	31,9	42,7	34,5	26,5	4,4	0,0	42,7
1967	0	1,1	0	5,9	39,2	24,9	41,9	56,1	29,9	19,4	0,6	0,0	56,1

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

1968	0	5,9	11,1	16,1	40,2	21,8	33,6	36,2	32,7	37,9	0,0	0,0	40,2
1968	*	5,9	11,1	16,1	40,2	21,8	33,6	36,2	32,7	37,9	*	*	40,2
1969	*	*	14,1	6,3	42,2	31,6	52,4	102,7	43,7	18,1	Tr	*	102,7
1970	*	*	Tr	1,5	89,6	15,4	39,7	28,5	28,4	13,0	*	*	89,6
1971	*	1,1	4,6	34,0	17,9	38,0	41,5	89,8	39,2	2,4	*	3,1	89,8
1972	Tr	*	*	23,8	34,4	52,7	46,6	39,5	59,9	48,5	*	Tr	59,9
1973	*	12,8	*	57,5	12,7	37,9	59,0	33,4	49,2	8,0	*	*	59,0
1974	Tr	*	0,5	0,1	30,6	29,8	31,8	60,5	46,0	12,8	Tr	*	60,5
1975	*	*	Tr	2,4	6,5	44,8	54,8	65,6	25,7	9,6	*	*	65,6
1976	3,2	Tr	19,8	3,4	48,6	55,3	29,8	75,8	46,9	76,7	Tr	*	76,7
1977	*	*	*	0,3	51,5	18,9	32,1	89,3	34,1	17,7	*	*	89,3
1978	*	*	2,4	67,5	32,9	29,0	47,3	40,5	35,0	10,8	*	*	67,5
1979	*	*	3,5	7,0	16,7	12,7	46,5	25,7	29,5	20,6	25,5	*	46,5
1980	*	Tr	*	13,0	17,9	27,9	37,9	45,7	19,0	10,7	*	Tr	45,7
1981	*	*	Tr	22,9	20,8	28,6	61,5	51,9	31,5	1,1	*	*	61,5
1982	0,1	14,2	37,1	34,1	34,7	18,2	28,6	36,0	18,9	25,2	*	Tr	37,1
1983	*	*	Tr	0,5	18,6	39,7	63,3	28,5	34,4	8,1	*	*	63,3
1984	*	*	16,9	13,1	17,2	15,1	42,8	32,0	32,5	9,7	1,1	*	42,8
1985	Tr	*	*	3,1	36,4	20,7	36,9	22,9	50,4	*	*	*	50,4
1986	*	*	4,1	5,2	30,6	32,2	35,5	47,2	33,0	36,3	*	*	47,2
1987	*	*	12,4	*	24,2	75,6	40,3	53,0	44,9	10,0	*	*	75,6
1988	*	*	*	37,3	31,5	18,2	64,2	56,8	26,8	5,9	Tr	*	64,2
1989	*	*	4,2	*	11,6	13,5	74,9	37,3	27,6	20,9	*	1,7	74,9
1990	*	*	*	8,2	55,0	25,7	36,3	47,9	*	2,1	Tr	*	55,0
1991	*	*	0,4	29,5	105,2	33,4	45,8	35,8	19,4	16,2	*	*	105,2
1992	Tr	*	Tr	32,8	6,1	23,0	53,9	51,9	18,4	3,1	4,8	*	53,9
1993	*	Tr	9,4	21,4	4,5	41,4	54,0	47,7	27,4	44,6	*	*	54,0
1994	*	*	1,5	0,7	3,5	38,4	31,6	58,2	32,3	15,5	*	*	58,2

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

1995	*	Tr	Tr	6,4	13,5	28,3	27,3	73,1	33,6	5,5	0,4	*	73,1
1996	*	*	Tr	11,2	21,4	15,4	35,6	37,1	70,3	15,3	*	*	70,3
1997	*	*	45,2	25,6	12,6	19,7	31,9	35,3	19,2	19,3	*	*	45,2
1998	*	*	*	7,8	14,7	7,7	28,5	72,4	40,7	24,9	*	*	72,4
1999	0,0	0,0	0,7	9,3	18,8	28,3	66,0	33,1	25,7	5,6	0,0	0,0	66,0
2000	0,0	0,0	0,0	15,9	18,7	58,6	36,5	37,1	8,2	27,9	0,0	0,0	58,6
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	19,9	8,2	44,6	49,8	27,7	9,2	0,0	0,0	49,8
2002	0,0	0,0	0,0	5,2	19,1	21,6	39,2	58,1	38,2	28,3	0,0	0,0	58,1
2003	0,0	2,4	2,0	16,2	39,6	62,1	38,4	26,6	58,9	38,3	0,0	0,0	62,1
2004	0,0	0,0	0,0	34,6	22,4	10,3	55,1	35,2	42,2	8,7	9,8	0,0	55,1
2005	0,0	0,0	0,5	13,5	23,3	37,5	75,7	50,1	28,4	18,9	0,0	0,0	75,7
2006	0,0	0,0	0,0	5,7	9,1	36,3	51,5	33,3	20,9	27,9	0,0	0,0	51,5
2007	0,0	0,0	0,0	30,2	36	27,5	30,8	116,7	60,5	0,3	0,1	0,0	116,7
2008	0,0	0,0	4,3	0,0	34,9	25,6	57,0	40,5	58,4	18,1	0,0	0,0	58,4
2009	0,0	0,0	0,3	8,4	16,2	56,2	20,0	35,1	261,3	19,5	0,0	0,0	261,3
2010	0,0	0,0	0,0	40,3	40,3	44,8	70,4	48,5	35,2	18,7	0,0	0,0	70,4
2011													43,8
2012													67,8
2013													67,3
2014													57,2
2015													67,0
2016													94,5
2017													96,6
2018													66,2
2019													91,3
2020													77,9
2021													52,9
2022													66,1

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

2023													64,0
P max	3,2	14,2	45,2	67,5	105,2	75,6	75,7	116,7	261,3	76,7	25,5	3,1	261,3

Nous avons donc obtenu une pluie moyenne annuelle de **Pan = 787mm** et une pluie maximale journalière de **P10 = 107mm**.

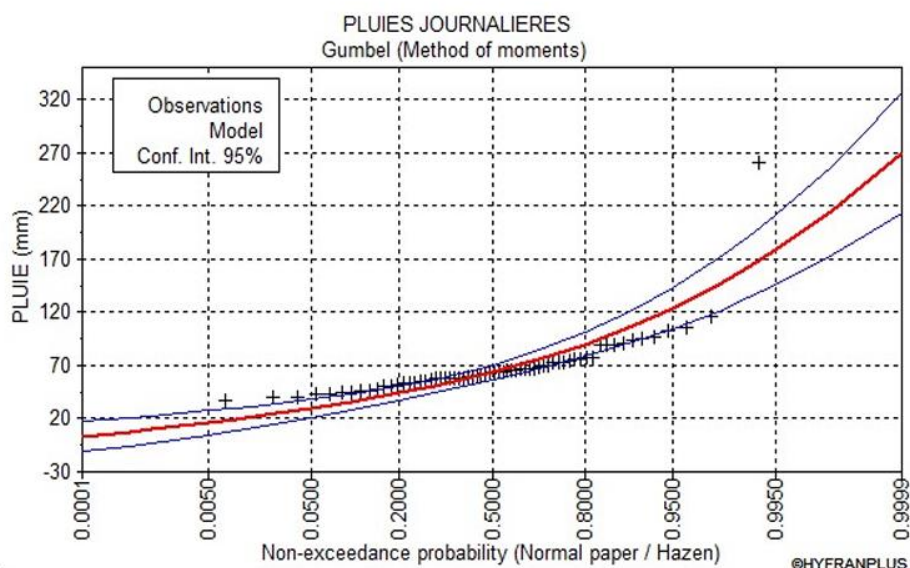
Les résultats obtenus après ajustement des pluies journalières maximales selon la loi de

Gumbel :

Quantiles

q = F(X) : non-exceedance probability
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Standard deviation	Confidence interval (95%)
10000.0	0.9999	269	28.6	213 - 325
2000.0	0.9995	232	23.7	186 - 278
1000.0	0.9990	216	21.6	173 - 258
200.0	0.9950	178	16.7	145 - 211
100.0	0.9900	162	14.7	133 - 191
50.0	0.9800	146	12.6	121 - 170
20.0	0.9500	124	9.85	105 - 143
10.0	0.9000	107	7.80	92.1 - 123
5.0	0.8000	89.9	5.77	78.6 - 101
3.0	0.6667	76.0	4.35	67.4 - 84.5
2.0	0.5000	63.5	3.43	56.8 - 70.2
1.4286	0.3000	50.6	3.15	44.4 - 56.8
1.2500	0.2000	43.9	3.35	37.3 - 50.4
1.1111	0.1000	35.5	3.88	27.9 - 43.1
1.0526	0.0500	29.4	4.40	20.8 - 38.0
1.0204	0.0200	23.2	5.00	13.4 - 33.0
1.0101	0.0100	19.4	5.40	8.79 - 30.0
1.0050	0.0050	16.1	5.75	4.83 - 27.4
1.0010	0.0010	9.93	6.45	-2.71 - 22.6



✓ Détermination du Coefficient de ruissellement décennal Kr10

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

$$Kr_{70} = Kr_{100} = \frac{a}{S + b} + c$$

Les valeurs de a', b' et c' sont renseignées dans les tableaux suivants en fonction de la classe d'infiltration et de l'indice global de pente.

Paramètres de l'équation de détermination de Kr_{70} pour la zone tropicale sèche en fonction de l'indice de pente et de la classe d'infiltrabilité

Caractéristiques		a'	b'	c'
Infiltrabilité	Pente			
I	15	2000	100	29,5
	7	1620	100	27,5
	3	1250	100	25
RI	15	250	20	21,7
	7	200	20	18,5
	3	150	20	15
P	7	50	15	8

Paramètres de l'équation de détermination de Kr_{100} pour la zone tropicale sèche en fonction de l'indice de pente et de la classe d'infiltrabilité

Caractéristiques		a'	b'	c'
Infiltrabilité	Pente			
I	15	2400	100	32
	7	1940	100	30
	3	1440	100	28
RI	15	325	30	26
	7	240	30	22
	3	200	30	17
P	7	55	17	9,5

En fonction du type d'infiltrabilité RI correspondant à notre zone, on fera une interpolation entre les indices globaux de pente de 3 et 7, pour obtenir ceux correspondant à nos différents bassins versants. Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants :

		Kr70 (%) BV2		
	Ig	a'	b'	c'
RI	7,000	200	20	18,500
	5,823	185,285	20	17,470
	3,000	150	20	15,000
Kr70	24,609			

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

		Kr100 (%) BV2		
	Ig	a'	b'	c'
RI	7,000	240	30	22
	5,452	224,524	30	20,065
	3,000	200	30	17
Kr100	26,310			

Détermination de Kr10 par calcul					
Kr (%)	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5
70	26,597	24,609	24,775	29,488	30,021
100	27,334	26,310	26,415	31,325	32,303
107	27,506	26,707	26,797	26,797	31,754

➤ Détermination du temps de base Tb

C'est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement rapide, il dépend du climat de la zone, de l'indice global de pente, de la superficie du bassin versant et des paramètres a et b

$$Tb_{10} = a \cdot S^{0,36} + b$$

Les paramètres a et b varient en fonction de la pente :

Ig = 1	Tb ₁₀ = 560 . S ^{0,36} + 400
Ig = 3	Tb ₁₀ = 325 . S ^{0,36} + 315
Ig = 7	Tb ₁₀ = 163 . S ^{0,36} + 142
Ig = 10	Tb ₁₀ = 95 . S ^{0,36} + 80
Ig = 15	Tb ₁₀ = 75 . S ^{0,36} + 55
Ig = 25	Tb ₁₀ = 44 . S ^{0,36} + 28
Ig = 30	Tb ₁₀ = 35 . S ^{0,36} + 20

à déterminer.

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Ig	a (BV2)	b (BV2)
7	163	142
5,823	210,678	192,915
3	325	315

Ig	Tb10 (mn) BV2
7	451,845
5,823	593,390
3	932,790

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

a. Méthode CIEH

✓ Découpage en fonction des zones

N°	Description	Echantillon	Corrélation		Constante	Exposants des paramètres de l'équation 4.1					
		n	r²	r		a	S	Ig	Pan	PM10	Kr10
DECOUPAGE CLIMATIQUE SANS KR10											
avec S et Ig											
1	0-400 mm	71	0.760	0.874	2.83	0.624	0.491				
2	400-800 mm	128	0.570	0.755	2.03	0.590	0.588				
3	1200-1600 mm	87	0.579	0.761	1.33	0.596	0.457				
avec S, Ig et Dd											
4	0-400 mm	33	0.629	0.793	2.43	0.583	0.506				0.320
5	400-800 mm	69	0.598	0.773	1.83	0.620	0.618				0.121
6	800-1200 mm	87	0.591	0.769	2.01	0.649	0.066				0.824
DECOUPAGE CLIMATIQUE AVEC KR10											
avec S et Kr10											
7	0-400 mm	66	0.758	0.870	0.553	0.655				0.802	
8	400-800 mm	116	0.736	0.858	0.461	0.540				0.941	
avec S, Ig et Kr10											
9	0-400 mm	65	0.847	0.920	0.167	0.745	0.731			0.475	
10	400-800 mm	116	0.806	0.898	0.0833	0.696	0.953			0.534	
DECOUPAGE POUR LA ZONE Pan < 1000 mm											
Tous les bassins											
11	S, Kr10	180	0.716	0.846	0.410	0.524				0.982	
12	S, Ig, Kr10	176	0.795	0.892	0.095	0.643	0.406			1.038	
Longitude < 10° Ouest (seulement au Sénégal et en Mauritanie)											
13	S, Ig	21	0.569	0.754	1.78	0.557	0.805				
14	S, Ig, PM10	21	0.581	0.762	55.0	0.462	0.667		-0.652		
15	S, Ig, Kr10	20	0.722	0.850	0.224	0.540	0.622			0.767	
16	S, Kr10	20	0.645	0.803	0.661	0.375				0.910	
Longitude comprise entre 10° Ouest et 10° Est											
17	S, Kr10, PM10	117	0.764	0.874	30.2	0.492			-0.972	0.948	
18	S, Ig, Kr10	117	0.788	0.888	0.0678	0.661	0.412			1.105	
Longitude supérieure à 10° Est (seulement au Tchad et au nord Cameroun)											
19	S, PM10	46	0.646	0.804	0.00372	0.605			1.778		
20	S, Ig	45	0.645	0.803	2.72	0.626	0.360				
21	S, Ig, PM10	45	0.679	0.824	0.00638	0.694	0.305		1.411		
22	S, Kr10	39	0.77	0.877	0.610	0.523				0.908	
23	S, Ig, Kr10	39	0.821	0.906	0.134	0.678	0.374			0.940	
24	S, PM10, Kr10	39	0.805	0.897	0.00243	0.608			1.263	0.882	
DECOUPAGE PAR PAYS OU GROUPES DE PAYS											
Afrique de l'Ouest (de 10°E à 10°W)											
25	S, KR10	295	0.628	0.792	1.41	0.542				0.511	
26	S, Kr10, PM10	295	0.654	0.809	146	0.479			-0.969	0.457	
27	S, Kr10, Ig	288	0.650	0.806	0.560	0.619	0.279			0.510	
Afrique centrale											
28	S, KR10	50	0.738	0.859	0.521	0.625				0.876	
29	S, Kr10, Ig, PM10	49	0.815	0.903	893	0.773	0.567		-2.051	0.923	
30	S, Kr10, Ig	49	0.778	0.882	0.109	0.771	0.419			0.887	
Sénégal + Mauritanie											
31	S, PM10	40	0.563	0.750	5450000	0.215			-2.830		
32	S, Kr10	35	0.843	0.918	0.288	0.405				1.117	
33	S, Kr10, Ig	35	0.851	0.922	0.195	0.471	0.239			1.046	
Côte d'Ivoire											
34	S	37	0.713	0.844	4.83	0.562					
35	S, Ig	34	0.729	0.854	2.29	0.651	0.216				
36	S, PM10	36	0.706	0.840	0.000174	0.645			2.149		
37	S, Kr10	31	0.791	0.889	0.380	0.586				0.805	
38	S, Kr10, Ig	28	0.787	0.887	0.275	0.618	0.099			0.798	
Burkina Faso											
39	S, Kr10	61	0.818	0.904	0.410	0.425				0.923	
40	S, Kr10, Ig	60	0.824	0.908	0.254	0.462	0.101			0.976	
Burkina Faso + Mali + Niger											
41	S, Kr10	137	0.688	0.829	0.407	0.532				0.941	
42	S, Kr10, Ig	133	0.755	0.869	0.0912	0.643	0.399			1.019	
43	S, A*P10	133	0.589	0.767	35600	0.342			-1.808		
44	S, Kr10, PM10	133	0.757	0.870	203	0.459			-1.301	0.813	
45	S, Ig, PM10	130	0.592	0.769	22400	0.363	0.059		-1.748		
Tchad + Nord Cameroun (Pan < 1000 mm)											
46	S, Ig	55	0.638	0.799	1.28	0.412	0.739				
47	S, Kr10	49	0.838	0.915	0.525	0.530				0.950	
48	S, Kr10, Ig	48	0.884	0.940	0.105	0.709	0.432			0.949	

II. Etude hydraulique

✓ Abaques pour le dimensionnement hydraulique des Dalots

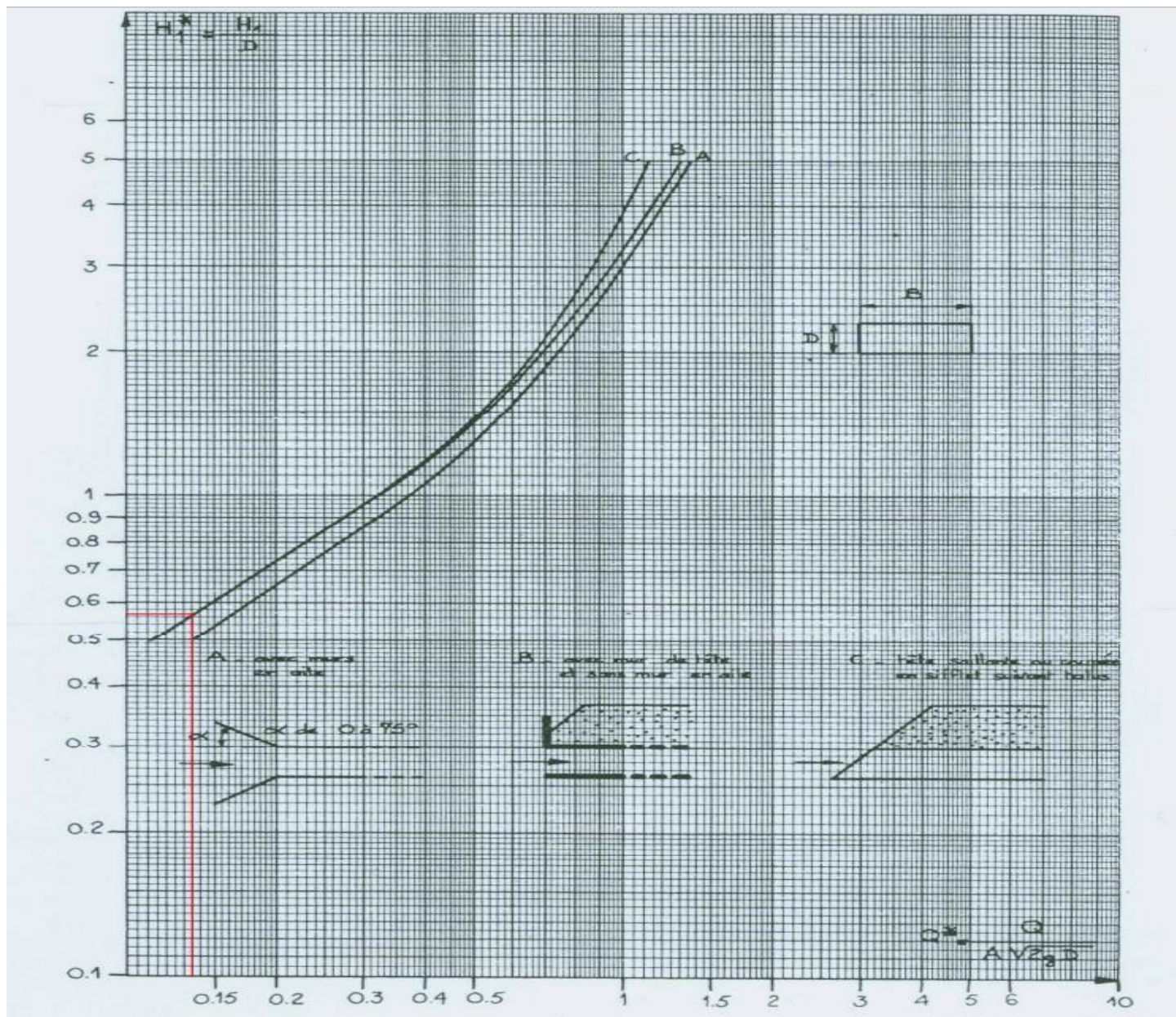


Figure 20: abaque pour le calcul de $H1^*$

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

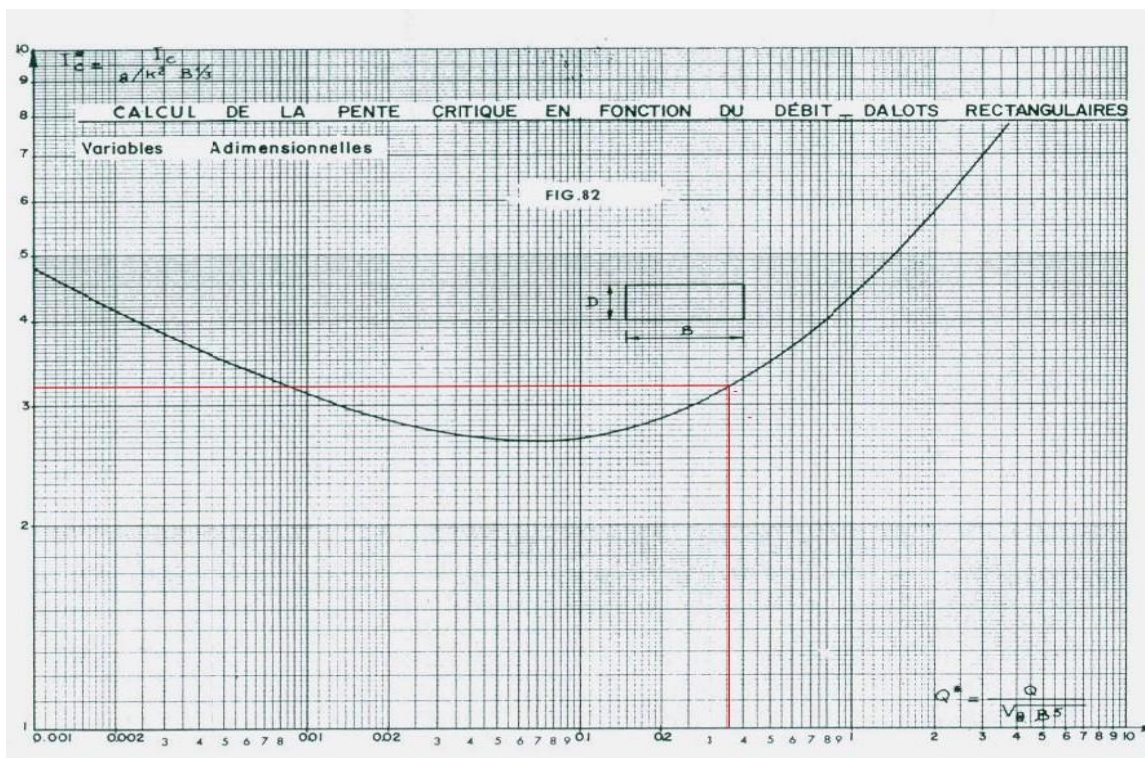


Figure 21: Abaque pour le calcul de la pente critique

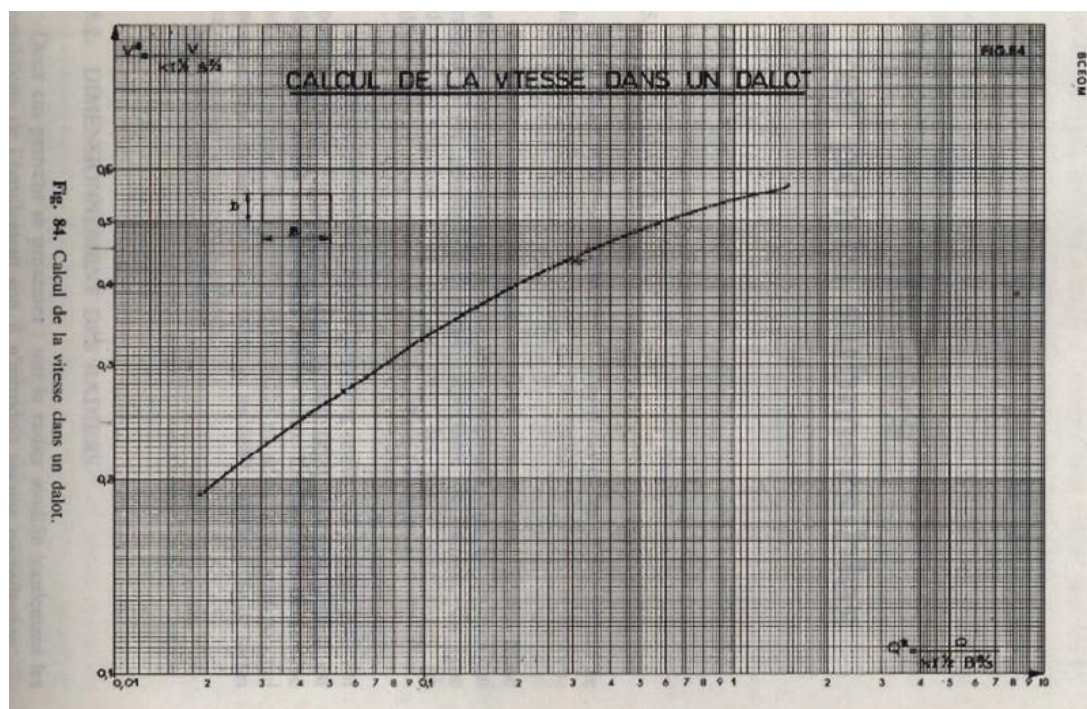


Figure 22: Abaque pour le calcul de V^*

Annexe 4 : Etudes structurale des ouvrages hydrauliques

I. Dalot

✓ Le sous-système Bc

Il se compose de camions de poids individuel égal à 30t. On dispose autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation. Ce sous-système est affecté d'un coefficient de pondération bc (dégressivité transversal), obtenu à partir du tableau 2 :

Tableau 2: Valeurs du coefficient bc en fonction du nombre de voies chargées et de la classe de l'ouvrage

Nombre de voies chargée		1	2	3	4	≥ 5
Classe du pont	1ère classe	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
	2ème classe	1	1	-	-	-
	3ème classe	1	0,8	-	-	-

La valeur prise en compte donc est $bc = 1,1$. Le sous-système Bc est présenté par la figure 1.

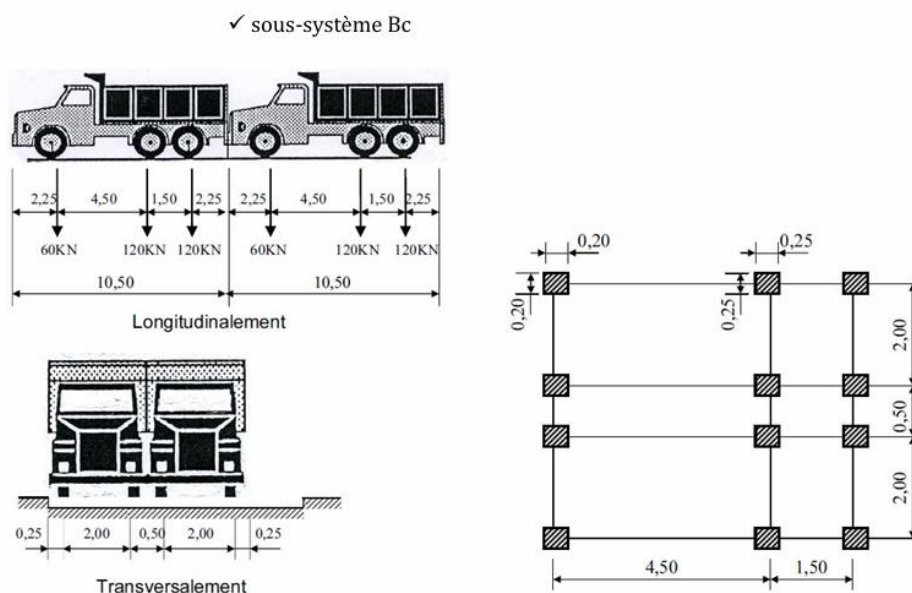


Figure 1 : Le Sous-système Bc

✓ Le sous-système Bc (Bc Niger espace UEMOA)

Ici le camion a un poids individuel de 40t. c'est le même principe que le sous-système Bc ordinaire. Le sous-système Bc Niger est présenté par la figure 2.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

✓ sous-système Bc (Bc Niger espace UEMOA) (42t)

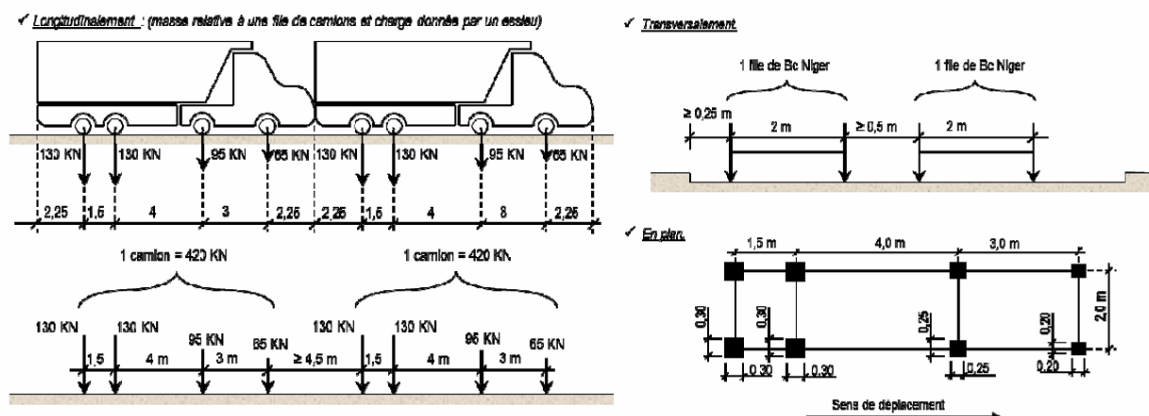


Figure 2 : Le Sous-système Bc Niger

✓ Le sous-système Bt

Il se compose de deux tandems à deux essieux de quatre roues chacun, le poids de chaque essieu étant de 16t. Il ne s'applique qu'aux ouvrages de première et deuxième classe, le nombre de camions est limité à deux (02) dans le sens transversal et un coefficient de pondération est affecté : $bt = 1$ pour les ouvrages de première classe et $bt = 0,9$ pour ceux de deuxième classe. Dans notre cas $bt = 1$, car nous avons un dalot de classe I. Le sous-système Bt est présenté par la figure 3.

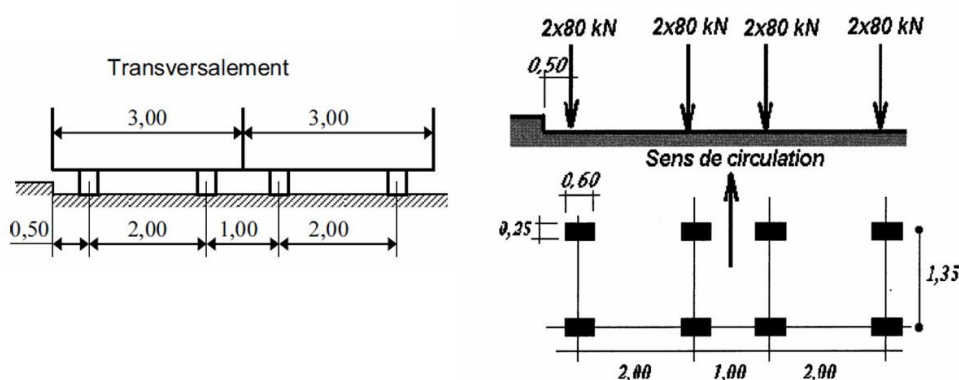


Figure 3 : Le Sous-système Bt

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Qu'il s'agisse du sous-système Bc ou Bt, la charge de calcul vaut :

$Q = \gamma_q * \delta * b * B$. Avec $b = b_c$ ou b_t selon le cas d'espèce ;

δ est le coefficient de majoration dynamique $= 1 + \frac{0,4}{1+0,2*L} + \frac{0,6}{1+4*\frac{G}{S}}$

L représentant la portée de la travée considérée ;

G désignant le poids total de l'ouvrage dans cette travée ;

S indiquant le poids total le plus élevé des essieux du système pouvant être placé sur le tablier de cette travée. Et on prendra $\delta = \text{Max} (\delta_{Bc} ; \delta_{Bt})$ pour toutes les charges du système B.

✓ Le système de charge Br

Il se compose d'une roue isolée transmettant un effort de 10t à travers une surface d'impact de 0,60*0,30m (la dimension 0,60 étant perpendiculaire à l'axe de déplacement des véhicules, représentant la surface au sol des roues jumelées). On applique le même coefficient de majoration que celui de Bt. Le système de charge Br est présenté par la figure 4.

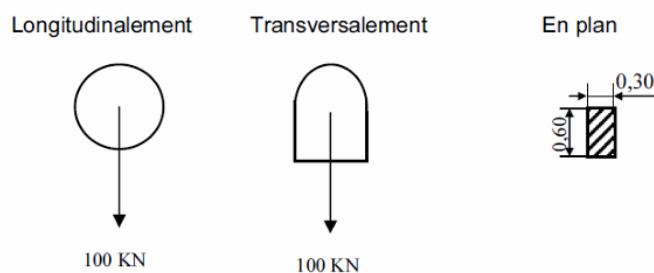


Figure 4 : Le Système de charge Br

- Le sous-système Mc80

Il est composé d'un char militaire reposant sur deux (02) chenilles de 36t chacune, répartie sur toute la largeur de la chaussée. Ses caractéristiques sont représentées par la figure 5.

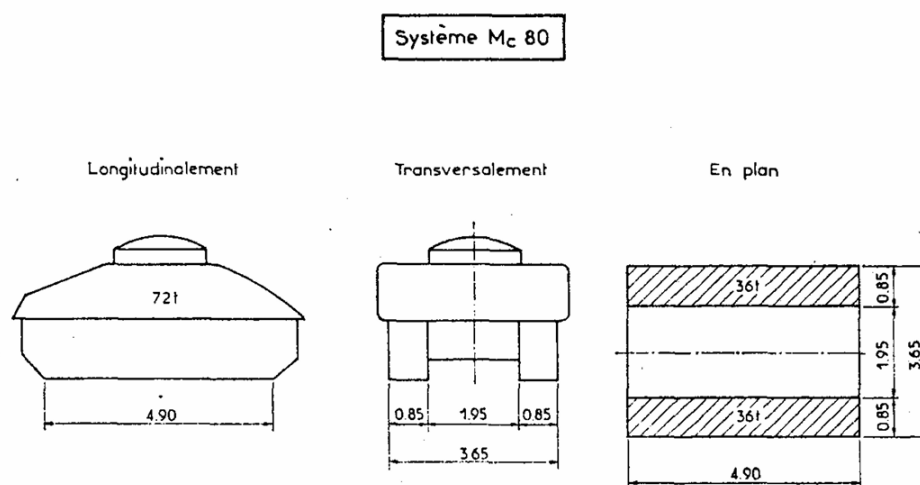


Figure 5 : Le Sous-système Mc80

- Le sous-système Me80

Il est composé de deux (02) essieux de 22t chacun assimilable à un rouleau de 44t sur toute la largeur de la chaussée. Le système est présenté par la figure 6.

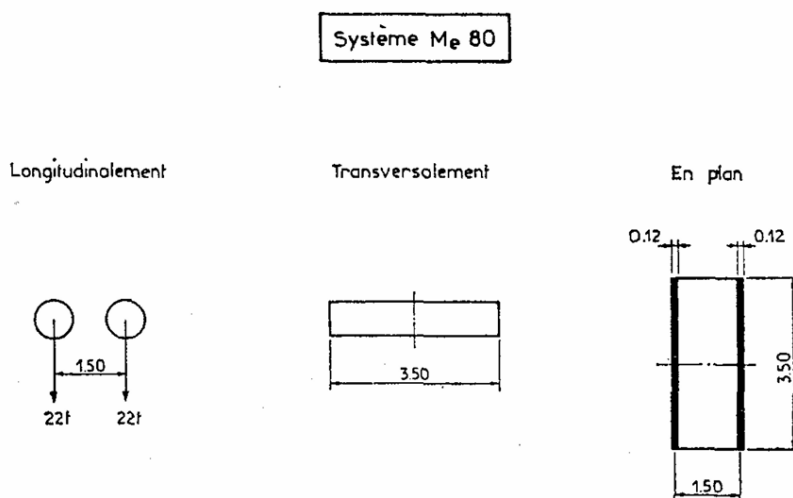


Figure 6 : Le Sous-système Me80

- Le sous-système Mc120

Il se compose d'un char militaire reposant sur deux (02) chenilles de 55t chacune, et capable de circuler sur toute la largeur de la chaussée. Ses caractéristiques sont représentées par la figure 7.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

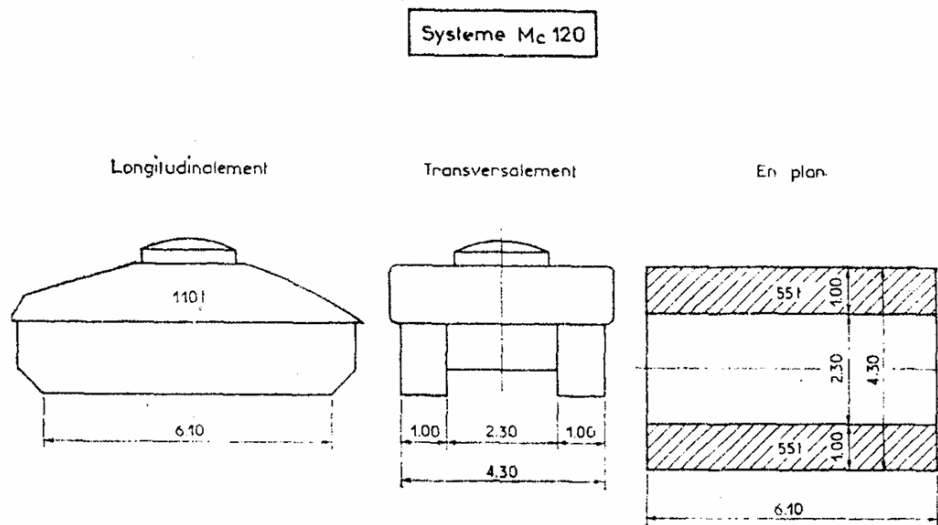


Figure 7 : Le Sous-système Mc120

- Le sous-système Me120

Il est composé de deux (02) essieux de 33t chacun assimilable à un rouleau de 66t pouvant occuper toute la largeur de la chaussée. Le système est présenté par la figure 8.

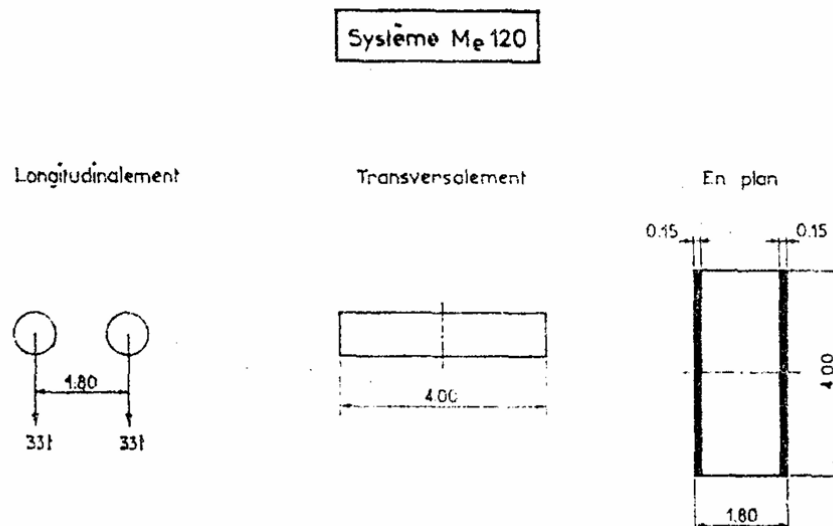


Figure 8 Le Sous-système Me120

Après le calcul de toutes ces surcharges, nous allons utiliser le système de chargement le plus défavorable (Me120), pour le dimensionnement.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

II. Caniveau

1. DESCRIPTION DU CHARGEMENT

- La charge du véhicule est fixée à 32 T en PTAC, donc un poids de la roue évalué à 6T
- La distance de la roue au piédroit est fixée à 30 cm.

2. HYPOTHESES

Béton	Acier	Sol
• Fissuration considérée préjudiciable • $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$	• Enrobage $e_n = 3 \text{ cm}$ • L'acier utilisée est de type Fe 400	• La masse volumique du sol est supposée égale à 2 T/m^3 • L'angle de frottement est fixé à 30° • Le coefficient de poussée des sols est fixé à 0.333 • La contrainte admissible du sol est de 0,15 MPa

3. CALCULS PRELIMINAIRES

Béton	Acier
$f_{t28} = 0.6 + 0.06 * f_{c28} \leftrightarrow f_{t28} = 2,1 \text{ Mpa}$ $f_{bu} = \frac{0.85 * f_{c28}}{1.5} \leftrightarrow f_{bu} = 14,17 \text{ Mpa}$ $\sigma_{bc} = 0.6 * f_{c28} \leftrightarrow \sigma_{bc} = 15 \text{ Mpa}$	$F_{ed} = \frac{f_e}{1.15} \leftrightarrow f_{ed} = 347,83 \text{ Mpa}$ $\sigma_s = 201,63 \text{ Mpa}$

4. NORMES DE CALCUL

Les chargements à considérer sont ceux définis dans le Titre II du fascicule 61 du BAEL 99 Modifié.

5. CAS DES CHARGEMENTS ETUDIES

Dallette : considérées comme une dalle pleine, elle sera étudiée comme soumise à une roue de 6 T en stationnement.

Piédroit / Voile : soumise aux efforts transmis par la dallette et aux poussées induites par une roue de 10 T stationnée à fleur avec la paroi du piédroit.

Radier : étudié sous les efforts qui lui sont transmis par le voile et par la réaction du sol.

6. GEOMETRIE

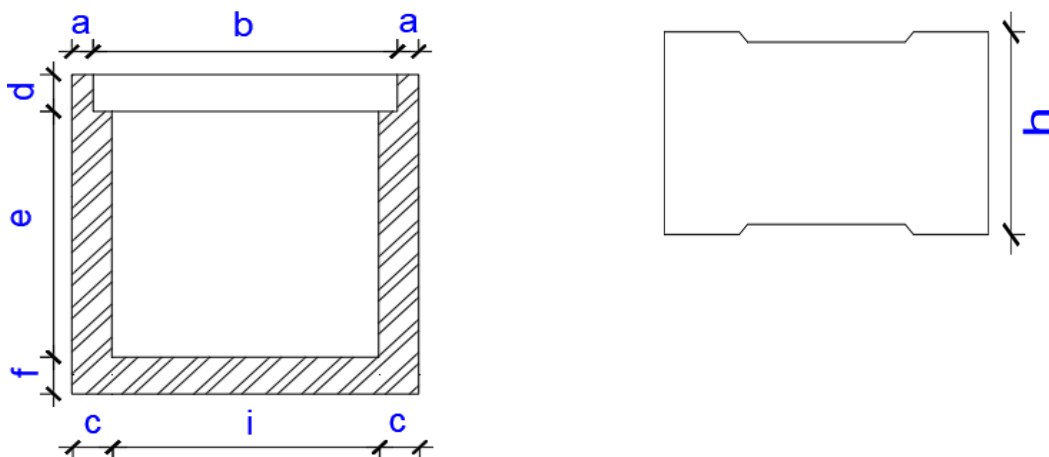
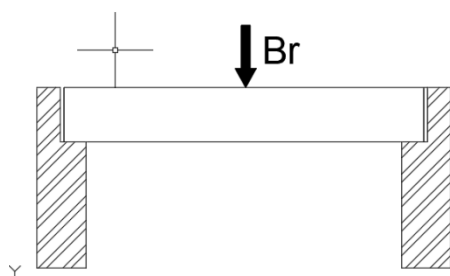


Tableau 1 : Récapitulatif des dimensions des caniveaux

Dimensions	a	b	c	d	e	f	$g=(c-a)$	h	i
Caniveau 140x140	0,08	1,64	0,2	0,2	1,40	0,20	0,12	0,5	1,30

✓ Calcul de la Dallette

La dallette sera étudiée sous une roue isolée de 6T (Bc) en stationnement.



1. ESTIMATIONS DES CHARGES

Charges permanentes (G)

Poids volumique du béton : $W_b = 25 \text{ T/m}^3$

Charges d'exploitation (Q)

Poids total en charge d'un camion 3 essieux (PTAC= 32 tonnes) : BC= **60 KN**

2. CALCUL DES SOLLICITATIONS

- Le poids propre de la dalle

$$Pd = ed \times \gamma_b \times b$$

$$Pd = 0.2 \times 25 \times 1.64 = \mathbf{8.2 \text{ kN/ml}}$$

- Moment due au poids propre de la dalle

$$MPd = Pd \times \frac{(b-2 \times g)^2}{8} = 7 \times \frac{(1.64-2 \times 0.12)^2}{8} = \mathbf{1.225 \text{ KN.m}}$$

- Moment due à la charge Bc

$$MBc = Bc \times \frac{(b-2g)^2}{4} = 60 \times \frac{(1.64-2 \times 0.12)^2}{4} = \mathbf{21 \text{ KN.m}}$$

- Combinaison des charges

$$\text{A l'ELU : } Mu = 1,35 \times MPd + 1,5 \times MBc = 1,35 \times 1.225 + 1,5 \times 21$$

$$Mu = \mathbf{33.15 \text{ KN.m}}$$

$$\text{A l'ELS : } Mser = MPd + MBc = 1.225 + 21$$

$$Mser = \mathbf{22.225 \text{ KN.m}}$$

- Détermination de la section d'acier

A l'ELU

Calcul de μ_u :

$$\mu_u = \frac{Mu}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}}, \text{ avec } b_0 = 1 \text{ m } d = 0.9 \times h = 0.9 \times 0.2 = 0.18 \text{ m}$$

$$\mu_u = \frac{0.03315}{1 \times 0.18^2 \times 14.17} = \mathbf{0.072}. \text{ On a } \mu_{AB} = 0,186, \text{ d'où } \mu_u < \mu_{AB} \text{ Donc nous sommes en zone}$$

de pivot A.

- $\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u})$
 $\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.072}) = \mathbf{0.093}$
- $Z_u = d \times (1 - 0,4 \times \alpha_u)$
 $Z_u = 0.18 \times (1 - 0,4 \times 0.093) = \mathbf{0.17 \text{ m}}$

- Calcul de la section (A_{st}) :

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times f_{su}} = \frac{0.03315}{0.17 \times 347.83} = 5.61 \text{ cm}^2. \text{ } A_{smin} = 1,63 \text{ cm}^2$$

- Vérification à l'ELS

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_s} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201.63} = 0.527$$

- Calcul de la fibre neutre

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.527 \times 0.18 = 0.095 \text{ m}$$

- Calcul du moment résistant (Mserb) :

$$\begin{aligned} M_{serb} &= \frac{1}{2} \times \sigma_{bc} \times b_0 \times d^2 \times \alpha_{se} (1 - \frac{1}{3} \alpha_{ser}) \\ &= \frac{1}{2} \times 15 \times 1 \times 0.18^2 \times 0.527 (1 - \frac{1}{3} \times 0.527) = 0.11 \text{ MN.m} \end{aligned}$$

Mserb > Mser donc pas d'acier comprimés

$$Z_{ser} = (1 - \frac{1}{3} \alpha_{ser}) \times d = 0.18 (1 - \frac{1}{3} \times 0.527) = 0.15 \text{ m}$$

- Calcul de la section (Ast) :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{0.02223}{0.15 \times 201.63} = 7.35 \text{ cm}^2.$$

- Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 1.4 \times 0.18 \times \frac{2.1}{400} = 3.04 \text{ cm}^2.$$

A_{smin} = 3.04 cm². A_{smin} < A_{st} donc nous prenons A_{st} comme section d'acier.

Nous considérerons cependant la section d'aciers à ELS pour le ferrailage de la dalle :

L'épaisseur de dalle égale à 20 cm nous allons disposer deux nappes de ferrailage :

$$\frac{A_s}{\text{nappe}} = \frac{7.35}{2} = 3.675 \text{ cm}^2.$$

- Choix des aciers :

Nous convenons de prendre **5HA10** totalisant une section de **3.93 cm²**, équilibrant la section théorique de **3.675 cm²**.

$$\text{Espacement } S_t = (b_0 - ((1 \times Nbr) + e_n \times 2)) / (Nbr - 1)$$

$$(100 - ((1 \times 5) + 3 \times 2)) / (5 - 1) = 22,5 \text{ cm, on prendra } S_t = 20 \text{ cm}$$

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

- Aciers de répartition :

$A_r = \frac{A_s}{3} = \frac{3.675}{3} = 1.23 \text{ cm}^2$. Nous convenons de prendre 5HA8 totalisant une section de 2.51 cm^2 , équilibrant la section théorique de 1.23 cm^2 , espacés de 20 cm

✓ Calcul des piédroits

- Le poids propre de la dalle sur un piédroit :

$$P_{pd} = \frac{Pd}{2} = \frac{8.2}{2} = 4.1 \text{ kN/ml}$$

- Effort d'une roue sur le piédroit :

$$P_{pdBc} = \frac{Bc}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ kN/ml}$$

- Poids propre du piédroit :

$$P_{pdt} = \gamma b \times (h \times e + a \times e) \times 1 \text{ ml} = 25 \times (1.4 \times 0.20 + 0.08 \times 0.2) = 5.53 \text{ kN/ml}$$

- Poussée des terres :

$$P_t = 0.5 \times \gamma_{sol} \times K_a \times (h + e)^2 = 0.5 \times 20 \times 0.33 \times (1.4 + 0.2)^2 = 8.45 \text{ kN/ml}$$

- Surcharge sur le remblai :

$$q = K_a \times (h + e) \times \gamma q = 0.33 \times (1.4 + 0.2) \times 10 = 5.28 \text{ kN/ml}$$

- Calcul des sollicitations à l'ELS :

- Calcul de N_{ser} :

$$N_{ser} = P_{pd} + P_{pdBc} + P_{pdt} + P_t = 4.1 + 30 + 5.53 + 8.45 = 48.08 \text{ kN/ml}$$

- Calcul de M_{ser} :

$$M_{ser} = \frac{P_t \times h^2}{3} + \frac{q \times h}{2} = \frac{8.45 \times 1.4^2}{3} + \frac{5.28 \times 1.4}{2} = 9.22 \text{ kN.m}$$

- Calcul de l'excentricité e :

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{9.22}{48.08} = 0.19 \text{ m.}$$

Si $e < \frac{B}{6}$, la section est entièrement comprimée

Si $e > \frac{B}{6}$, la section est partiellement comprimée

$\frac{B}{6} = \frac{0.2}{6} = 0.033$ et $0.19 \text{ m} > 0.033 \text{ m}$. Donc la section est partiellement comprimée.

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

- Calcul de e_A

$$e_A = e + (d - 0,5 \times e_i) = 0,19 + (0,18 - 0,5 \times 0,2) = \mathbf{0,27 \text{ m.}}$$

- Calcul du moment de flexion fictif

$$M_{fictif} = N_{ser} \times e_A = 48,08 \times 0,27 = 12,9816 \text{ KN.m} = \mathbf{0,01298 \text{ MN.m}}$$

- Calcul de la fibre neutre :

$$y_{ser} = a_{ser} \times d = y_{ser} = 0,527 \times 0,18 = \mathbf{0,095 \text{ m}}$$

- Calcul du bras de levier :

$$Z_{ser} = (1 - \frac{1}{3} \times a_{ser}) = 0,18(1 - \frac{1}{3} \times 0,527) = \mathbf{0,15 \text{ m}}$$

- Calcul du moment résistant

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times y_{ser} \times \sigma_{bc} \times Z_{ser} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,095 \times 15 \times 0,15 = \mathbf{0,11 \text{ MN.m}}$$

$M_{serb} > M_{serfictif}$ donc pas d'acier comprimer.

- Calcul de la section d'acier :

$$A_{st} = \frac{M_{serfictif}}{Z_{ser} \times \sigma_s} - \frac{N_{ser}}{\sigma_s} = \frac{0,01298}{0,15 \times 201,63} - \frac{48,08}{201,63} = -0,23 \text{ cm}^2.$$

- Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1,4 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = \mathbf{3,04 \text{ cm}^2}.$$

$A_{smin} = 3,04 \text{ cm}^2$. $A_{smin} > A_{st}$ donc nous prenons A_{smin} comme section d'acier.

Nous convenons de prendre **6HA10** totalisant une section de **$4,71 \text{ cm}^2$** , équilibrant la section théorique de **$4,18 \text{ cm}^2$** .

$$\text{Espacement } S_t = (b_0 - ((1 * N_{br}) + e_n * 2)) / (N_{br} - 1)$$

$$(100 - ((1 * 6) + 3 * 2)) / (6 - 1) = 17,6 \text{ cm, on prendra } \mathbf{S_t = 15 \text{ cm}}$$

- Aciers de répartition :

$$A_r = \frac{A_s}{3} = \frac{3,04}{3} = \mathbf{1,013 \text{ cm}^2}.$$

Nous convenons de prendre **5HA8** totalisant une section de **$2,51 \text{ cm}^2$** , équilibrant la section théorique de **$1,013 \text{ cm}^2$** , espacés de **20 cm** .

✓ Calcul du Radier

- Poids propre du radier :

$$Prd = e_d \times \gamma_d \times L_{radier} = 0.2 \times 25 \times 1.4 = \mathbf{7 \text{ KN/ml}}$$

- Poids propre d'un piédroit :

$$Ppdt = 2 \times \gamma_b \times (f \times e + a \times e) \times 1 = 2 \times 25 \times (1.4 \times 0.2 + 0.08 \times 0.2) = \mathbf{14.8 \text{ KN/ml}}$$

- Poids propre de la dalle :

$$Pd = e_d \times \gamma_b \times 1.64 = 0.2 \times 25 \times 1.64 = \mathbf{8.2 \text{ KN/ml}}$$

- Poids de l'eau :

$$Pe = 10 \times 1.4 \times 1.4 = \mathbf{19.6 \text{ KN/ml}}$$

- Surcharge Bc

$$PBr = \frac{Bc}{0.8} = \frac{60}{0.8} = \mathbf{75 \text{ KN/ml}}$$

- Réaction du sol :

$$R = Prd + Ppdt + Pd + PBr + Pe = 7 + 14.8 + 8.2 + 75 = \mathbf{105 \text{ KN/ml}}$$

- Calcul du moment fléchissant Mser

$$M_{ser} = \frac{R \times L^2}{8} = \frac{105 \times 1.4^2}{8} = \mathbf{25.725 \text{ KN.m}}$$

- Calcul du moment résistant :

$$M_{serb} = \mathbf{0.11 \text{ MN.m.}}$$
 On a $M_{serb} > M_{ser}$ (pas d'acier comprimé).

- Calcul des sections d'acier :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_s} = \frac{0.02573}{0.15 \times 201.63} = \mathbf{8.36 \text{ cm}^2}.$$

- Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 1.4 \times 0.18 \times \frac{2.1}{400} = \mathbf{3.04 \text{ cm}^2}.$$

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Asmin=3.04 cm². Asmin < Ast donc nous prenons Ast comme section d'acier.

L'épaisseur du radier égale à 20 cm nous allons disposer deux nappes de ferrailage :

$$\frac{As}{nappe} = \frac{8.36}{2} = \mathbf{4.18 \text{ cm}^2}.$$

Nous convenons de prendre **6HA10** totalisant une section de **4.71 cm²**, équilibrant la section théorique de **4.18 cm²**.

$$\text{Espacement } St = (b_0 - ((1 * Nbr) + e_n * 2)) / (Nbr - 1)$$

$$(100 - ((1 * 6) + 3 * 2)) / (6 - 1) = 17.6 \text{ cm, on prendra } \mathbf{St = 15 \text{ cm}}$$

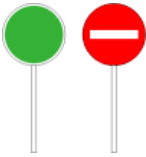
- Aciers de répartition :

$Ar = \frac{As}{3} = \frac{4.18}{3} = \mathbf{1.39 \text{ cm}^2}$. Nous convenons de prendre **5HA8** totalisant une section de **2.51 cm²**, équilibrant la section théorique de **1.23 cm²**, espacés de **20 cm**.

Annexe 5 : Signalisation routière

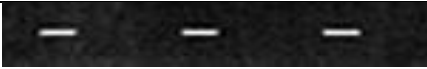
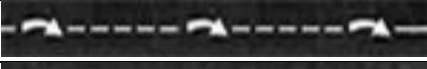
I. Signalisation verticale

Tableau 3 : Quelques panneaux utilisés pour notre projet

Type	Description	Type	Description
	KD22 Direction de déviation		Lieu aménagé pour les stationnements
	K10 Signal servant à régler manuellement la circulation		Céder le passage à l'intersection. Signale une position.
	B21-1- Obligation de tourner à droite		B14- Limitation de vitesse. Ce panneau notifie l'interdiction de dépasser la vitesse indiquée. Implanté à l'entrée des alignements droits.
	B21d1- Direction obligatoire à la prochaine intersection: tout droit ou à droite		Carrefour à sens giratoire
	B21e- Direction obligatoire à la prochaine intersection: à gauche ou à droite		

II. Signalisation horizontale

Tableau 4 : Quelques marquages horizontaux du projet

Type de ligne	Illustration
T'1	
T2	
T3	
La ligne continue	

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Annexe 6 : Avant-métré et Devis estimatif

I. Avant-métré

Tableau 5 : Avant-métré

Désignation	Unité	L (m)	l (m)	e/h (m)	Quantité	Observations
TRAVAUX PREPARATOIRES						
Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	m²	8000,00	30,00	-	240000,00	Agglomération
Démolition des ouvrages existants (dalot 3x2.50x1.50)	m³	12,00	0,50	0,50	6,00	Guides roues
		12,00	8,80	0,30	31,68	Tablier
		12,00	8,30	0,30	29,88	Radier (Rectangulaire)
		2,69	13,68	0,30	11,04	Radier (Trapézoïdale)
		12,00	0,25	1,50	4,50	Piédroits (voile)
		12,00	0,40	0,30	2,88	Piédroits (semelle)
		1,00	0,40	1,50	2,40	Mur en aile (rectangulaire)
		1,60	0,40	1,50	1,92	Mur en aile (trapézoïdale)
		3,80	0,40	0,30	1,82	Mur en aile (semelle)
		12,00	8,80	0,05	5,28	Béton de propreté (rectangulaire)
		2,69	13,68	0,05	1,84	Béton de propreté (trapézoïdale)
		2,00	13,68	0,50	13,68	Enrochement
		2,00	13,68	1,00	27,36	Gabions
		0,50	13,68	0,50	3,42	Gabions (bèche)
Démolition des ouvrages existants (Dalot ; nbre : 9)	m³	-	-	-	1293,33	Volume total
Démolition de buse existante (Buse 2φ100 ; nbre : 1)	ml	7,00	-	-	7,00	mètre linéaire de buse
Démolition de buse existante (Buse 3φ100 ; nbre : 1)	ml	7,00	-	-	7,00	mètre linéaire de buse
Décapage de la terre végétale sur 20 cm	m²	-	-	-	55,619	Agglomération
TERRASSEMENT						
Déblais	m³	-	-	-	27889,00	Après foisonnement
Remblais	m³	-	-	-	41207,00	Après compactage
Apport de matériaux pour remblai	m³	500,00	12,20	0,30	1830,00	
		3000,00	10,20	0,30	9180,00	
CHAUSSEE						

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

Couche de roulement en BB (5 cm)	m ³	-	-	-	6759,00	Épaisseur : 5 cm
Fourniture et mise en œuvre de cut-back 0/1 à 1200 kg/m	m ²	-	-	-	138275,00	Couche d'imprégnation
Couche de base en graveleux latéritique traité (25 cm)	m ³	-	-	-	34501,20	Traité à 4 % de ciment
Couche de fondation en graveleux latéritique (25 cm)	m ³	-	-	-	35685,60	Épaisseur : 25 cm
DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT						
Caniveaux en béton (130x130)	ml	5875,00	-	-	5875,00	
(dalot 3x2.50x1.50)	m ³	11,00	20,00	0,50	220,00	Fouilles
		17,50	0,50	0,50	8,75	Guides roues
	m ³	10,20	17,50	0,30	53,55	Tablier
	m ³	10,20	17,50	0,30	53,55	Radier (Rectangulaire)
	m ³	2,60	44,00	0,30	34,32	Radier (Trapézoïdale)
	m ³	10,20	0,30	3,00	9,18	Piédroits (voile)
	m ³	10,20	0,50	0,50	5,10	Piédroits (semelle)
	m ³	1,00	0,30	3,00	3,60	Mur en aile (rectangulaire)
	m ³	1,60	0,30	3,00	2,88	Mur en aile (trapézoïdale)
	m ³	2,80	0,50	0,50	2,80	Mur en aile (semelle)
	m ³	10,20	17,50	0,05	8,93	Béton de propreté (rectangulaire)
	m ³	2,80	44,40	0,05	6,22	Béton de propreté (trapézoïdale)
	m ³	2,00	26,90	0,50	26,90	Enrochement
	m ³	2,00	26,90	1,00	53,80	Gabions
	m ³	0,50	26,90	0,50	6,73	Gabions (bèche)
	m ²	4,50	0,80	-	14,40	Perrés maçonnés
		4,50	2,30	-	20,70	
	m ³	4,50	29,40	3,60	476,28	Blocs techniques (rectangulaire)
		1,00	19,20	3,60	138,24	Blocs techniques (rectangulaire)
	m ³	10,20	-	3,60	73,44	Parements enterrés (piédroits externes)
		1,00	-	3,60	14,40	Parements enterrés (murs en aile)
		1,60	-	3,60	23,04	
		2,80	-	0,50	2,80	
		10,20	17,50	-	178,50	Parements enterrés (radier)
		2,60	45,00	-	117,00	
Curage et nettoyage des dalots existants	ml					

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

DIVERS						Dispositions selon les plans
Marquage en peinture blanche retro réfléchissante axiale et de rive discontinu	ml	-	-	-	36081,37	
Marquage en peinture blanche retro réfléchissante spécial pour passage piétons	m²	-	-	-	72,00	
Fourniture et pose de bornes penta kilométriques	U	-	-	-	2,00	
Panneaux de signalisation type A, B, AB,	U	-	-	-	43,00	
Panneaux de signalisation type C, E	U	-	-	-	41,00	
Fourniture et pose de feux tricolores sur support court en acier	U	-	-	-	1,00	
Fourniture et pose d'armoire complète de commande	U	-	-	-	1,00	
Réalisation de ralentisseurs	ml	-	-	-	268,40	
Plantation d'arbres autour des zones protégées	U	-	-	-	59,00	
Aménagement des bassins au niveau des zone d'emprunt	U	-	-	-	3,00	
Réalisation de forages positifs à motricité	FF	-	-	-	1,00	

II. Devis estimatif

Tableau 6 : Devis estimatif du projet

N°	Désignation / Caractéristiques	U	Prix HTVA 2025 en F CFA OUAGADOUGOU		
			Qté	PU (FCFA)	PT (FCFA)
000	INSTALLATION GENERALE DU CHANTIER				
001	Installation et repli du chantier	FF	1,00	140133213,00	140133213,00
003	Etudes élaboration de dossier d'exécution	FF	1,00	48000000,00	48000000,00
006	Amené et repli du matériel	FF	1,00	70066606,00	70066606,00
	SOUS TOTAL SERIE 000				258199819,00
100	TRAVAUX PREPARATOIRES				
101	Abattage d'arbre pour élargissement de la chaussée de circonférence supérieure à 1 m	U	35,00	35000,00	1225000,00
102	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	m²	240000,00	300,00	72000000,00
103	Démolition des ouvrages existants en BA	m3	1293,33	49000,00	63373340,52
104	Démolition des ouvrages existants en béton non armé	m3	6759,00	37500,00	253462500,00
105	Démolition de buse en béton existante	ml	14,00	42350,00	592900,00
106	Décapage de la terre végétale sur 20 cm	m²	55619,00	380,00	21135220,00

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

	SOUS TOTAL SERIE 100					411788960,52
200	TRAVAUX PRELIMINAIRE-TERRASSEMENT GENERAUX					
201	Purge et remplacement des matériaux impropres		m3	11010,00	15500,00	170655000,00
203	Déblai meuble mis en dépôt provisoire		m3	27889,00	6500,00	181278500,00
202	Remblai ordinaire provenant d'emprunt		m3	41207,00	8000,00	329656000,00
204	Mise en forme, réglage et compactage de l'arase des terrassements		m²	240000,00	450,00	108000000,00
	SOUS TOTAL 200					789589500,00
300	CHAUSSEE & REVÊTEMENT					
301	Structure chaussée	Couche de fondation en graveleux latéritique amélioré au concassé pour chaussée	m3	35511,00	37800,00	1342315800,00
302		Couche de base en grave de Bitume	m3	28109,00	215000,00	6043435000,00
303		Couche de roulement en béton bitumineux pour chaussée	m3	5905,00	212000,00	1251860000,00
304	Anneau du giratoire	Couche de fondation en grave améliorée au ciment	m3	644,03	20000,00	12880530,00
305		Couche de base en grave de Bitume	m3	644,03	197700,00	127324039,05
306		Couche de roulement en béton bitumineux à module élevée pour chaussée	m3	225,40	387500,00	87344243,75
307	Fourniture et mise en œuvre de cut-back 0/1 à 1200 kg/m pour couche d'imprégnation		m²	138275,00	760,00	105089000,00
	SOUS TOTAL SERIE 300					8970248612,80
400	ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE					
	CANIVEAUX					
401	Caniveaux en béton armé 100 × 100		ml	2075,00	105000,00	217875000,00
402	Caniveaux en béton armé 120 × 120		ml	2666,66	114000,00	303999468,00
403	Caniveaux en béton armé 140 × 140		ml	3258,34	141500,00	461055110,00
404	Dallettes en béton armé pour caniveaux 100 × 100		ml	2075,00	36460,00	75654500,00
405	Dallettes en béton armé pour caniveaux 120 × 120		ml	2666,66	49000,00	130666340,00
406	Dallettes en béton armé pour caniveaux 140 × 140		ml	3258,34	60000,00	195500400,00
	DALOT					
407	Exécution des fouilles		m3	220,00	7000,00	1540000,00
408	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3		m3	15,14	77500,00	1173427,50
409	Béton armé dosé à 350 kg/m3		m3	180,46	225000,00	40602375,00
410	Recalibrage et rectification du cours d'eau		ml	20,00	150000,00	3000000,00
411	Fourniture et mise en œuvre de gabions		m3	53,80	45000,00	2421000,00
412	Fourniture et mise en œuvre d'enrochement		m3	26,90	27500,00	739750,00
413	Réalisation des perrés maçonnés		m²	35,10	22830,00	801333,00

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

414	Remblais contigus d'ouvrage (blocs techniques)	m3	614,52	8000,00	4916160,00
415	Badigeonnage des parements enterrés	m²	409,18	14250,00	5830815,00
416	Curage et nettoyage des dalots existants	ml	0,00	9000,00	0,00
	SOUS TOTAL SERIE 400				1445775678,50
500	SIGNALISATION ET SECURITE				
501	Marquage en peinture blanche retro réfléchissante axiale et de rive discontinu	ml	36081,37	3600,00	129892932,00
502	Marquage en peinture blanche retro réfléchissante spécial pour passage piétons	m²	72,00	5000,00	360000,00
503	Fourniture et pose de bornes penta kilométriques	U	2,00	77500,00	155000,00
504	Panneaux de signalisation type A, B, AB,	U	43,00	137500,00	5912500,00
505	Panneaux de signalisation type C, E	U	41,00	147500,00	6047500,00
506	Fourniture et pose de feux tricolores sur support court en acier	U	1,00	3000000,00	3000000,00
507	Fourniture et pose d'armoire complète de commande	U	1,00	6500000,00	6500000,00
508	Réalisation de ralentisseurs	ml	268,40	287500,00	77165000,00
	SOUS TOTAL SERIE 500				229032932,00
600	APPLICATION DES MESURES D'ATTENUATION PROPOSEES				
601	Plantation d'arbres autour des zones protégées	U	59,00	9000,00	531000,00
602	Aménagement des bassins au niveau des zone d'emprunt	U	3,00	6750000,00	20250000,00
603	Réalisation de forages positifs à motricité	FF	1,00	5500000,00	5500000,00
	SOUS TOTAL SERIE 600				26281000,00
	MONTANT TOTAL HTVA				12130916502,82
	TVA (18%)				2183564970,51
	IMPREVUS (3%)				363927495,08
	MONTANT TOTAL TTC				14678408968,41

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

MODULE

Épaisseurs	Piédroits: 25 cm Tablier: 30 cm Radier: 25 cm
Cellule 1	Mesure de la portée: Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée: 250 cm Portée en sortie: 250 cm
Mur intermédiaire 1	Épaisseur: 25 cm
Cellule 2	Mesure de la portée: Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée: 250 cm Portée en sortie: 250 cm
Mur intermédiaire 2	Épaisseur: 25 cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Longueur totale: 3.80 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.30 m
Épaisseur de la semelle: 0.50 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.25 m
- Avant: 0.25 m

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Longueur totale: 3.80 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.30 m
Épaisseur de la semelle: 0.50 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.25 m
- Avant: 0.25 m

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Longueur totale: 3.80 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.30 m
Épaisseur de la semelle: 0.50 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.25 m
- Avant: 0.25 m

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Longueur totale: 3.80 m
Longueur supérieure: 0.40 m
Épaisseur en extrémité: 0.30 m
Surcharge du terrain sur l'arrière: 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur: 0.30 m
Épaisseur de la semelle: 0.50 m
Débords semelle:
- Arrière: 0.25 m
- Avant: 0.25 m

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

3.- TERRAINS

Module de réaction: 90000.0 kN/m³

Contrainte admissible sol d'assise: 200.00 kN/m²

Poids volumique: 20.0 kN/m³

Angle de frottement interne: 30 degrés

Cohésion: 0.00 kN/m²

Pourcentage de frottement terrain-mur: 0 %

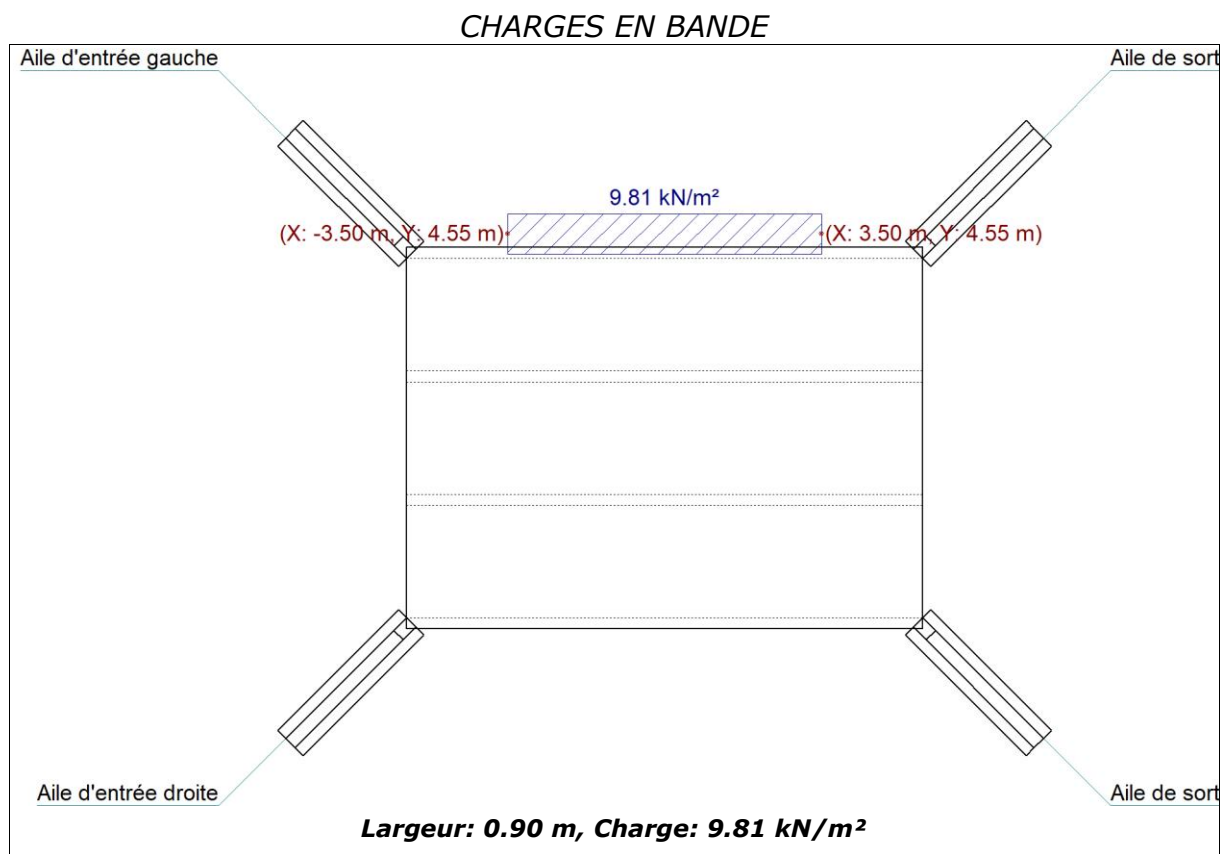
Angle de transmission des charges: 45 degrés

4.- ACTIONS

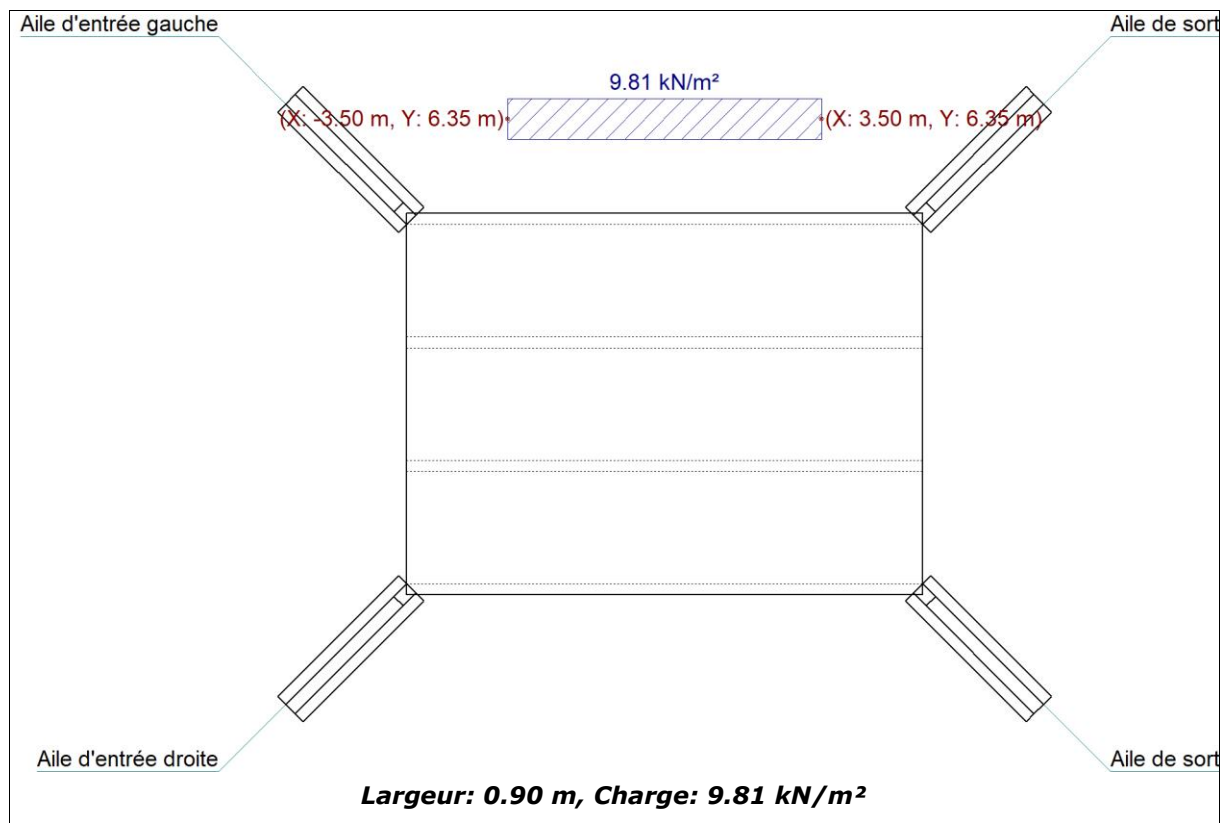
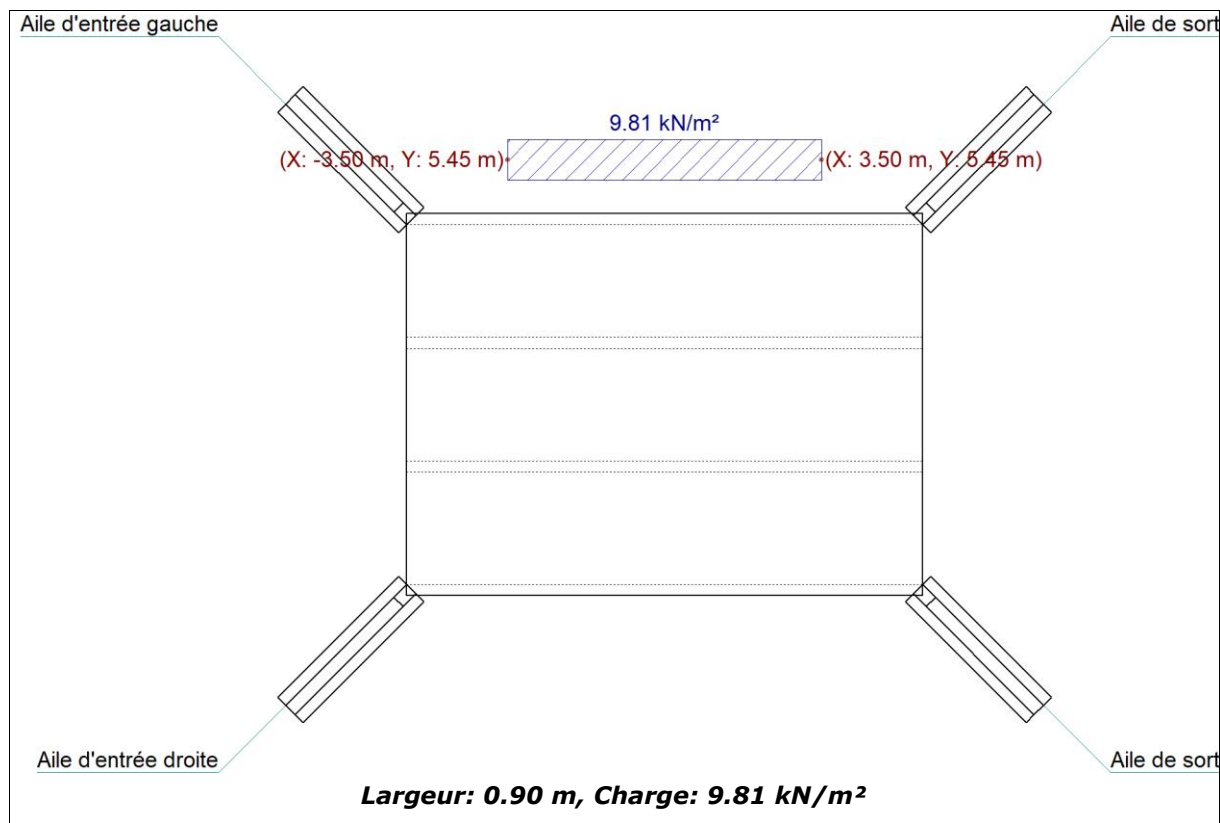
Surcharge uniforme supérieure: 1.00 kN/m²

Sans surcharge inférieure

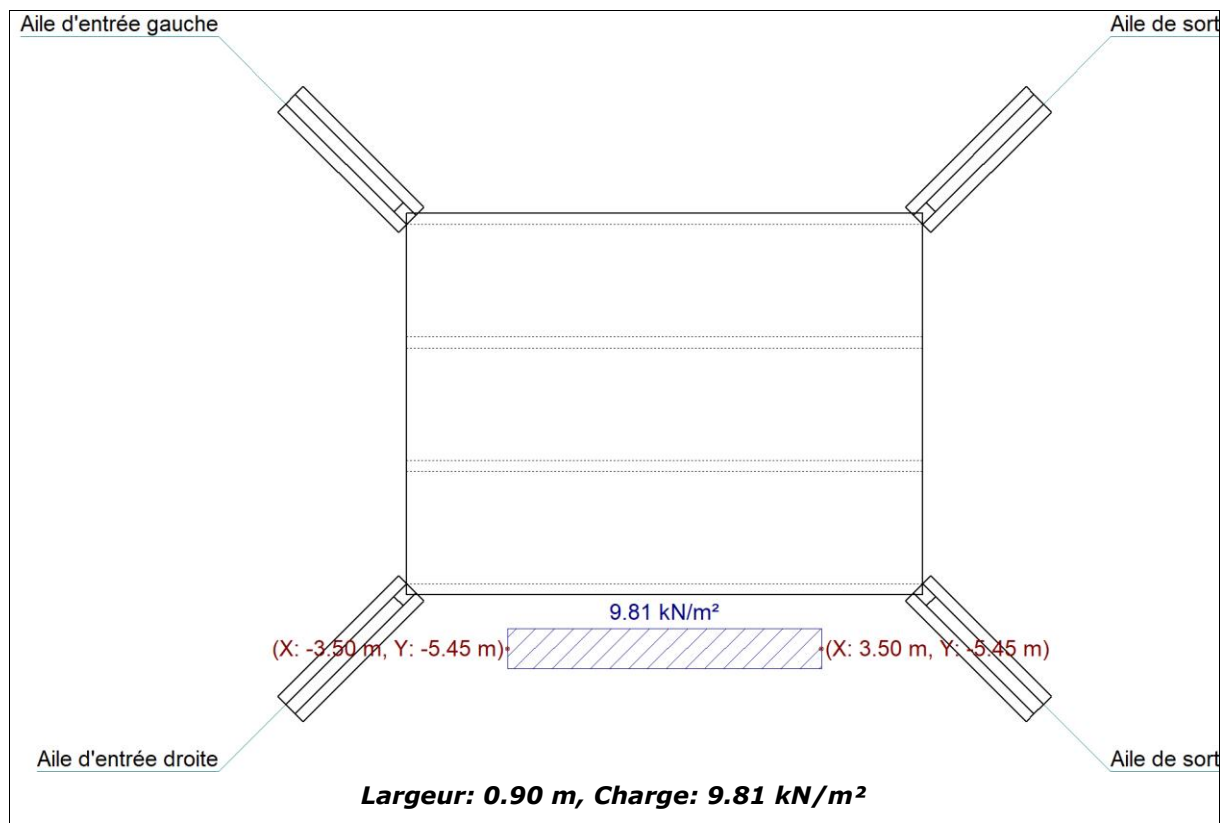
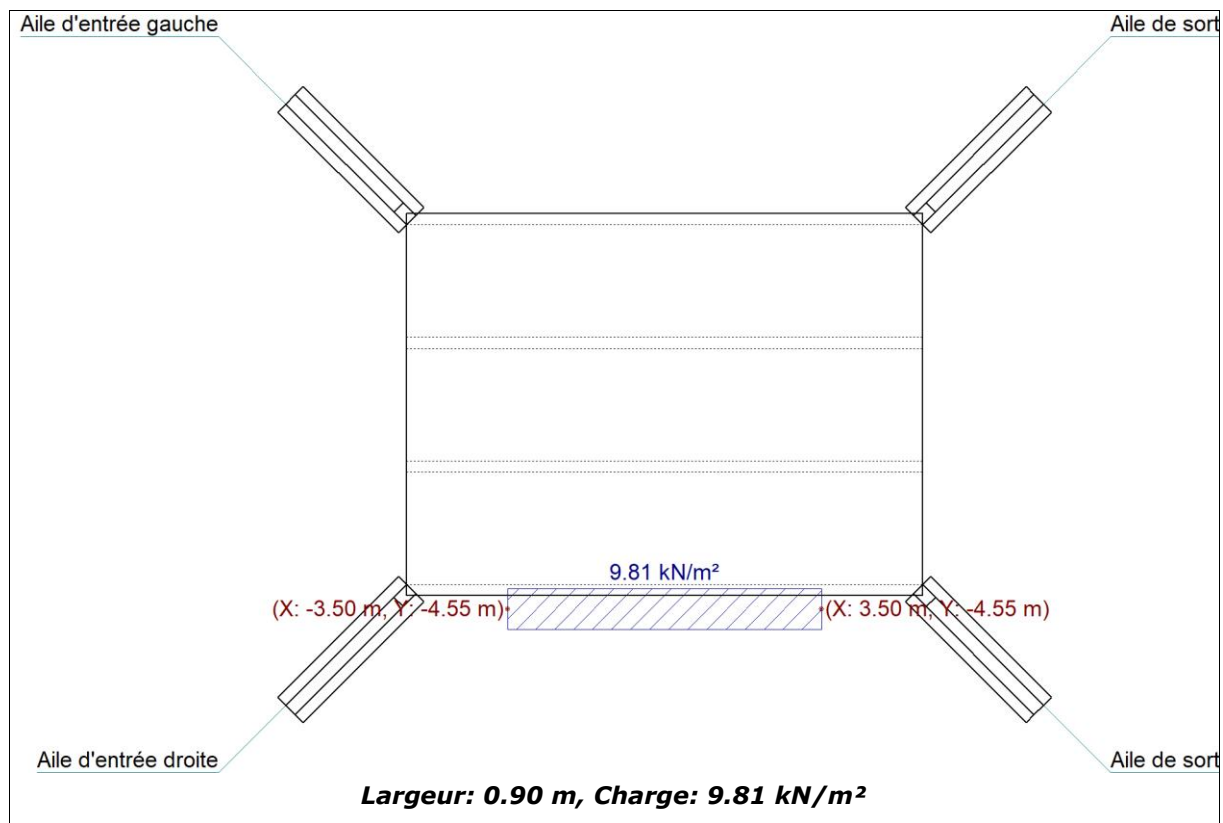
Sans charge hydraulique



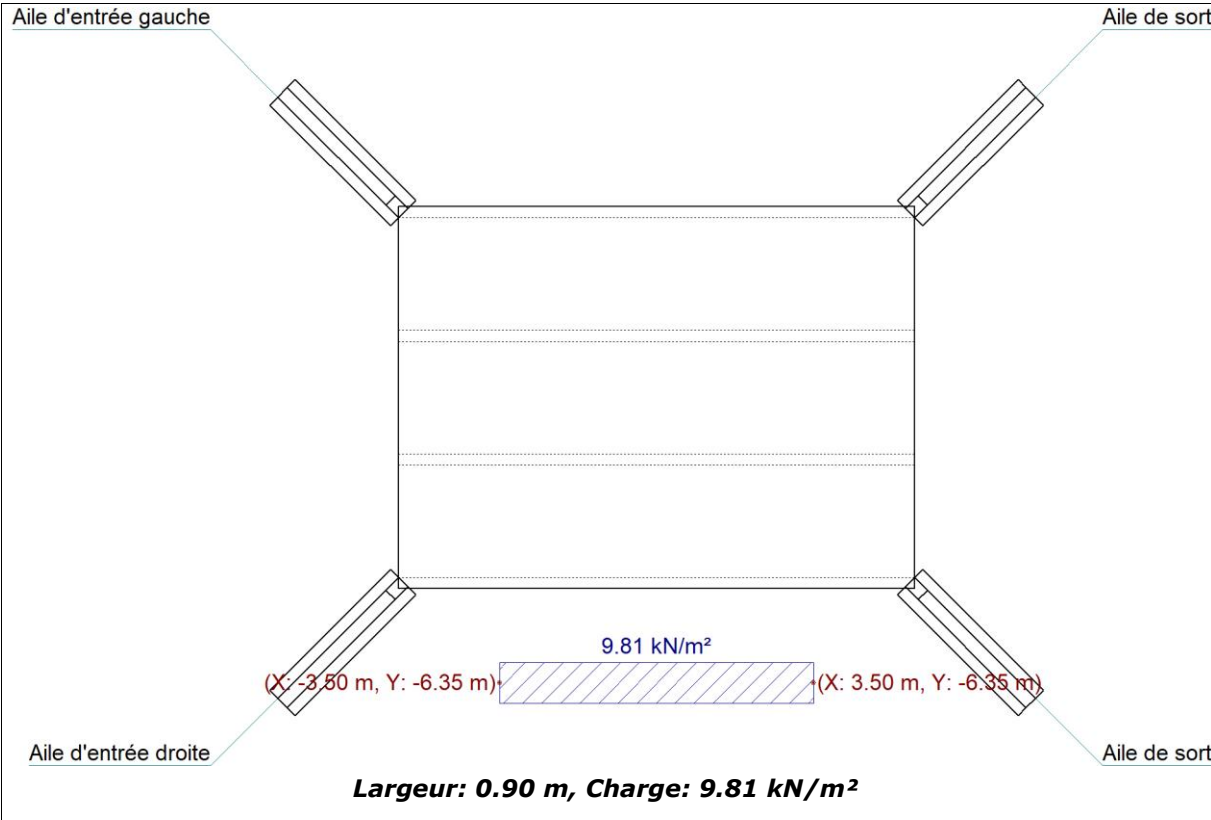
**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**



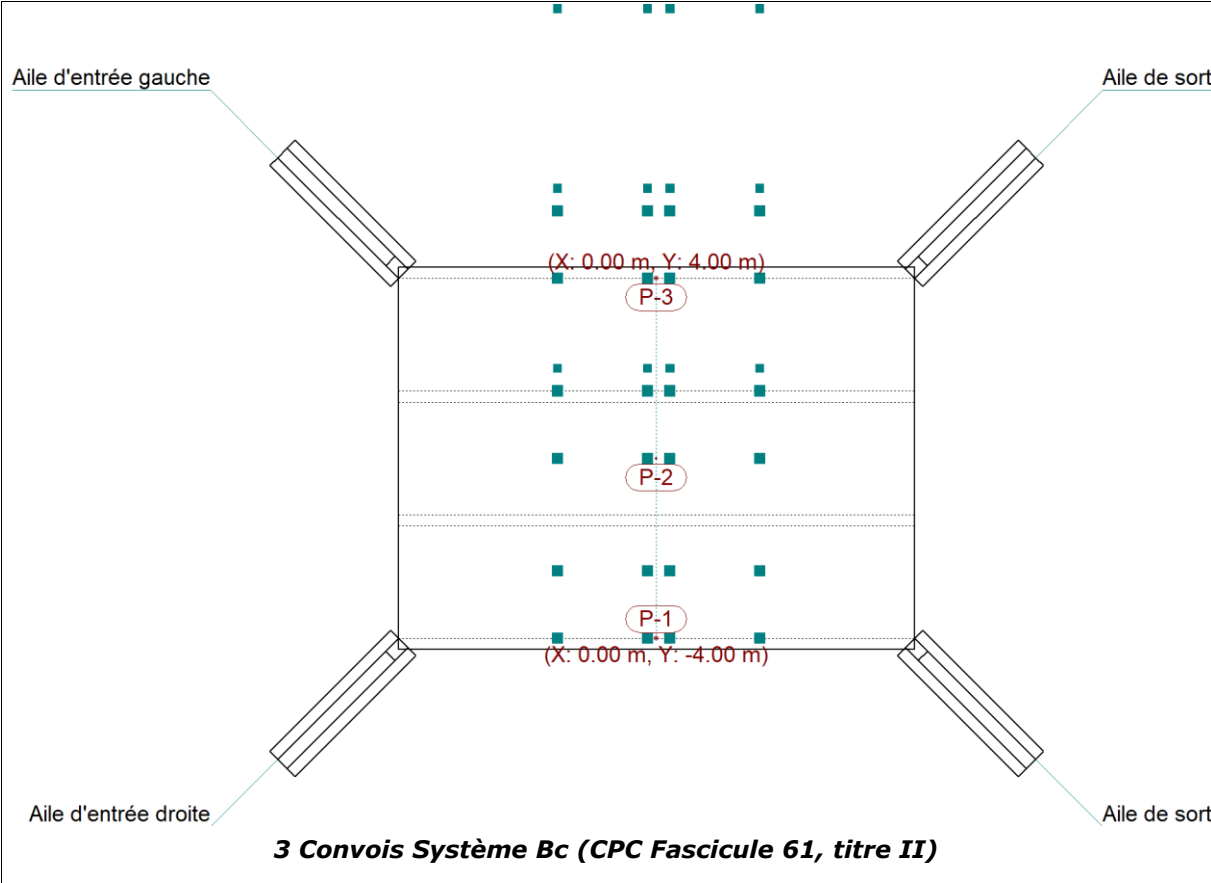
**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**



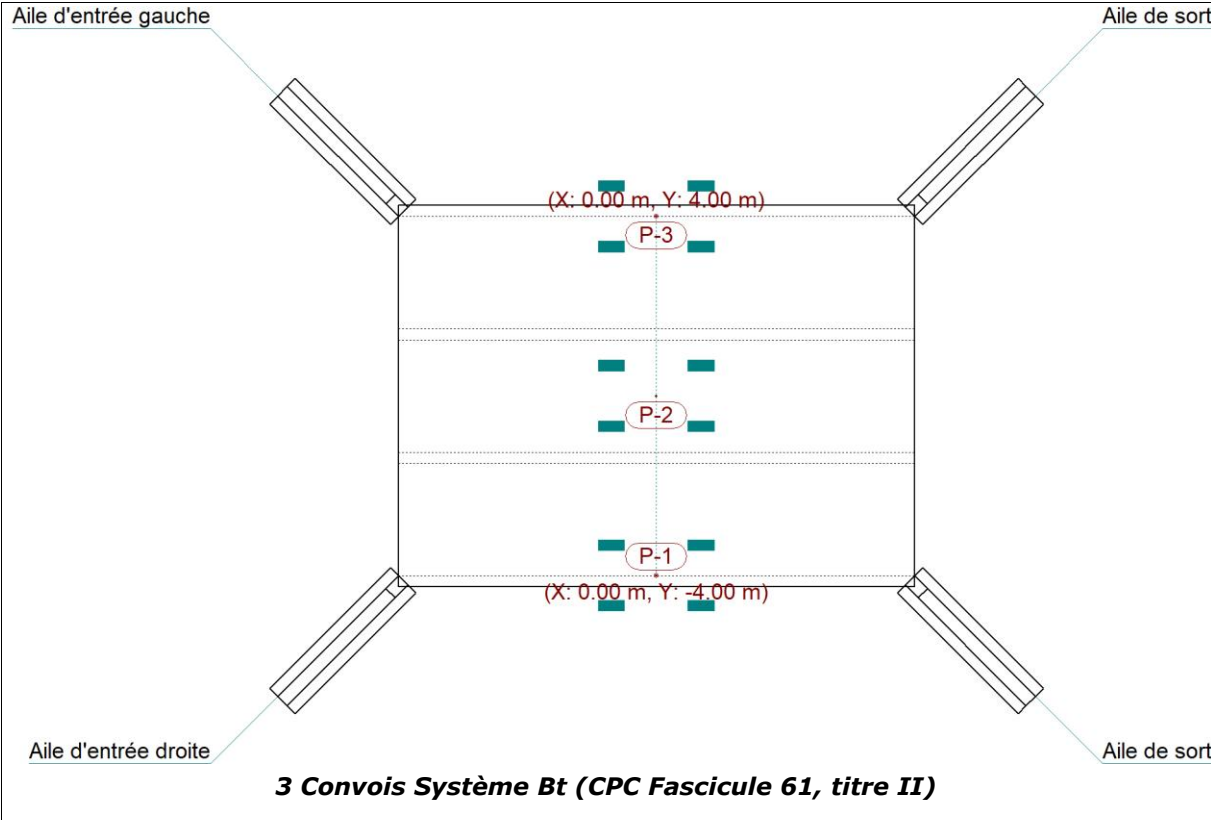
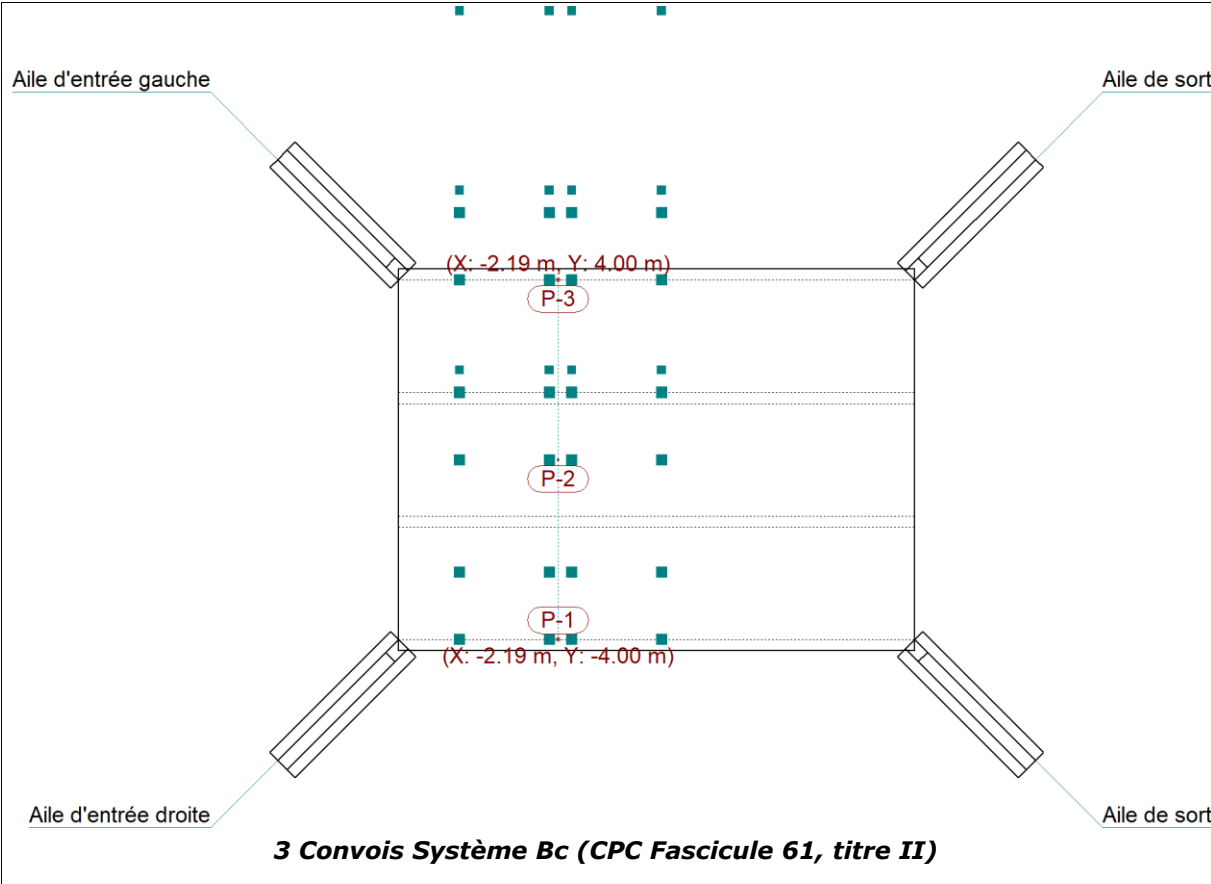
Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.



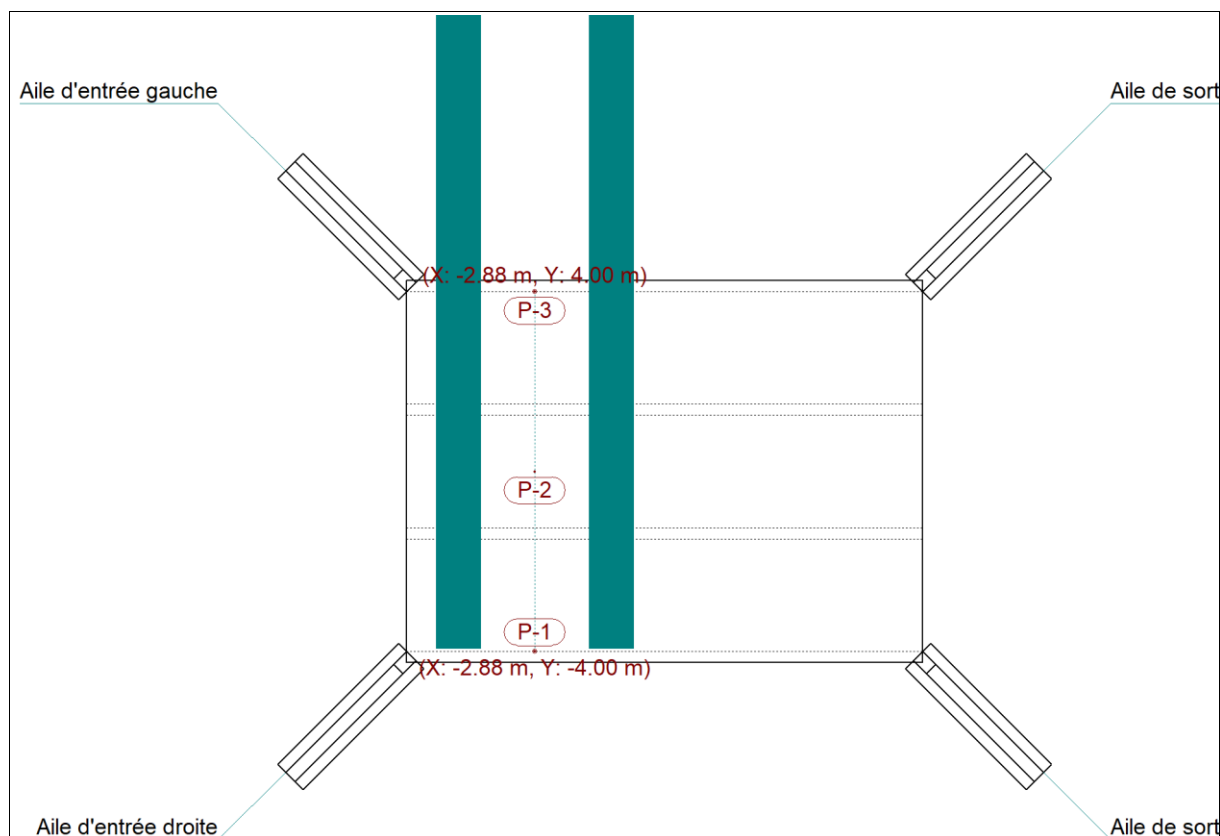
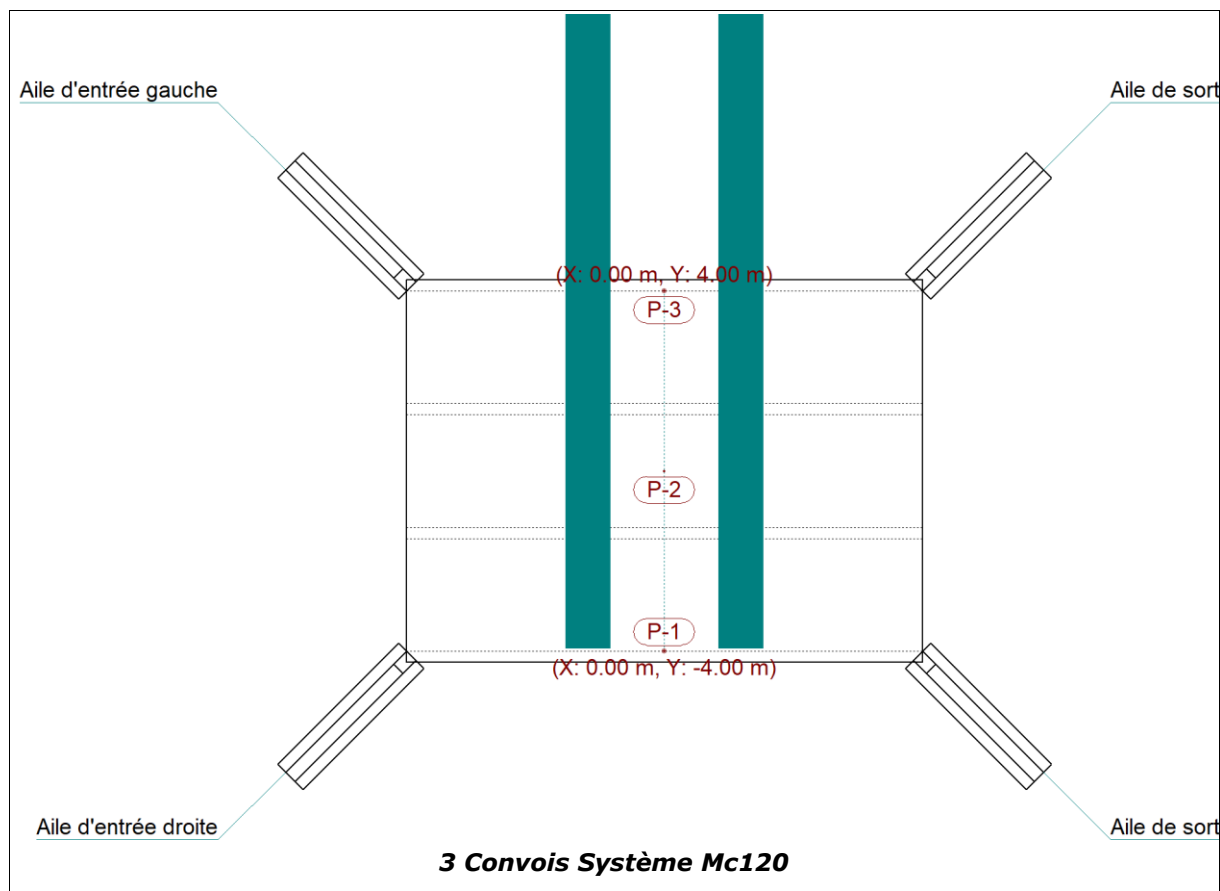
CONVOI DE CHARGE



**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**



**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**



Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

3 Convois Système Mc120

5.- MÉTHODE DE CALCUL

Le modèle de calcul utilisé consiste en éléments finis triangulaires du type lamelle épaisse tridimensionnelle, qui considère la déformation par l'effort tranchant. Chaque élément est constitué de six noeuds, aux sommets et aux milieux des côtés, avec six degrés de liberté chacun. Le maillage du pont-cadre est réalisé en fonction de ses dimensions (épaisseur et portée). Sur chaque noeud, après une analyse élastique et linéaire, huit efforts sont obtenus, avec lesquels la section de béton et l'armature sont dimensionnées et vérifiées. A partir des déplacements sont vérifiés la flèche, les pressions sur le terrain, le soulèvement du radier, etc.

6.- DESCRIPTION DE L'ARMATURE

MODULE				
Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA10e=15, crosse=35cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=20, crosse=18cm	Renforts 1: HA10 - Murs 1 à 1 - Longueur ini.= 1.01m - Longueur fin.= 1.01m Renforts 2: HA10 - Murs 2 à 2 - Longueur ini.= 1.01m - Longueur fin.= 1.07m
	Inférieur	Longitudinal	HA10e=20, crosse=35cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=15, crosse=11cm	Renforts 1: HA10 - Cellules 1 à 1 - Longueur ini.= 0.59m - Longueur fin.= 0.83m Renforts 2: HA10 - Cellules 3 à 3 - Longueur ini.= 0.86m - Longueur fin.= 0.59m
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=20, crosse=25cm	Renforts 1: HA12 - Murs 1 à 1 - Longueur ini.= 1.04m - Longueur fin.= 1.04m Renforts 2: HA12 - Murs 2 à 2 - Longueur ini.= 1.04m - Longueur fin.= 0.89m
	Supérieur	Longitudinal	HA12e=20, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=20, crosse=13cm	Renforts 1: HA12 - Cellules 3 à 3 - Longueur ini.= 0.90m - Longueur fin.= 0.62m
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA10e=20, crosse=14cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=18 cm	Renfort inférieur: HA10 - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=18 cm

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
	Avant	Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
		Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA10e=20, crosse=14cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=18 cm	Renfort inférieur: HA10 - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=18 cm
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
	Avant	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
Mur intermédiaire 1	Gauche	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
	Droite	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
Mur intermédiaire 2	Gauche	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	
	Droite	Vertical	HA10e=20, crosse=11cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=11 cm	
		Horizontal	HA10e=20, crosse=35cm	

**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA12e=10, crosse=10cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA10e=20 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: HA10e=15 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: HA12e=10 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA12e=10, crosse=10cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: HA12e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: HA12e=10 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA12e=10, crosse=10cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: HA12e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: HA12e=10 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Armature horizontale: HA10e=15 Armature longitudinale inférieure: HA12e=10, crosse=10cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA12e=10 - Recouvrement =0.40m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m Armature verticale avant: HA12e=10 - Recouvrement =0.25m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.19m	Transversal inférieur: HA12e=10 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

PROFIL 1

TABULA 1.PIS

S = 0.000
 ZTN = 286.796
 ZPRD= 286.796

ECHS=1/ 200
 ECHZ=1/ 200
 PC = 283.0
 LICENCE : 3958

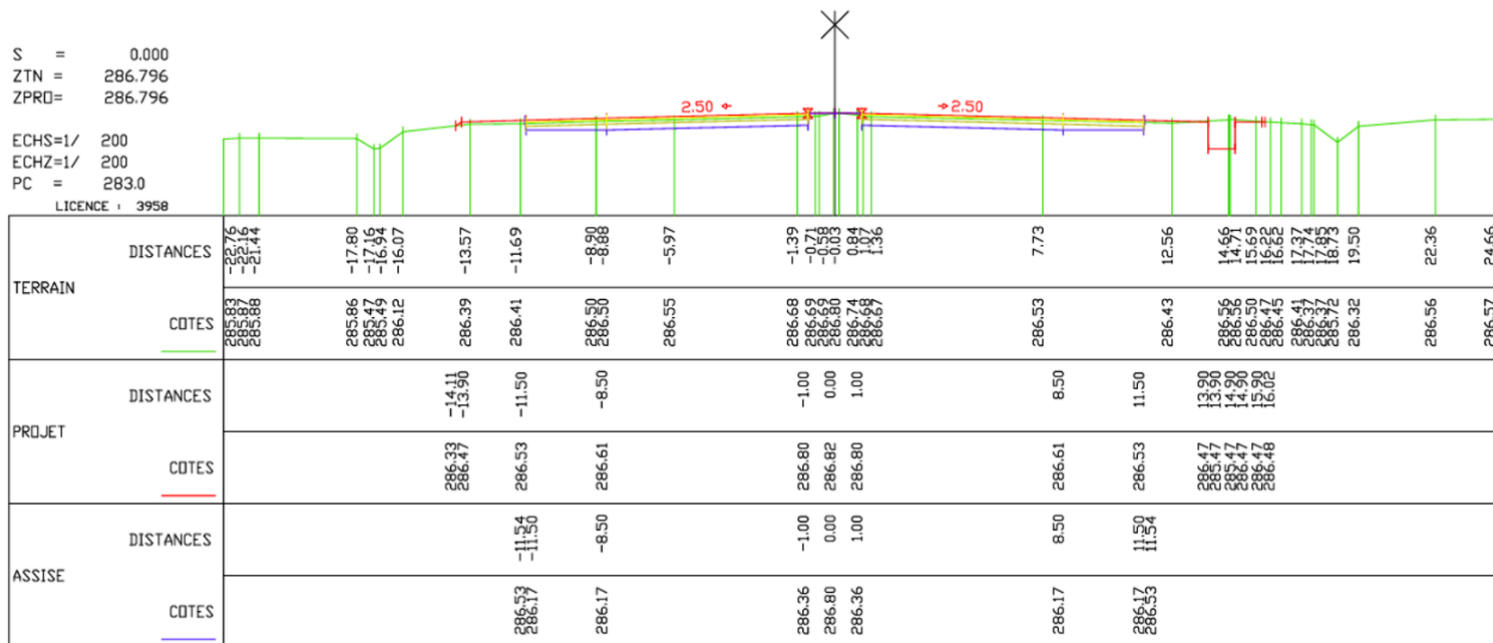


Figure 1 : Profil en travers courant (P1)

PROFIL 58

TABULA 1.PIS

S = 1483.828
 ZTN = 290.050
 ZPRD= 289.359

ECHS=1/ 200
 ECHZ=1/ 200
 PC = 286.0
 LICENCE : 3958

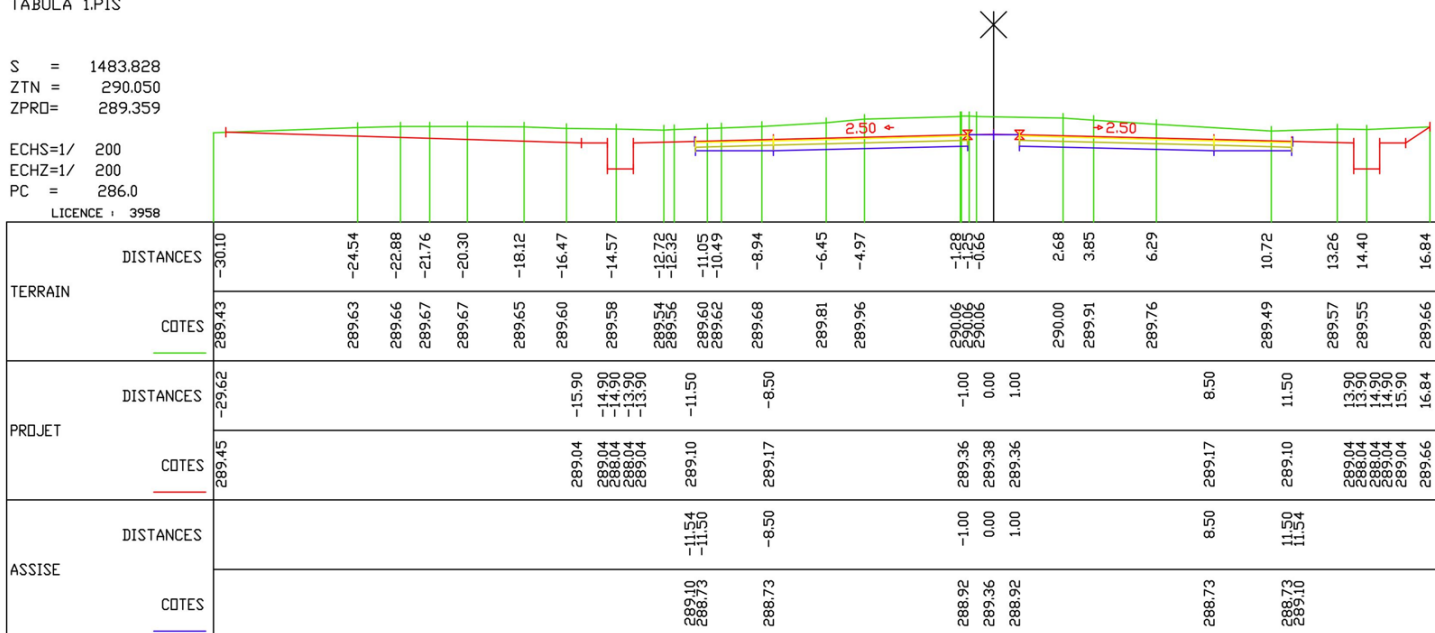
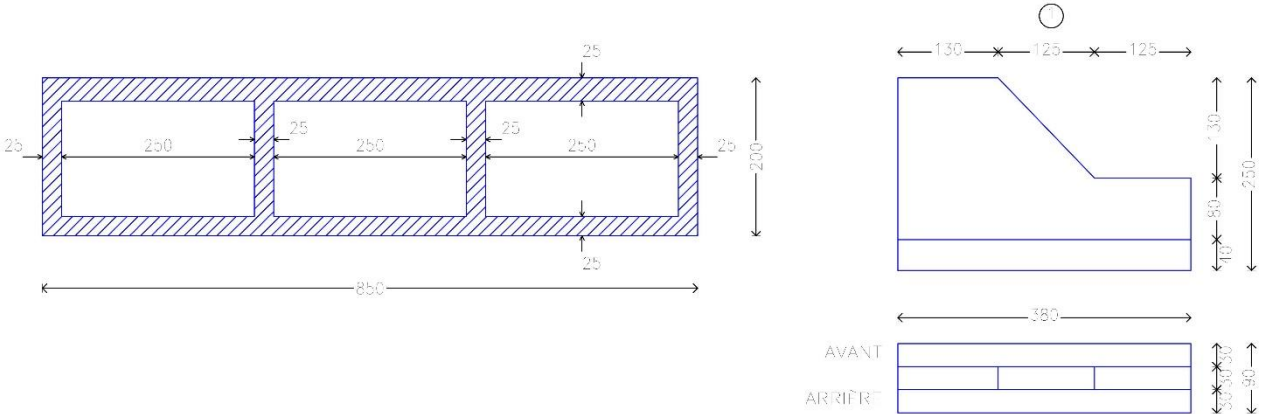


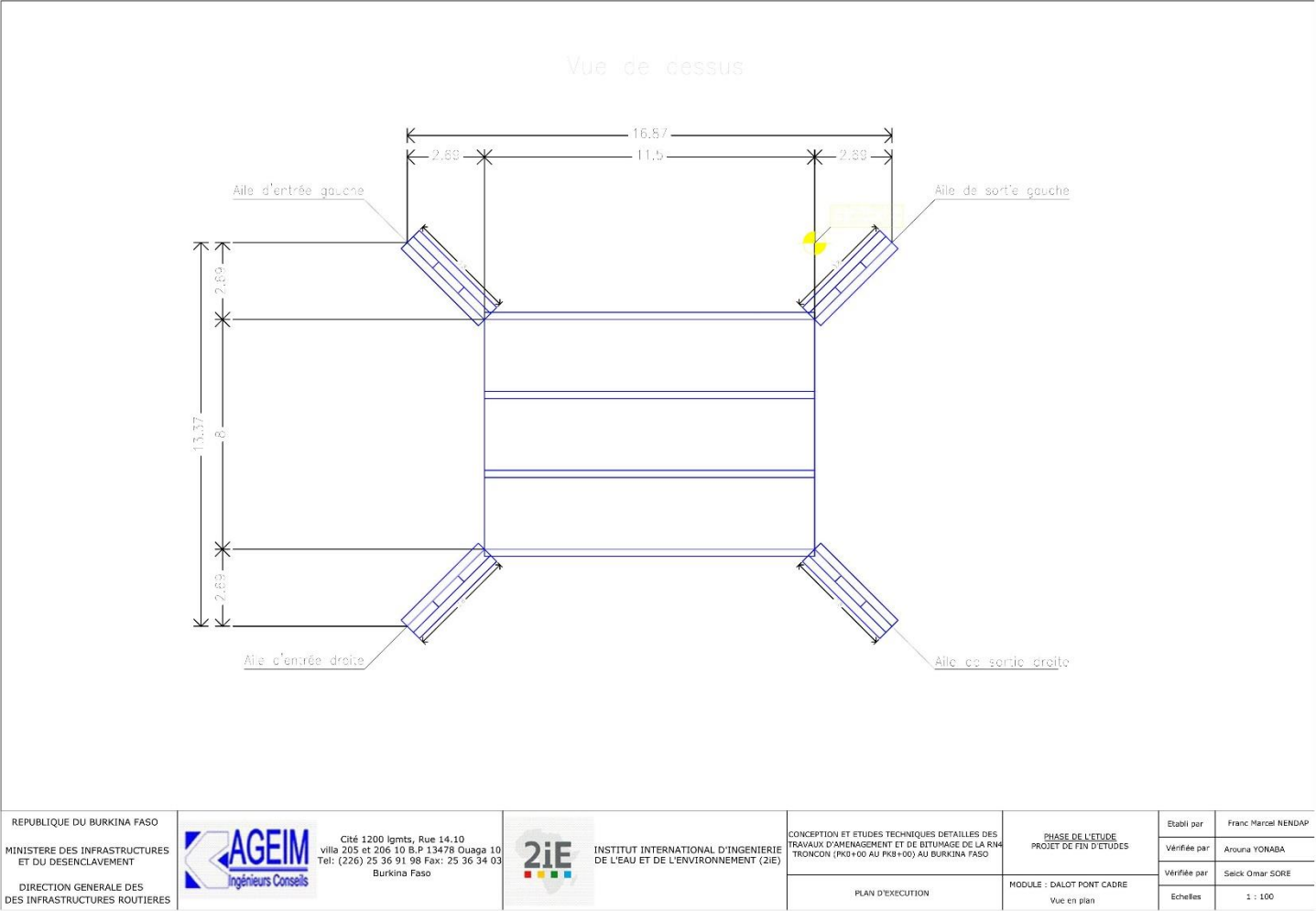
Figure 2 : Profil en travers courant (P58)

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.

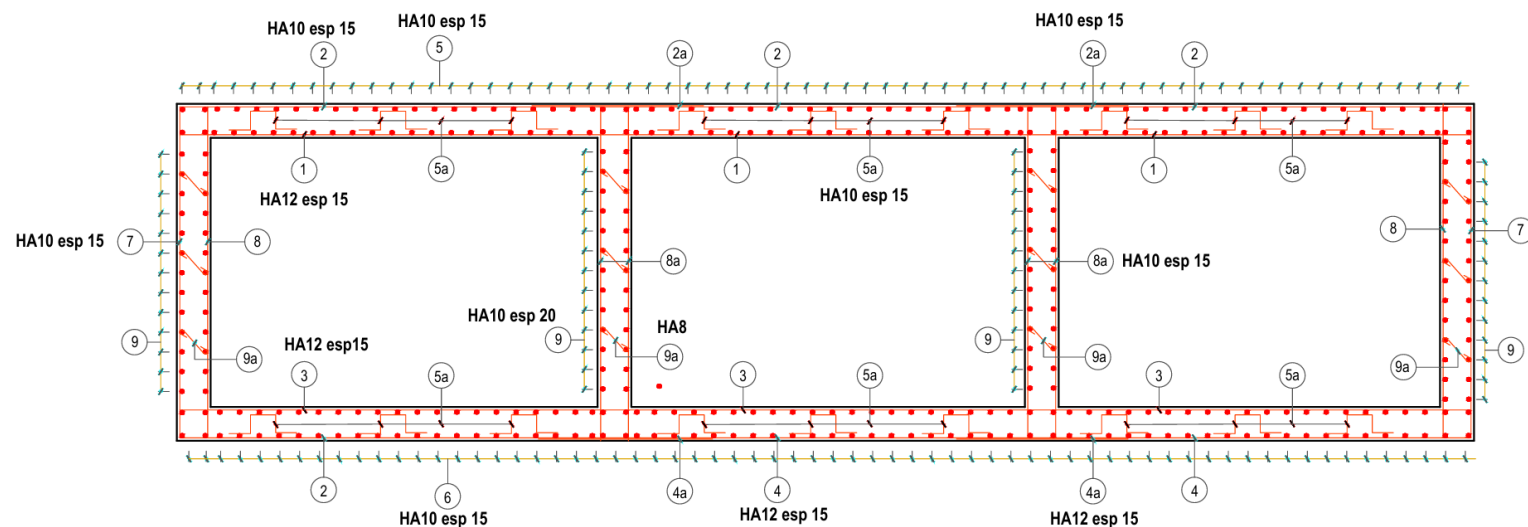


REPUBLIQUE DU BURKINA FASO		Cité 1200 Igmts, Rue 14.10 villa 205 et 206 10 B.P 13478 Ouaga 10 Tel: (226) 25 36 91 98 Fax: 25 36 34 03 Burkina Faso		INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (2iE)	CONCEPTION ET ETUDES TECHNIQUES DETAILLES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA RN4 TRONCON (PK0+00 AU PK8+00) AU BURKINA FASO	PHASE DE L'ETUDE PROJET DE FIN D'ETUDES	Etabli par Franc Marcel NENDAP
MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLEMENT							Vérifiée par Arouna YONABA
DIRECTION GENERALE DES DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES							Vérifiée par Sack Omar SORE
					PLAN D'EXECUTION	MODULE : DALOT PONT CADRE Ouvertures et Mur en Aile	Echelles 1 : 100

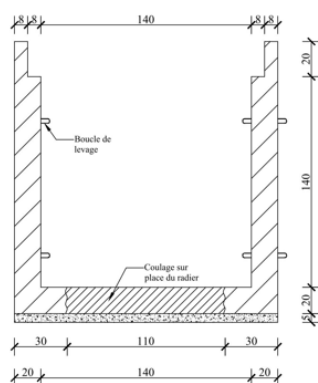
Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.



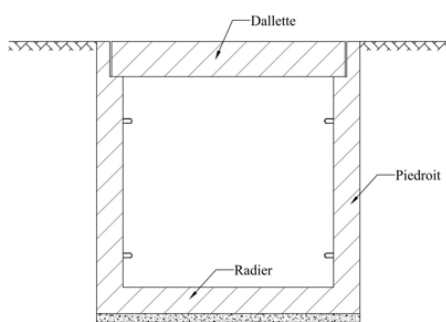
**Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.**



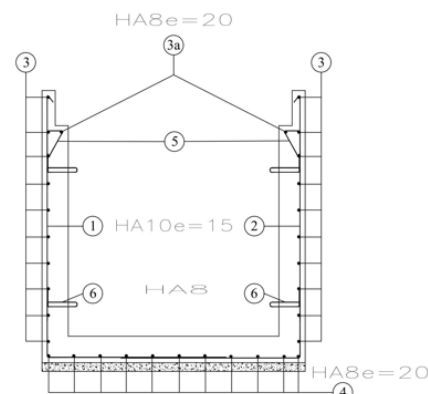
SECTION DU DALOT



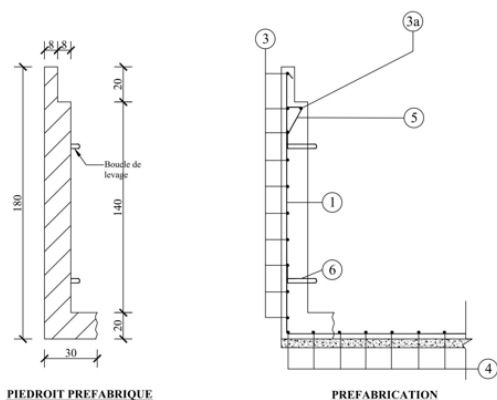
COUPE TRANSVERSALE



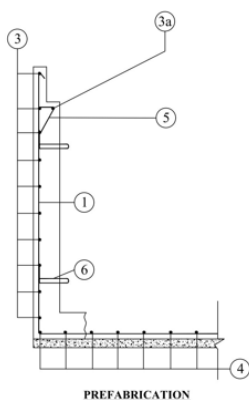
MISE EN OEUVRE DU CANIVEAU



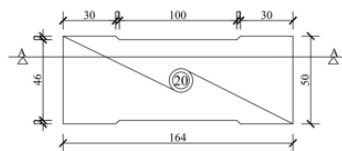
PLAN DE FERRAILLAGE



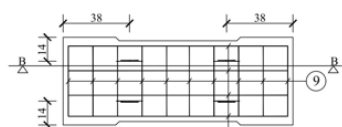
PIEDROIT PREFABRIQUE



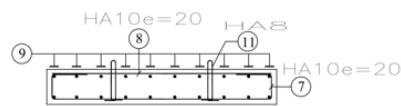
**PREFABRICATION
DES PIEDROITS**



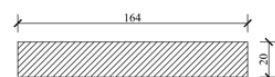
DALLETTE : VUE EN PLAN



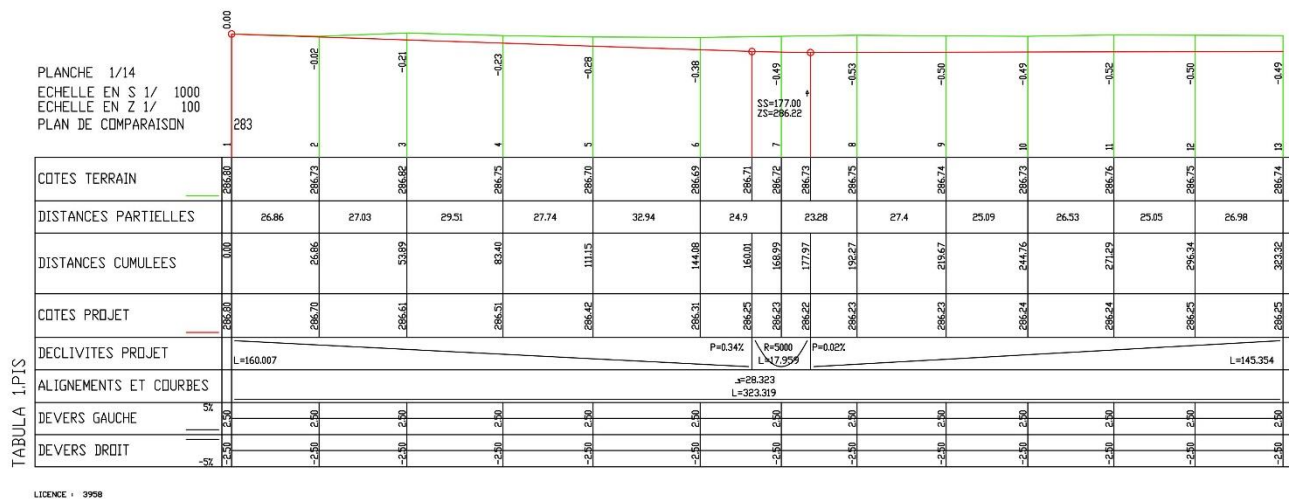
**DALLETTE : PLAN DE
FERRAILLAGE**



DALLETTE : COUPE B-B

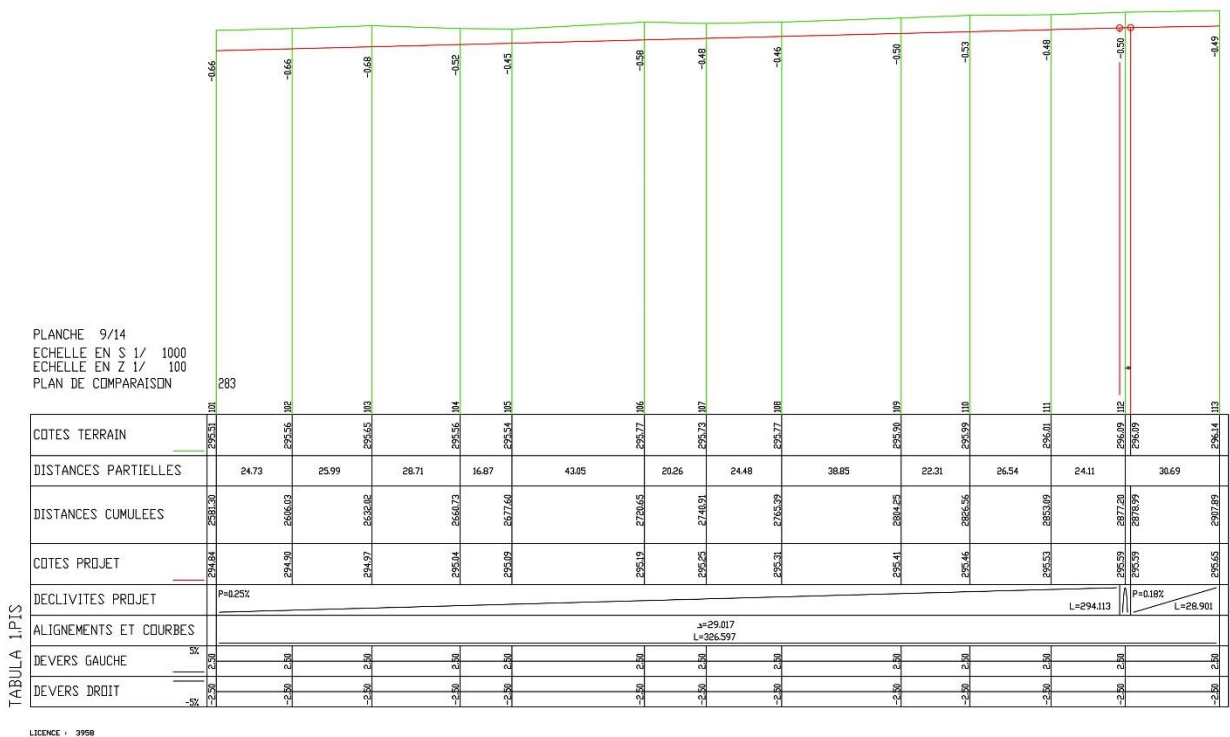


DALLETTE : COUPE A-A



REPUBLIQUE DU BURKINA FASO	 Cité 1200 Igmts, Rue 14.10 villa 205 et 206 10 B.P 13478 Ouaga 10 Tel: (226) 25 36 91 98 Fax: 25 36 34 03 Burkina Faso	 INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (2iE)	CONCEPTION ET ETUDES TECHNIQUES DETAILLES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA RN4 TRONCON (PK0+00 AU PK8+00) AU BURINA FASO	PHASE DE L'ETUDE PROJET DE FIN D'ETUDES	Etabli par	Franç Marcel NENDAP
MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT					Vérifiée par	Arouna YONABA
DIRECTION GENERALE DES DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES					Vérifiée par	Seick Omar SORE
			PLAN D'EXECUTION	MODULE 1: Profil en long	Echelles	1 : 100

Conception et étude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou (Burkina Faso)
: cas du tronçon PK 0+00 au PK 8+00 avec intégration de deux carrefours plans giratoires.



REPUBLIQUE DU BURKINA FASO		Cité 1200 Igmts, Rue 14.10 villa 205 et 206 10 B.P 13478 Ouaga 10 Tel: (226) 25 36 91 98 Fax: 25 36 34 03 Burkina Faso		INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (2iE)	CONCEPTION ET ETUDES TECHNIQUES DETAILLES DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA RN4 TRONCON (PK0+00 AU PK8+00) AU BURINA FASO	PHASE DE L'ETUDE PROJET DE FIN D'ETUDES	Etabli par	Franç Marcel NENDAP
MINISTRE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT							Vérifiée par	Arouna YONABA
DIRECTION GENERALE DES DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES							Vérifiée par	Seick Omar SORE
					PLAN D'EXECUTION	MODULE 1: Profil en long	Echelles	1 : 100