Étude technique, conception d'un carrefour dénivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 : cas du carrefour à l'intersection RN4-RD40 sur le tronçon PK 20+487 au PK 22+547 (2,06 km) à Boutenga, Burkina Faso

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 17/07/2026 par

Dany Fridolin OUAGONDA (20230058)

Encadrant 2iE : Dr Abdoul LAWANE GANA, Enseignant-chercheur, Institut 2iE

Maître de stage : Arouna YONABA, Ingénieur Génie Civil, AGEIM-IC

Structure (s) d'accueil du stage : **Ag**ence d'**É**tudes d'**I**ngénierie et de **M**aîtrise d'œuvre **I**ngénieurs **C**onseils (AGEIM IC)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Decroly DJOUBISSIÉ DENOUWÉ

Membres : M. Marc COMBERE

M. Daroche G. NGOUDIMAMBA SAH

Promotion 2025 - 2026

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

➢ À l'Éternel, le Dieu Tout-Puissant, pour ses grâces et ses bénédictions qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours académique ;

➢ À mon père **OUAGONDA Frédéric**, en signe de profonde reconnaissance pour son soutien constant, ses sacrifices et ses encouragements qui ont rendu possible la poursuite de mes études ;

➢ À ma famille, pour leur amour, leur appui indéfectible et leur présence bienveillante.

➢ À mes amis et camarades de classe, pour leur soutien et leur collaboration sincère.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans le soutien de nombreuses personnes. Nous exprimons notre profonde gratitude à :

M. Tiraogo Hervé OUEDRAOGO, Directeur Général de **AGEIM Ingénieurs-Conseils,** pour l'opportunité de stage offerte au sein de son agence ;

Pr. Abdoul LAWANE GANA, directeur de mémoire, pour son accompagnement et ses précieux conseils malgré ses multiples responsabilités ;

M. Arouna YONABA, maître de stage, pour sa disponibilité et ses orientations éclairées ;

M. Brice KIEMA, ingénieur en génie civil, pour son expertise et son aide durant le stage ;

L'ensemble du personnel de AGEIM Ingénieurs-Conseils, pour leur accueil chaleureux, en particulier Dr. Mahaman OUEDRAOGO, Directeur Général Adjoint, et M. Gilles GUIGMA, ingénieur en Ouvrages d'Art, pour leurs conseils avisés ;

M. le Directeur Général de l'institut 2iE, ainsi que l'administration et les professeurs, pour leur engagement dans la transmission du savoir ;

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail.

RESUME

Dans le cadre de ses activités liées aux projets routiers, AGEIM Ingénieurs-Conseils a conduit l'étude, le suivi et le contrôle des travaux d'élargissement et de modernisation de la RN4, sur le tronçon allant de l'intersection RD152 à celle de la RD40, au Burkina Faso. Ce projet stratégique vise à fluidifier la circulation, renforcer la sécurité et stimuler le développement économique et social. À Boutenga, au croisement RN4-RD40, la réalisation d'un carrefour dénivelé (mini-échangeur) est prévue. Ce mémoire s'articule autour de la conception et de l'analyse technique détaillée de cet ouvrage, avec pour objectif principal de proposer une solution adaptée aux défis de mobilité et de sécurité dans une zone à fort trafic.

L'étude comprend :La présentation du projet et du rôle de l'agence AGEIM-IC, ainsi que ses compétences en matière d'infrastructures ;L'analyse géométrique et le dimensionnement de la chaussée, garantissant une structure conforme aux normes et durable ;La conception du pont-dalle, avec l'examen de plusieurs variantes pour retenir l'option la plus efficiente et économique ;L'étude technique du pont, incluant les hypothèses de calcul, la descente des charges et le dimensionnement des armatures ;L'évaluation des impacts environnementaux, accompagnée de mesures d'atténuation pour réduire les nuisances.

Les résultats ont permis de définir une solution technique fiable, intégrant les plans d'exécution et une estimation financière, afin d'assurer la réussite et la durabilité du projet.

Mots clés

- Carrefour
- Environnement
- Analyse technique
- Ouvrage d'art
- Infrastructure routière

ABSTRACT

As part of its road infrastructure projects, AGEIM Ingénieurs-Conseils undertook the study, monitoring, and supervision of the widening and modernization works on the RN4, between the RD152 and RD40 intersections in Burkina Faso. This strategic project aims to improve traffic flow, enhance road safety, and support socio-economic development. At Boutenga, a grade-separated junction (mini-interchange) is planned at the RN4–RD40 crossing.This thesis focuses on the design and detailed technical analysis of this structure, with the main objective of providing an appropriate solution to the challenges of mobility and safety in a high-traffic area.

The study includes:Presentation of the project and the role of AGEIM-IC, highlighting its expertise in infrastructure;Geometric analysis and pavement design, ensuring compliance with standards and long-term durability;Design of the slab bridge, with comparative assessment of several alternatives to select the most efficient and cost-effective option;Technical study of the bridge, including calculation assumptions, load distribution, and reinforcement design;Environmental impact assessment, accompanied by mitigation measures.

The findings led to a reliable and economically viable technical solution, integrating execution plans and financial evaluation, ensuring the project's success and sustainability.

Keywords:

- Interchange,
- Environment,
- Technical analysis,
- Civil engineering structure,
- Road infrastructure

TABLE DES MATIERES

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

TABLE DES MATIERES vi

LISTE DES TABLEAUX ix

LISTE DES FIGURES x

ABREVIATIONS ET SIGLES xi

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE PROJET 3

I-1. Présentation de la structure d'accueil (AGEIM-IC) 3

I-1.1. Historique de la structure d'accueil 3

I-1.2. Domaine d'intervention et mission d'entreprise 4

I-1.3. Organisation d'AGEIM Ingénieur Conseils 4

I-2. Présentation du projet 6

I-2.1. Cadre général du projet RN4 6

I-2.2. Cadre spécifique de l'étude 8

I-3. Revue de la littérature sur la problématique des routes 10

I-3.1. Dimension sanitaire : la sécurité routière et les accidents 11

. I-3.2. Dimension environnementale : la vulnérabilité des routes à l'érosion hydrique 11

. I-3.3. Dimension urbaine : aménagement et insécurité routière 12

Conclusion 12

CHAPITRE II : Matériels et méthodes 14

II-1. Etude de base 14

II-1.1. Étude topographique 14

II-1.2. Etude du carrefour dénivelé 15

II-1.3. Etude géotechniques 15

II-2. Méthodologie de conception géométriques 15

II-3. Méthodologie de dimensionnement de la chaussée 16

II-4. Méthodologie de dimensionnement de l'ouvrage de franchissement (PONT) 16

II-5. Notice d'impact environnemental et social 16

II-6. Sécurité routière et signalisation 17

II-7. Evaluation et couts du projet 17

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS 19

III-1. Dimensionnement géométrique 19

III-1.1. Normes, choix et justification 19

III-1.2. Conception géométrique du carrefour dénivelé 21

III-1.3. Les tracés géométriques de la chaussée (Tracé en plan, profils en long, en travers, profils en travers types) 24

III.2. Dimensionnement de la chaussée 26

III-2.1 Étude géotechnique 26

III-2.2. Détermination de la classe de portance du sol support 27

III-2.3. Étude du trafic 28

III-.2.4. Détermination des couches de chaussée et proposition des variantes selon le guide CEBTP 28

III-2.5. Vérification de la chaussée par la méthode rationnelle Alize LCPC 30

III-3 : Conception et analyse des variantes du pont 32

III-.3.1. Généralités sur les ponts 32

III-3.2. Analyse des variantes 35

III-3 3 Analyse multicritères 38

III.4 Dimensionnement du pont dalle 40

III 4-1. Données de la variante étudiée 40

III.4.2. Normes, règlement de calcul, hypothèse 40

III-4.3. Calcul des charges permanentes et surcharge routière 42

-III.4.4. Modélisation et calcul du tablier 45

III.4.5. Les résultats après le calcul 47

III.4.6 Section d'armature 51

III.5 Aperçu de la notice d'impact environnemental, social 54

III.5 1 Cadre institutionnel et réglementaire 54

III.5 2 Identification et analyse des impacts 57

III.5 3. Mesures d'atténuation et de compensation 58

III.6 Avant métré avec devis global du projet 60

Conclusion 61

CONCLUSION GÉNÉRALE 62

RECOMMANDATIONS 63

BIBLIOGRAPHIE 64

ANNEXES 65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Description de projet 7
Tableau 2 : Tableau de description du site 9
Tableau 3 : Tableau de valeur des rayons (source ARP) 20
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des éléments du profil en travers 25
Tableau 5 : Données géotechniques 26
Tableau 6 : Classe de portance des sols dans les pays tropicaux selon CEBTP 27
Tableau 7 : Données d'entrée 28
Tableau 8 : Les différentes variantes 29
Tableau 9 : Tableau de classe de la portance 30
Tableau 10 : Les paramètres de l'équation du BBSG selon le catalogue du Sénégal sont dans le tableau ci-dessus 31
Tableau 11 : la variante retenue de la chaussée 32
Tableau 14 : Caractéristique du tablier et paramètres géométriques de la chaussée/tracé 35
Tableau 15: Prédimensionnement des éléments du tablier 36
Tableau 16:Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques 37
Tableau 17:Caractéristique géométrique du tablier 38
Tableau 18: Tableau de comparaison des critères des variantes 39
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des caractéristiques géométrique 40
Tableau 20 : récapitulatifs des poids des éléments du tablier 41
Tableau 21 : Tableau de coefficient de pondération des surcharges [11] 42
Tableau 22 : Estimation des charges permanentes 42
Tableau 23: récapitulatif des paramètres du tablier 43
Tableau 24 : récapitulatif des surcharges 44
Tableau 25 : Récapitulatif des moments maximaux suivant Y 50
Tableau 26 : Section d'armature longitudinale sur appui et travée 52
Tableau 27 : Section d'armature de répartition sur appui et travée et le choix des aciers 53
Tableau 28:Tableau récapitulatif de l'estimation global du projet 60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : L'organigramme de AGEIM-IC (source AGEIM) 5
Figure 2 : Localisation du projet 9
Figure 3 : Représentation du fond topo (source AGEIM) 10
Figure 4 : Représentation globale du carrefour 22
Figure 6 : présentation de l'interface du logiciel 45
Figure 7 : Cartographie des moments à l'ELU suivant l'axe X 47
Figure 8: Cartographie des moments à l'ELS suivant l'axe X 48
Tableau 9 : Récapitulatif des moments maximaux suivant X 48
Figure 10 : Cartographie des moments à l'ELU suivant l'axe Y 49
Figure 11 : Cartographie des moments à l'ELS suivant l'axe Y 50
Figure 12 : Cartographie des sections théoriques d'armatures longitudinales sur appui 51
Figure 13 : Cartographie des sections théoriques d'armatures longitudinales en travée 51
Figure 14 : Cartographie des sections théoriques d'armatures de répartitions sur appui 52
Figure 15 : Cartographie des sections théoriques d'armatures de répartitions en travée 53

ABRÉVIATIONS ET SIGLES

AGEIM-IC	:	Agence d'Étude d'Ingénierie de Maitrise d'Ouvrage-Ingénieurs Conseils
ARP	:	Aménagement des Routes Principales
BAEL	:	Béton Armé aux Etats Limites
BB	:	Béton Bitumineux
BBSG	:	Béton Bitumineux Sémi Grénu
BTP	:	Bâtiment Travaux Publics
CBR	:	California Bearing Ratio.
CCTP	:	Cahier de Clause Technique Particulière
CEBTP	:	Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics.
DBA	:	Double Béton Armé
EES	:	Évaluation Environnementale Stratégique
EIE	:	Étude d'Impact sur l'Environnement
ELU	:	Etat Limite Ultime
ELS	:	Etat Limite de Service
EPI	:	Equipement de Protection Individuel
GB	:	Grave Bitume
GBA	:	Glissière en Béton Armé
GC	:	Génie Civil
GL	:	Graveleux Latéritique
GNT	:	Grave Non Traitée
HA	:	Haute Adhérence
HIMO	:	Haute Intensité de Main-d'Oeuvre
IST	:	Infection Sexuellement Transmissible
LCPC	:	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
MID	:	Ministère des Infrastructures et du Désenclavement
NIE	:	Notice d'Impact sur l'Environnement
PK	:	Point Kilométrique
PL	:	Poids Lourds

PSI-BA	:	Passage Supérieur ou Inférieur à poutres en Béton Armé
PSI-DA	:	Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armé
RD	:	Route Départementale
RN	:	Route Nationale
SARL	:	Société à Responsabilité Limitée
SETRA	:	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes.
UEMOA	:	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La voie de communication terrestre est la pierre angulaire du développement socio-économique, facilitant le déplacement des biens et des personnes. Le Burkina Faso, qui est un pays enclavé, dépend majoritairement de son réseau routier pour les échanges économiques et l'intégration dans la sous-région, la facilitation du transit, du transport et des échanges en Afrique de l'Ouest [1]. La croissance urbaine rapide de Ouagadougou entraîne un étalement urbain qui impose des contraintes sur la mobilité et la structuration de l'espace. La RN4 et la voie d'accès à l'université Thomas SANKARA sont particulièrement touchées par la congestion, les enjeux de sécurité et les difficultés d'accessibilité.

Dans le cadre du Plan d'Actions pour la Stabilisation et le Développement (PASD), le Ministère des Infrastructures et du Désenclavement a engagé l'élargissement et la modernisation de deux sorties de la ville, dont la RN4 (21,25 km) et la voie d'accès à l'université. Notre étude porte sur le carrefour RN4–RD40, situé entre le PK20+487 et le PK22+547 (2,06 km) à Boutenga. L'objectif est de concevoir une solution technique de carrefour dénivelé adaptée au contexte local, conforme aux normes et capable de supporter le trafic prévu :

Proposer une nouvelle conception géométrique pour l'aménagement carrefour dénivelé, adaptée au contexte local ainsi que le dimensionnement de la chaussée, afin d'assurer sa conformité aux normes techniques et sa capacité à supporter le trafic prévu.

- Étudier les différentes variantes pont suivi de l'étude technique de la variante retenue
- Estimer le coût global du projet sur le tronçon concerné et réaliser un résumé de la notice d'impact environnemental et social (NIES), afin d'identifier les effets positifs et négatifs du projet sur l'environnement et les populations, et de proposer des mesures d'atténuation

La méthodologie envisagée pour notre étude comprend plusieurs axes complémentaires. Dans un premier temps, une étude préliminaire comprenant une revue documentaire et l'élaboration de la carte de situation de notre zone d'étude. La conception géométrique permettra de définir les tracés, l'aménagement du carrefour dénivelé ainsi que les signalisations routières horizontales et verticales. Une étude de dimensionnement de la structure de notre chaussée sera réalisée à travers l'étude du sol, l'estimation du trafic et la vérification des contraintes admissibles de déformation

par le logiciel ALIZE LCPC. Une étude technique de pont sera faite afin de déterminer ses caractéristiques géométriques, structurelles et fonctionnelles, en tenant compte des normes de sécurité et de durabilité. Une notice d'impact environnemental et social sera élaborée, tout en identifiant les mesures d'atténuation nécessaires, et enfin une étude financière de notre projet. Ce travail nous permettra de rassembler les résultats nécessaires pour l'élaboration des plans d'exécution.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE PROJET

Ce chapitre a pour vocation de présenter la structure d'accueil ainsi que le projet autour duquel s'articule cette étude. Dans un premier temps, l'organisme d'accueil, AGEIM Ingénieurs-Conseils, sera exposé en mettant en évidence ses champs de compétence, ses attributions et son rôle essentiel dans la promotion des infrastructures au Burkina Faso et dans la sous-région. Par la suite, nous aborderons le projet d'extension et de modernisation de la RN4, en détaillant les finalités, les caractéristiques techniques, ainsi que son importance sur le plan socio-économique.
Enfin, nous présenterons la démarche méthodologique adoptée et les équipements mobilisés.

I-1. Présentation de la structure d'accueil (AGEIM-IC)

Le stage de préparation au mémoire représente une phase déterminante pour les étudiants de master à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE), en leur offrant une initiation pratique de haut niveau. C'est dans ce contexte que Monsieur Tiraogo Hervé OUEDRAOGO, Directeur Général de l'Agence d'Étude d'Ingénierie et de Maîtrise d'Œuvre – Ingénieurs Conseils (AGEIM-IC), a bien voulu accéder à ma requête d'intégrer son cabinet d'ingénierie. Ce stage s'est révélé être une expérience enrichissante, grâce à l'accompagnement rigoureux des ingénieurs et du personnel, dans un environnement favorable au développement de compétences. Les savoirs transmis traduisent la réputation et l'expertise reconnues de cette institution. Les sections suivantes présentent en détail l'AGEIM-IC, ainsi que les acquis issus de cette immersion professionnelle.

I-1.1. Historique de la structure d'accueil

L'Agence d'Études d'Ingénierie et de Maîtrise d'Œuvre – Ingénierie Conseil (AGEIM-IC) est un bureau d'ingénieurs-conseils à responsabilité limitée (SARL), créé en janvier 2000 au Burkina Faso par M. Tiraogo Hervé OUEDRAOGO. Elle a été fondée avec pour ambition de contribuer au développement des pays de la sous-région, notamment dans le domaine des infrastructures et du génie civil. Formée d'ingénieurs spécialisés (génie civil, rural, topographie, etc.) et de techniciens qualifiés, l'agence intervient dans toutes les étapes d'un projet, depuis les études initiales jusqu'au suivi et contrôle des travaux. Son siège social est situé à Ouagadougou, dans la Cité des 1200 Logements, au 64 Rue 14.10(Villas n°205-206), avec pour adresse postale

10 BP13478 – Ouagadougou10, Burkina Faso.

I-1.2. Domaine d'intervention et mission d'entreprise

L'Agence d'Étude d'Ingénierie et de Maîtrise d'Œuvre – Ingénierie Conseil (AGEIM-IC) est une structure pluridisciplinaire intervenant dans plusieurs secteurs techniques grâce à une équipe composée d'ingénieurs spécialisés (génie civil, génie rural, topographie, etc.) et de techniciens qualifiés.

Sa mission principale est d'apporter une expertise technique complète dans la conception, la planification, la mise en œuvre et le suivi des projets d'infrastructures et d'aménagement, dans une logique de développement durable. Les domaines d'intervention de l'agence couvrent notamment :

- Les infrastructures de transport : réalisation de routes, voiries, réseaux divers, pistes rurales, réhabilitation d'ouvrages et travaux topographiques ;
- L'aménagement hydraulique et environnemental : conception de barrages, aménagements agricoles, études hydrologiques et hydrogéologiques, hydraulique urbaine et rurale, protection de l'environnement ;
- Les bâtiments et ouvrages d'art : construction et réhabilitation de bâtiments, structures métalliques, ouvrages d'art, études géotechniques, expertises techniques.

L'AGEIM-IC déploie ses activités dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, notamment le Burkina Faso, le Bénin, la Côte d'Ivoire, la Guinée-Bissau, la Guinée Conakry, la Mauritanie, le Mali, le Niger, le Togo et le Tchad.

I-1.3. Organisation d'AGEIM Ingénieur Conseils

L'organigramme d'AGEIM Ingénieur Conseils met en évidence : une Direction Générale qui comprend l'assistant de Direction et le Secrétariat, un Auditeur interne et contrôleur de Gestion, un Responsable de la Qualité.

Nous avons Une Direction de la Communication et des ressources Humaines. Une Direction Administrative et Financière qui regroupe le Département Administrative et le Département Financière et Comptable.

Une Direction Technique regroupant un Département Infrastructures de Transport, un Département Aménagement Hydraulique, une cellule Projet, une Cellule Topographique.

Voici un graphe qui illustre l'organisation de l'entreprise

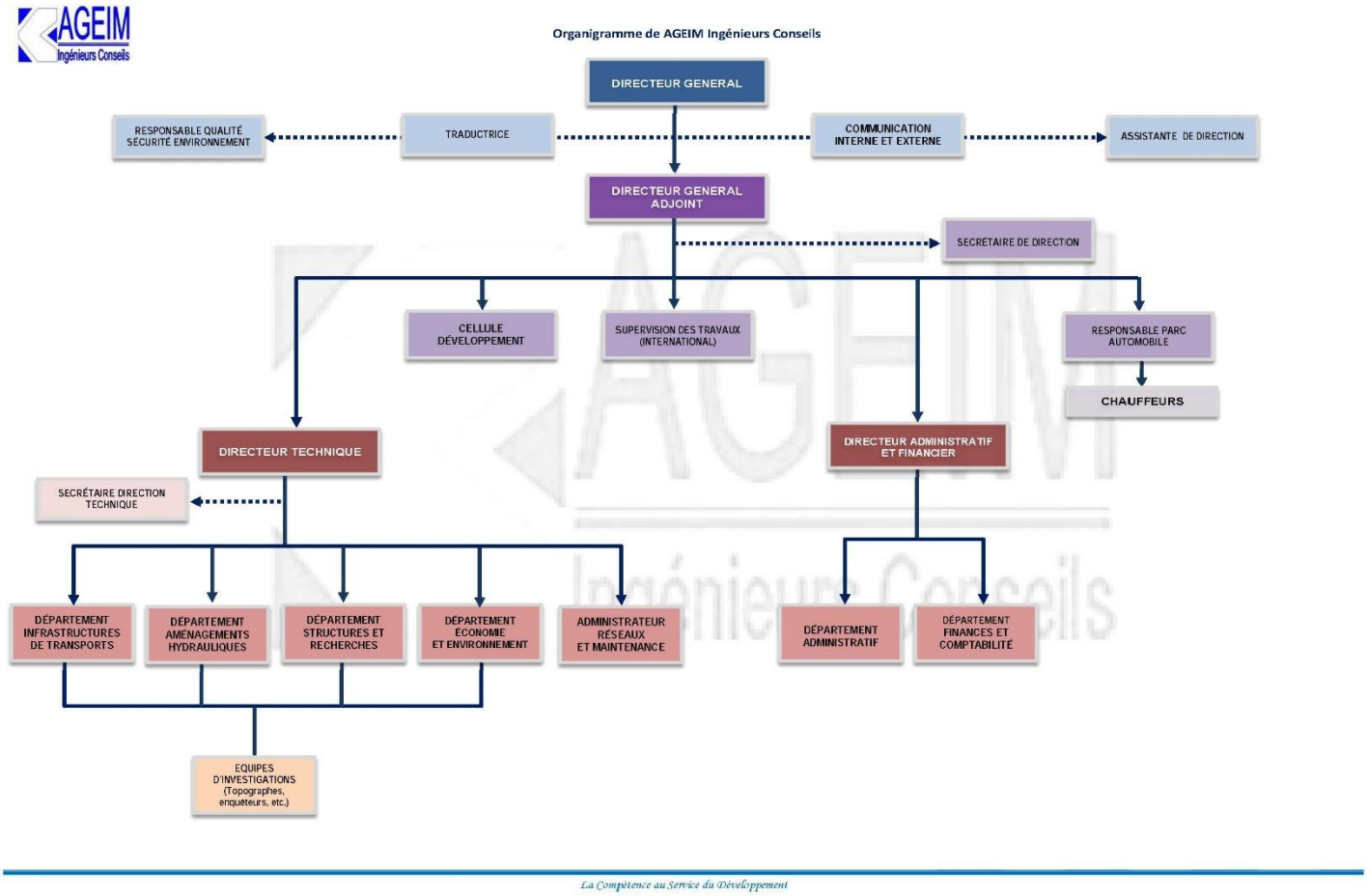


Figure 1 : L'organigramme de AGEIM-IC (source AGEIM)

I-2. Présentation du projet

I-2.1. Cadre général du projet RN4

I-2.1.1. Contexte socio-économique et stratégique de la RN4

Dans le cadre de la modernisation du réseau routier national, le Gouvernement du Burkina Faso a initié un vaste programme de réaménagement des infrastructures urbaines et périurbaines. Ce projet vise à décongestionner la circulation dans la capitale, Ouagadougou, tout en renforçant la sécurité des usagers et des riverains. Depuis 2019, des travaux de construction et de bitumage des voies de contournement de Ouagadougou, sur une distance de 25 km, sont en cours.

I-2.1.2. Justification du projet

Les sorties Est et Nord de Ouagadougou connaissent un fort encombrement, entrainant une réduction importante des vitesses de circulation. Cette situation provoque régulièrement des ralentissements, voire arrêt complet du trafic. Elle engendre également plusieurs désagréments : allongement des temps de parcours, augmentation de la pollution atmosphérique et sonore, ainsi qu'un accroissement des risques d'accidents.

I-2.1.3 Objectifs techniques et socio-économiques du projet

Le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 poursuit à la fois des objectifs techniques et socio-économique :

Objectifs techniques

- Améliorer l'accessibilité à l'université Thomas SANKARA grâce à la création des voies d'accès dédiées
- Fluidifier la circulation par élargissement et ma modernisation de la RN4 sur une section de 23km
- Réduire les embouteillages afin de limiter les pertes de temps et optimiser les déplacements
- Renforcer la sécurité routière pour l'ensemble des usagers, sur un axe stratégique à fort trafic de véhicules particuliers et de poids lourds

Objectifs socio-économiques

- Réduire les pertes de temps liées aux embouteillages, favorisant une meilleure productivité des usagers
- Améliorer la qualité de vie des populations riveraines grâce à une circulation
- Diminuer les nuisances sonores et atmosphériques, contribuant a un environnement plus sain
- Renforcer les échanges économiques par une meilleure fluidité du trafic sur la RN4, axe vital pour le transport de marchandises vers et depuis les pays voisins
- Valoriser les infrastructures éducatives, notamment par une accessibilité accrue à l'université Thomas SANKARA

I-2.1.4 Description du projet

Le projet d'aménagement du tronçon de la RN4 prévoit :

Tableau 1: Description de projet

Chaussée principale	Construction d'une route à 2x2 voies en béton bitumineux
	Terre-plein central (TPC)
Carrefours et intersections	Un carrefour dénivelé
	Deux carrefours plans
	Plusieurs carrefours giratoires
	Aménagement de trottoirs
Réseau de drainage	Caniveaux rectangulaires en béton
	Dalots cadres en béton
Equipment et services	Arrêts de bus
	Aires de stationnement
	Panneaux de signalisation
	Marquages au sol pour la signalisation et sécurité
	Eclairage public

I-2.2. Cadre spécifique de l'étude

I-2.2.1. Objectif général de l'étude

Concevoir et proposer une solution technique de carrefour dénivelé à l'intersection RN4–RD40, dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4, afin d'améliorer la fluidité du trafic, la sécurité routière et la durabilité des infrastructures dans la zone de Boutenga (PK 20+487 au PK 22+547).

I-2.2.2. Objectifs spécifiques de l'études

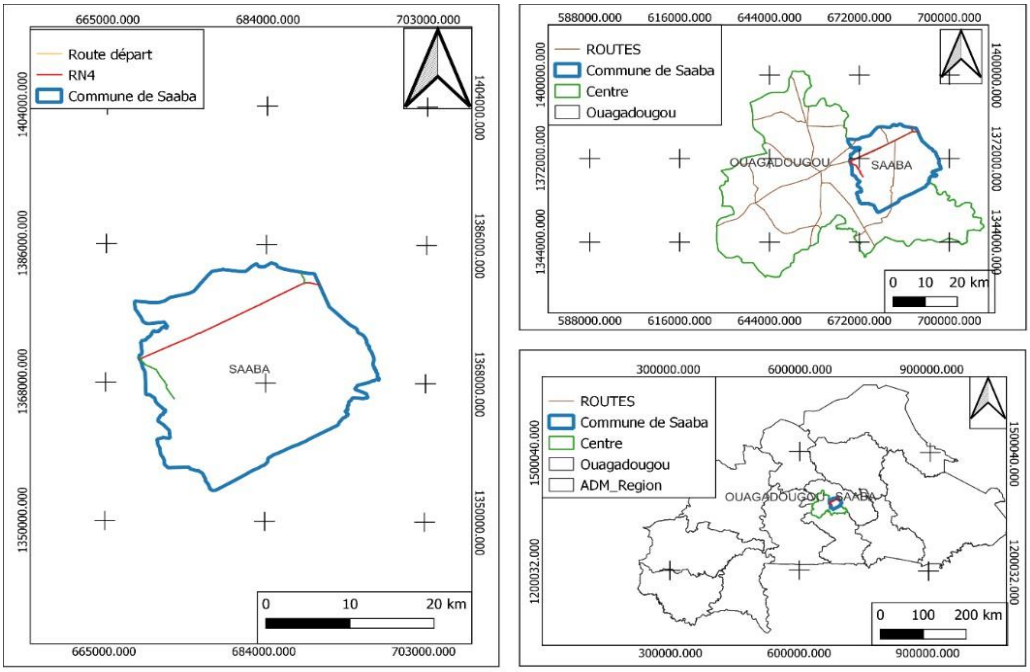
Pour atteindre cet objectif général, les objectifs spécifiques suivants ont été définis :

- Proposer une nouvelle conception géométrique pour l'aménagement d'un carrefour dénivelé adapté au contexte local et le dimensionnement de la chaussée, afin d'assurer sa conformité aux normes techniques et sa capacité à supporter le trafic prévu.
- Étudier les différentes variantes de pont suivi de l'étude technique de la variante retenue
- Réaliser un aperçu de la notice d'impact environnemental et social (NIES), afin d'identifier les effets positifs et négatifs du projet sur l'environnement et les populations, et de proposer des mesures d'atténuation

I-2.2.3. Localisation et description du site

Le projet d'extension et de modernisation de la RN4 débute à l'intersection avec la RD152 et s'étend jusqu'à celle de la RD40, sur une distance totale de 23 km. La portion étudiée dans le cadre de ce travail couvre 2,06 km, allant du PK 20+487 au PK 22+547. Ce segment est situé dans la province du Kadiogo, précisément dans la commune de Saaba. Celle-ci possède une superficie de 520 km² et regroupe 23 villages administratifs. Elle est délimitée au nord-est par Loumbila, au nord-ouest par Pabré, à l'ouest par Sourgoubila, au sud-ouest par Tanghin-Dassouri, et au sud par les communes de Komsilga et Koubri.

Ce tronçon routier joue un rôle stratégique en assurant la liaison entre Ouagadougou et Fada N'Gourma. La Figure ci-dessous illustre la localisation du projet.



Source : OUAGONDA Dany Fridolin, à partir des données de l'IGB/OpenStreetMap, réalisé sous QGIS

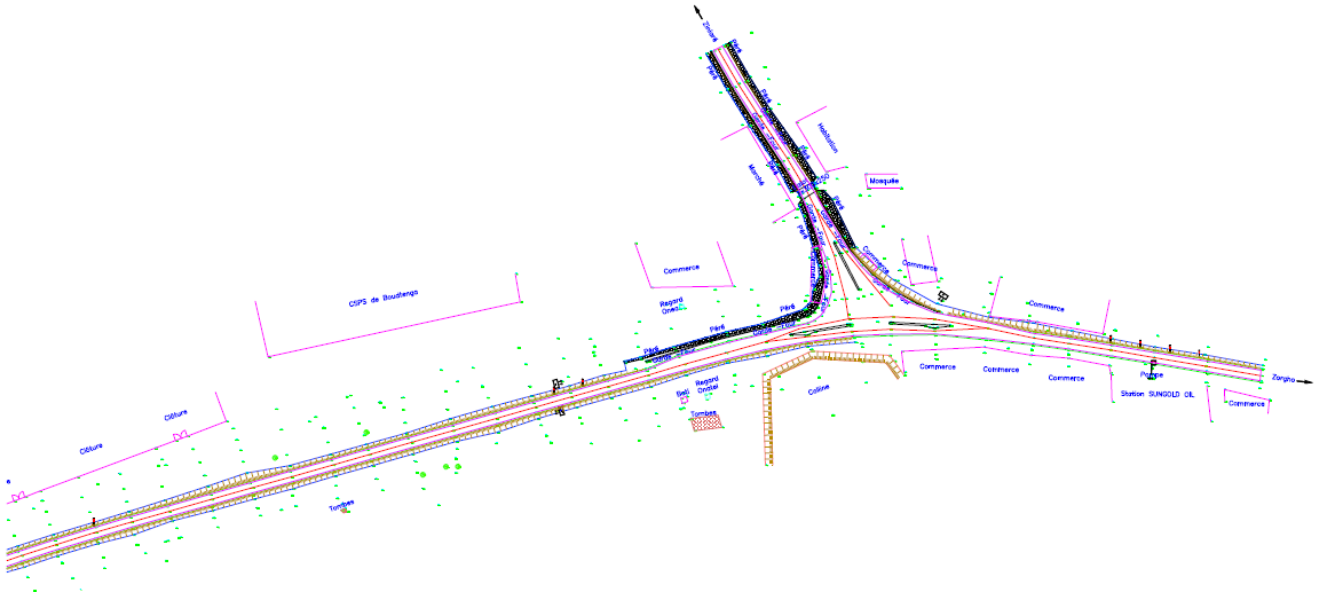
Figure 2 : Localisation du projet

Tableau 2 : Tableau de description du site

Repères et limites	Bornes de lotissement
	Limites et seuils d'entrée des concessions
Infrastructures existantes	Chaussée actuelle
	Talus
	Ouvrages de franchissement existants
	Caniveaux existants
Élément du voisinage	Site d'emprunts à proximité de la route
	Concession riveraines
	Arbres
	Panneaux publicitaires
	Panneaux de signalisation existants
	Fontaines publiques

I-2.2.4. Description du site

Le levé topographique réalisé par l'équipe de topographes a permis de matérialiser plusieurs éléments essentiels rencontrés sur le site, au voisinage de la route. Ces détails sont indisponibles pour le bon dimensionnement du tronçon. Ils comprennent :


Commerce
Mosquée
Commerce
Commerce
Commerce

I-3.1. Dimension sanitaire : la sécurité routière et les accidents

Les accidents de la route représentent la huitième cause de décès dans le monde, avec une augmentation de 46 % depuis les années 1990 (Collaborateurs, 2015). Selon l'OMS, ils pourraient devenir la cinquième cause de décès d'ici 2030, avec des inégalités marquées dans les pays à faible et moyen revenu (OMS, 2015). En Afrique, le taux de mortalité routière est le plus élevé, atteignant 26,6 décès pour 100 000 habitants, voire jusqu'à 65 selon Adeloye et al. (2016). Les jeunes de 15 à 29 ans sont les principales victimes (OMS, 2015). Sur le plan économique, le coût annuel moyen des accidents représente environ 1 % du produit national brut des pays à faible revenu (Jacobs et al., 2000).

La Décennie d'action pour la sécurité routière 2011-2020 (OMS, 2011) a proposé cinq piliers : gestion de la sécurité, normes de sécurité, sécurité des véhicules, protection des usagers et prise en charge des traumatismes. Certaines interventions ont montré leur efficacité, comme au Cambodge avec le port du casque (Roelher et al., 2013), mais peu d'initiatives ont été mises en œuvre en Afrique (Bhalla et al., 2014).[2]

. I-3.2. Dimension environnementale : la vulnérabilité des routes à l'érosion hydrique

La dégradation des routes nationales par l'érosion hydrique constitue un problème majeur en Afrique subsaharienne. Plusieurs études (M'bouka Milandou, 2019 ; Touré et al., 2024 ; Science Direct, 2025) montrent que les RN sont fortement exposées aux aléas climatiques, notamment aux pluies intenses qui provoquent le ruissellement, l'érosion des talus et l'affaissement des chaussées. Les principaux indicateurs de fragilité observés sur des tronçons de la RN1 et de la RN7 au Burkina Faso, ainsi que sur les corridors régionaux de l'UEMOA, sont :

- des pentes dépassant 25 % favorisant les ruissellements ;
- une texture géologique dominée par les sables (plus de 80 %, dont une forte proportion de sables grossiers) ;
- des taux d'argile faibles favorisant les infiltrations ;
- des indices d'érodibilité compris entre 0,30 et 0,35 t·ha·h/ha·MJ·mm ;
- une érosivité des pluies élevée (plus de 6 000 MJ·mm/ha·h·an en moyenne décennale) ;

- une faible résilience des populations liée au non-respect des normes de construction et à l'absence de mesures de protection.

Cette vulnérabilité limite la durabilité des infrastructures routières nationales et accentue les risques socio-économiques, en particulier sur les axes stratégiques de transport et d'échanges commerciaux. Les travaux de Touré et al. (2024) soulignent que la combinaison de l'érosion hydrique et de la surcharge des véhicules réduit considérablement la durée de vie des RN dans l'espace UEMOA. De même, M'bouka Milandou (2019) démontre que l'érosion hydrique est un facteur déterminant de la dégradation des routes, qu'elles soient rurales ou nationales, confirmant la nécessité de dispositifs de drainage et de normes de construction adaptées. [3]

. I-3.3. Dimension urbaine : aménagement et insécurité routière

Au Burkina Faso, la sécurité routière constitue un défi majeur. Le pays enregistre chaque année un nombre élevé de décès liés aux accidents de la circulation, particulièrement à Ouagadougou où la densité de population et le trafic sont importants. Avec plus de 2 millions d'habitants, la capitale concentre le plus grand nombre de cas d'accidents et de morts. Les recherches montrent que l'aménagement urbain de Ouagadougou n'est pas adapté aux besoins de mobilité des citadins et constitue une source d'insécurité routière. L'approche méthodologique, basée sur une revue de littérature, des enquêtes et des observations de terrain, confirme que l'organisation de l'espace urbain influence directement la fréquence des accidents (Article sur Ouagadougou, Burkina Faso).[4]

Conclusion

En résumé, ce projet d'élargissement et de modernisation de la RN4 à Ouagadougou illustre l'importance stratégique des infrastructures routières pour le développement socio-économique du Burkina Faso. L'étude met en évidence la nécessité d'un carrefour dénivelé à l'intersection RN4–RD40 afin de fluidifier le trafic, renforcer la sécurité et améliorer l'accessibilité, notamment vers l'université Thomas SANKARA. Elle combine une approche technique (dimensionnement de la chaussée, étude de pont, normes de sécurité), environnementale et sociale (NIES), ainsi qu'une analyse financière.

La démarche adoptée, intégrant une revue documentaire, des levés topographiques, des études géotechniques et des simulations, permet de proposer une solution adaptée au contexte local. Ce

travail contribue non seulement à la durabilité des infrastructures mais aussi à la qualité de vie des populations riveraines et à l'intégration économique régionale.

CHAPITRE II : Matériels et méthodes

Le présent chapitre décrit les matériels et les méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude. La démarche adoptée repose sur une approche intégrée, combinant des investigations de terrain, des analyses en laboratoire et des calculs techniques. Les différentes étapes comprennent l'étude de base (topographie, carrefour dénivelé et géotechnique), la conception géométrique, le dimensionnement de la chaussée et du pont, ainsi que l'évaluation des impacts environnementaux et sociaux, la sécurité routière et la signalisation, et enfin l'estimation des coûts du projet. Cette méthodologie vise à garantir la fiabilité des résultats, la durabilité des ouvrages et la prise en compte des aspects socio-économiques et environnementaux.

II-1. Etude de base

La méthodologie adoptée repose sur une série d'analyses techniques visant à caractériser la route nationale et ses ouvrages associés. Les matériels utilisés sont constitués essentiellement de :

- Instruments topographiques (GPS, théodolite, station totale),
- Logiciels de conception et de calcul (AutoCAD, SAP2000, Robot Structural Analysis, tableurs),
- Outils de mesure environnementale (pH-mètre, sonde de qualité d'air/eau),
- Bases de données de trafic et documents normatifs (Eurocodes, normes locales).

Ces outils ont permis de collecter, traiter et analyser les données nécessaires aux différentes étapes de l'étude.

II-1.1. Étude topographique

- Méthodologie : Les relevés topographiques ont permis de définir le tracé en plan, le profil longitudinal et les profils transversaux de la route. L'analyse a également porté sur la géométrie du carrefour, en précisant les paramètres nécessaires à son aménagement (rayons d'entrée et de sortie, rayon intérieur, îlot central et chaussée circulaire).
- Matériels utilisés : GPS différentiel, théodolite, station totale, logiciels de DAO/CAO pour le traitement des données et la représentation graphique.
-

II-1.2. Etude du carrefour dénivelé

- Méthodologie : L'étude a consisté à analyser la configuration géométrique du carrefour afin d'assurer une circulation fluide et sécurisée. Les paramètres étudiés incluent le rayon du giratoire, les voies d'accès et de sortie, ainsi que les bretelles.
- Matériels utilisés : Plans topographiques, instruments de levé, logiciels de conception routière et abaques de dimensionnement.

II-1.3. Etude géotechniques

- Méthodologie : Cette étude vise à caractériser les différents types de sols présents sur le site afin d'utiliser les résultats pour le dimensionnement de la chaussée et des ouvrages. Des sondages ont été réalisés à intervalles réguliers de 250 m le long du tronçon, accompagnés de prélèvements d'échantillons pour analyses en laboratoire. Ces investigations garantissent la stabilité et la durabilité de la chaussée.

- Matériels utilisés : Carottier, tarière manuelle et mécanique pour les sondages, sacs et contenants pour prélèvements, équipements de laboratoire pour essais géotechniques.

Principaux essais réalisés :

- Granulométrie par tamisage : identification de la répartition des grains (NF EN 933-1) ;
- Limites d'Atterberg : évaluation de la plasticité du sol (NF EN 94-051) ;
- Équivalent de sable : mesure de la propreté des matériaux (NF EN 933-8) ;
- Proctor modifié : détermination des conditions optimales de compactage (NF P 94-093) ;
- Portance CBR : évaluation de la portance du sol (NF P 94-078) ;

II-2. Méthodologie de conception géométriques

- Méthodologie : L'analyse géométrique de la route et du carrefour a consisté à étudier le tracé en plan, le profil longitudinal et les profils transversaux. Pour le carrefour, les paramètres essentiels ont été définis : rayon du giratoire (Rg), rayons d'entrée (R) et de sortie (Rs), rayon intérieur (Ri), dimensions de la chaussée circulaire, de l'îlot central et de l'îlot séparateur. L'objectif est d'assurer une circulation fluide et sécurisée.

- Matériels utilisés : GPS différentiel, théodolite, station totale, logiciels de DAO/CAO pour la représentation graphique et le calcul des paramètres géométriques.

II-3. Méthodologie de dimensionnement de la chaussée

- Méthodologie : L'étude du trafic a permis de déterminer les charges prévues et de réaliser un dimensionnement optimal de la chaussée. Le calcul structural a porté sur la nature des matériaux et l'épaisseur des différentes couches constitutives afin de garantir la durabilité et la performance de l'ouvrage.

- Matériels utilisés : Compteurs de trafic, fiches de relevé, bases de données de trafic, logiciels de calcul de dimensionnement (ex. tableurs, logiciels spécialisés).

II-4. Méthodologie de dimensionnement de l'ouvrage de franchissement (PONT)

- Méthodologie : La conception du pont a reposé sur l'élaboration de plusieurs variantes, analysées à travers une approche multicritère pour retenir la solution la plus adaptée aux exigences techniques et économiques. L'étude technique a ensuite consisté à calculer et dimensionner les éléments structuraux : établissement des hypothèses, descente des charges, combinaisons, détermination des sollicitations et choix des sections d'armatures.

- Matériels utilisés : Logiciels de calcul structurel (Robot Structural Analysis), abaques de dimensionnement, normes en vigueur (BEAL), tableurs de calcul.

II-5. Notice d'impact environnemental et social

En effet, selon la législation burkinabè, les projets de construction ou de réhabilitation de routes nationales (RN) sont soumis à une Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES), conformément au Code de l'environnement (loi n°006-2013/AN du 2 avril 2013 portant loi-cadre sur l'environnement). Toutefois, en raison du temps qui nous a été accordé pour la réalisation de cette étude, nous avons opté pour une Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES). Cette

démarche, bien que simplifiée par rapport à une EIES complète, permet d'identifier les principaux impacts et de proposer des mesures d'atténuation adaptées au projet.

- Méthodologie : L'évaluation des impacts a porté sur les effets potentiels de la construction et de l'exploitation de la route sur le sol, l'eau, l'air et le cadre socio-économique. Des mesures d'atténuation ont été identifiées pour réduire les impacts négatifs et renforcer la résilience des populations riveraines.

- Matériels utilisés : Fiches d'enquête, outils de mesure environnementale (pH-mètre, sonde de qualité d'air/eau), bases de données socio-économiques.

II-6. Sécurité routière et signalisation

- Méthodologie : Mise en place d'une signalisation verticale (panneaux d'obligation, d'indication et de danger) et horizontale (marquages au sol). Étude de la signalisation provisoire pour les chantiers et interventions ponctuelles (réduction de vitesse, voie fermée, flèche de contournement), ainsi que de la signalisation permanente pour réguler la circulation de manière continue. Intégration de l'éclairage routier pour améliorer la visibilité et réduire les risques d'accidents.

- Matériels utilisés : Panneaux de signalisation normalisés, peintures et matériaux pour marquages au sol, dispositifs lumineux (lampadaires, projecteurs), équipements de chantier pour signalisation provisoire.

II-7. Evaluation et couts du projet

- Méthodologie : Une estimation des coûts a été réalisée en tenant compte des travaux de construction, de l'entretien et des mesures de protection environnementale. Cette évaluation s'appuie sur une analyse comparative des variantes retenues et sur les prix unitaires des matériaux et des prestations.
- Matériels utilisés : Logiciels Excel, bases de données de prix unitaires, documents normatifs et références de projets similaires.

Conclusion

En résumé, les matériels et méthodes mobilisés ont permis de collecter et d'analyser les données nécessaires pour caractériser la route et ses ouvrages associés. L'approche adoptée, basée sur des relevés topographiques, des études géotechniques, des calculs de dimensionnement et des évaluations environnementales et social, assure une cohérence technique et scientifique à l'ensemble du projet. Elle constitue ainsi une base solide pour les chapitres suivants, consacrés aux résultats, aux analyses et aux recommandations.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre traite de l'étude géométrique et de la conception de la chaussée, en intégrant à la fois le tracé et les profils nécessaires pour garantir sécurité et fluidité du trafic. Il aborde également la structure de la chaussée, élément fondamental pour assurer sa durabilité et sa résistance aux charges. Ce chapitre constitue ainsi une base technique complète pour adapter la route aux contraintes du terrain et aux exigences de circulation.

III-1. Dimensionnement géométrique

III-1.1. Normes, choix et justification

III-1.1.1 Normes et choix de la catégorie de route

La norme ARP (Aménagement des Routes Principales) est retenue car elle définit les règles de conception et d'aménagement des routes principales situées en dehors des zones urbaines. Son domaine d'application couvre à la fois l'amélioration du réseau existant et la réalisation de nouvelles infrastructures.[5]Le choix de cette norme s'explique par plusieurs raisons :

- Elle est adaptée à la fonction des routes principales qui assurent les liaisons interurbaines et régionales.
- Elle garantit une uniformisation des standards techniques (géométrie, sécurité, confort) pour un réseau cohérent.
- Elle vise la sécurité et la durabilité des infrastructures grâce à des prescriptions précises sur les tracés, la visibilité et la signalisation.
- Elle est flexible, car applicable aussi bien aux projets de modernisation qu'aux nouvelles constructions.

En résumé, l'ARP est choisi car elle fournit un cadre normatif pertinent et complet pour concevoir des routes principales hors agglomération, en assurant à la fois la sécurité des usagers et la performance du réseau.

La norme ARP distingue trois types de routes principales interurbaines hors zones urbaines :

- Routes de type L (grandes liaisons) : ce sont les autoroutes, conçues pour un trafic rapide et sans accès riverains. Elles ne sont pas traitées en détail dans le document ARP, sauf pour certains aspects liés à l'aménagement progressif ou à la transformation de routes existantes.

- Routes de type T (routes de transit) : ce sont les routes express à une chaussée, destinées à privilégier l'écoulement du trafic de transit sur des distances moyennes ou longues. Elles se déclinent en deux catégories :

T80 : adaptée aux reliefs vallonnés, offrant un compromis entre confort et coût.

T100 : adaptée aux zones de relief peu contraignant, permettant des vitesses plus élevées et un confort supérieur.

- Routes de type R (artères interurbaines multifonctionnelles) : elles constituent l'essentiel du réseau principal de rase campagne et remplissent plusieurs fonctions (transit, desserte locale, accès rural). Elles se déclinent en deux catégories :

R60 : en relief vallonné, elle représente un bon compromis entre coûts de construction et confort dynamique.

R80 : adaptée aux zones de relief peu contraignant, offrant des tracés plus performants.

Les principales caractéristiques qui correspondent aux différents types de route sont décrites dans le tableau suivant (apparaissent en grisé les types de routes concernés par le présent document) :

III-1.1 2. Justification du choix de la catégorie R60

Dans le cadre du projet étudié, le choix s'oriente vers la catégorie R60. En effet le relief vallonné impose des contraintes techniques qui rendent difficile l'application des catégories supérieures (R80 ou T100). La catégorie R60 permet de concilier les impératifs de sécurité et de confort avec une optimisation des coûts de construction et d'entretien. Elle répond aux objectifs de la norme ARP pour les routes principales hors zones urbaines, en garantissant une circulation fluide et durable tout en tenant compte des réalités économiques et géographiques du territoire

Tableau 3 : Tableau de valeur des rayons (source ARP)

CATEGORIE DE ROUTE	R 60	T 80 et R 80	T 100
Rayon minimal : Rm (en m)	120	240	425
Rayon non déversé : Rnd (en m)	600	900	1300
Rayon déversé minimal : Rdm (en m)	450	650	900
Devers maximal	7%		

- **Valeur des rayons, conception générale du tracé**

Pour chaque catégorie, les valeurs limites des rayons, qui traduisent principalement des objectifs de confort et de sécurité, sont dans le Tableau 3.

III-1.2. Conception géométrique du carrefour dénivelé

Un carrefour est un lieu d'intersection ou de croisement entre plusieurs axes de circulation. Il représente une zone où convergent les flux de véhicules, de piétons et de cyclistes, nécessitant une organisation spécifique afin de garantir la sûreté et la fluidité du trafic. Les carrefours peuvent être à niveau, où les échanges se déroulent sur un même plan, ou dénivelés, lorsque les voies sont séparées par des différences d'altitude pour réduire les conflits de circulation. Leur aménagement doit respecter des critères précis, tels que la clarté, la sécurité, l'intégration dans l'itinéraire, ainsi que l'adaptation au type de route et aux besoins des usagers.

III-1.2.1. Choix et justification du type de carrefour

Dans le cadre de ce projet, l'option d'un carrefour dénivelé a été retenue pour plusieurs motifs liés aux particularités du site. En premier lieu, la route nationale où se situe l'intersection supporte un trafic élevé ; l'implantation du carrefour sur une portion courbe de la chaussée, combinée à la présence d'obstacles naturels (collines) aux alentours, réduit fortement la visibilité des conducteurs. Dans ce contexte, un échangeur dénivelé permet de dissocier les différents flux de circulation, diminuant les risques de conflits de trajectoires et renforçant la sécurité des usagers.

a) La référence géométrique

La référence géométrique retenue pour fixer les paramètres généraux de conception dans le cadre de cette étude est le guide d'aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales, décembre 1998 (SETRA).

b) Les différentes branches du carrefour

L'échangeur comprend trois branches majeures, chacune reliant des zones clés ; elles sont dimensionnées pour faciliter un débit de trafic régulier et sécurisé et s'intègrent au pont supérieur qui dissocie les mouvements principaux.

❖ La voie vers Ziniaré

L'axe vers Ziniaré assure une liaison stratégique pour les conducteurs se dirigeant vers la localité. Il est majoritairement parcouru par la circulation interurbaine — véhicules légers, transports en commun et camions. L'axe est aménagé pour garantir une bonne visibilité et des conditions de conduite sûres, et il est pourvu d'une signalisation adéquate pour gérer les croisements avec les autres branches et le passage en hauteur. Il comporte deux voies : une voie d'entrée et une voie de sortie du rond-point, séparées par un îlot. Largeurs : 4 m pour l'entrée, 5 m pour la sortie.

❖ La voie vers Zorgho

L'axe menant à Zorgho joue un rôle majeur dans la circulation locale et régionale, servant de corridor principal pour les flux de personnes et de marchandises. Il est conçu pour accueillir un trafic mixte et offre aux poids lourds la possibilité d'emprunter le pont supérieur pour contourner le rond-point. La chaussée est équipée d'un signalement clair et d'une signalisation optimisée. L'aménagement privilégie la fluidité et la sécurité par un profil en plan et en profil en long progressif. L'axe comporte deux raccordements (entrée et sortie du giratoire), chacun mesurant 9 m (deux files de 3,5 m + bande d'arrêt 2 m).

❖ La voie vers le carrefour du contournement

La branche orientée vers le carrefour du contournement permet d'acheminer le trafic local vers la ceinture périphérique de Ouagadougou. Son aménagement vise une intégration optimale au dispositif de régulation du trafic, avec des voies d'accès, une signalisation claire et des équipements de sécurité. Elle comprend deux bretelles de 9 m chacune, constituées de deux files de 3,5 m et d'une bande d'arrêt de 2 m.

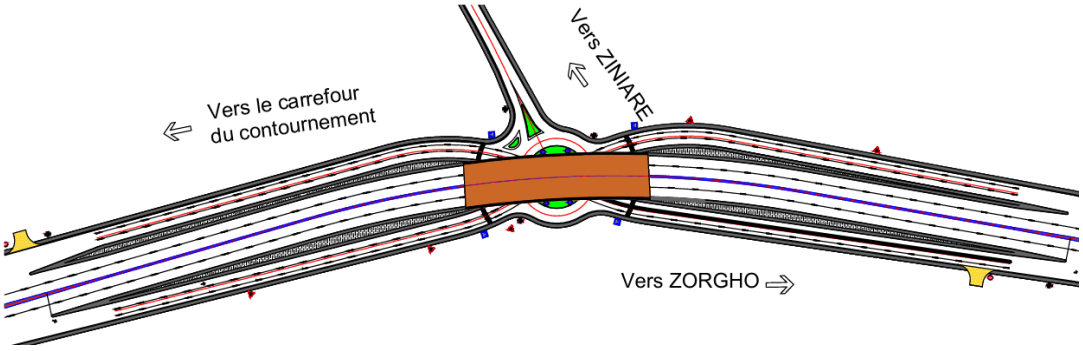


Figure 4 : Représentation globale du carrefour

III-1.2.2. Aménagements spécifiques et signalisation

Afin d'assurer la sécurité des usagers au niveau du carrefour giratoire, divers aménagements et dispositifs de signalisation sont prévus. Une voie cyclable de 3 mètres de largeur est réalisée sur l'ensemble du tracé, tandis qu'un trottoir de 1,5 mètre ceinture le giratoire pour garantir la continuité des parcours piétons. La signalisation routière, élément essentiel de la sûreté, comprend des panneaux verticaux avertissant des risques ainsi que des marquages au sol destinés à organiser la circulation. En complément, un éclairage public approprié et des équipements de protection, tels que des ralentisseurs, des glissières de sécurité et des balises, seront mis en place afin de réduire les risques d'accidents et d'améliorer la visibilité, notamment en période nocturne.

III-1.2.3. La signalisation et l'éclairage routiers

La signalisation et l'éclairage routiers représentent un élément fondamental pour garantir la sécurité des automobilistes et des piétons. Ils incluent à la fois une signalisation verticale, composée de panneaux indiquant les risques, et une signalisation horizontale, constituée de marquages au sol organisant la circulation.

a) Signalisation provisoire

Il s'agit d'une signalisation installée de façon temporaire, principalement lors de chantiers, d'événements occasionnels ou de situations imprévues (collision, détour, etc.). Ces panneaux indiquent généralement des renseignements tels que : ouverture ou clôture de travaux, réduction de vitesse à 30 km/h dans une zone en intervention, flèche de contournement, panneau de voie fermée, sortie de véhicules lourds, etc.

b) Signalisation permanente

Elle est implantée de manière stable et durable afin de réguler la circulation de façon continue sur l'ensemble du réseau routier. On distingue deux grandes catégories de signalisation permanente : la signalisation verticale, qui regroupe des panneaux d'obligation et d'indication, et la signalisation horizontale, qui met en évidence les tracés conventionnels de la chaussée ainsi que toutes les indications nécessaires au bon déroulement du trafic routier.

III-1.3. Les tracés géométriques de la chaussée (Tracé en plan, profils en long, en travers, profils en travers types)

La conception d'un projet d'infrastructure repose sur une représentation graphique claire et précise des différents tracés. Le tracé en plan permet de visualiser l'implantation de l'ouvrage sur le terrain, tandis que le profil en long illustre les variations altimétriques le long de l'axe principal. Les profils en travers, quant à eux, détaillent la structure de la chaussée et son intégration dans l'environnement immédiat. Enfin, les profils types servent de référence pour uniformiser la conception et garantir la cohérence technique du projet.

Ces éléments graphiques constituent la base de la communication entre ingénieurs, techniciens et décideurs, en facilitant la compréhension des choix géométriques et en assurant une exécution conforme aux normes.

III-1.3.1. Le tracé en plan

Le tracé en plan correspond à une représentation vue de dessus de la chaussée. Il se définit par une alternance de lignes droites et de courbes, reliées entre elles par des raccordements progressifs ou circulaires. Sa conception respecte les prescriptions de l'**ARP** pour la catégorie R60, en s'appuyant sur les paramètres minimaux exigés par cette classification.

III-1.3.2. Profil en long

Le profil en long correspond à une coupe longitudinale de la voie le long de son axe principal. Il met en évidence une alternance de pentes (inclinaisons) et de tronçons horizontaux, reliés entre eux par des raccordements de type parabolique.

II-1.3.3. Profil en travers

Les profils en travers correspondent à des sections perpendiculaires au profil en long. Ils illustrent une succession de couches de matériaux disposées les unes sur les autres, permettant de définir à la fois la configuration géométrique de la chaussée et sa composition structurelle. On rencontre deux types de profils en travers ce sont le Profil en travers type et le Profil en travers courant.

a) <u>Profil en travers type</u>

Le profil en travers type constitue un document de référence élaboré dans le cadre des projets de création de nouvelles voies ou de réhabilitation d'axes existants. Il regroupe l'ensemble des

éléments constructifs de la route future, en tenant compte de toutes les configurations possibles, qu'il s'agisse d'un environnement urbain ou d'une zone rurale (remblais, déblais).

b) Profil en travers courant

Le profil en travers courant représente la mise en œuvre du profil en travers type sur le terrain naturel, à des intervalles réguliers définis ou en fonction des relevés topographiques établis. Dans ce projet, cet espacement est d'environ 30 m, avec une application spécifique au niveau des ouvrages et des points de tangence. L'adaptation du profil type au relief correspondant, en respectant les altitudes du projet, permet d'effectuer le calcul prévisionnel des volumes de terrassements.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des éléments du profil en travers

	Elément	**unité**	**Largeur d'élément**	**Largeur(m)**
TPC	Bande médiane (TPC)	m	2,7 m	3,5
	Bordure T2	m	2x0,15 m	
	Pente du TPC	%	2,5	
Chaussée	Chaussée	m	2x7	2x7
	BDG	m	2x0,25	
	BDD	m	2x0,25	
	Pente de la chaussée	%	2,5	
Accotement	Bordures séparatrice A2	m	2x0,15	2x6,8
	Piste cyclable	m	2x3,5	
	Bordures trottoir	m	2x3,5	
	Trottoir	m	2x2	
	Pente de la piste cyclable	%	2,5	
	Caniveaux (variable)	m	2x80	

III-1.3.4. Les éléments du profil en travers

a) Terre-plein central (TPC)

Le projet adopte une disposition à chaussées séparées, avec un terre-plein central constitué de la bande médiane et des bandes dérasées de gauche. L'ensemble est limité par des bordures en béton armé de type T2.

III.2. Dimensionnement de la chaussée

Le dimensionnement de la structure de chaussée a pour but de de déterminer la structure optimale capable de résister aux trafics pour une durée de vie projetée de la route.

Tableau 5 : Données géotechniques

Echantillon				Portance CBR (%OPM)		Classe de portance (CEBTP)	Nature
Sondage	Couche	Position	PK	95	98		
184	40/100	Droite	19+700	59	73	S5	Grave argile latéritique
187	0/60	Gauche	20+700	6	8	S2	Argile peu graveleux
188	0/100	Droite	20+800	18	26	S4	Argile
192	0/60	Droite	21+200	21	32	S4	Grave argile latéritique
194	0/40	Droite	21+400	32	49	S5	Grave argile latéritique
197	0/100	Gauche	21+700	41	80	S5	Grave argile latéritique
198	0/55	Droite	21+800	23	32	S4	Grave argile latéritique

III-2.1 Étude géotechnique

Cette étude vise à caractériser les différents types de sols présents sur le site, afin de se servir des résultats pour les différents dimensionnements. À cet effet, des sondages ont été réalisés à intervalles réguliers tous les 250 m le long du tronçon, accompagnés de prélèvements d'échantillons pour analyses. Ces investigations visent à garantir la stabilité et la durabilité de la chaussée. Pour ce faire, voici la liste non exhaustive des principaux essais de laboratoire :

- Granulométrie par tamisage, pour identifier la répartition des grains
- Limites d'Atterberg, évaluent ma plasticité du sol,

- Equivalent du sable, mesure la propriété des matériaux
- Proctor modifier, détermine les conditions optimales de comptages
- Portance CBR, permet d'évaluer la portance du sol

Le CR a 95% de l'OPM a été utilisé conformément au Guide CEBTP (1984), qui retient ce niveau de compactage pour la détermination de la classe de portance du sol de plateforme

III-2.2. Détermination de la classe de portance du sol support

La détermination de la classe de portance du sol support constitue une étape essentielle dans le dimensionnement des structures de chaussées. Elle est la capacité du sol à supporter des charges sans trop se déformer. L'analyse des résultats de portance CBR obtenus à partir des différents sondages montre une variabilité et cette variabilité a permis de classer les sols par différentes classes de portance à savoir :

- Les sols de classe S2 correspondent à des matériaux de faible portance, nécessitant un traitement par purge afin d'atteindre le niveau de la portance S4
- Les sols de classe S4/S5, indiquant la présence d'un sol de bonne qualité
- Enfin, le tronçon présente globalement une portance hétérogène avec une dominance des classes S4 et S5

Toutefois, dans une optique de dimensionnement sécuritaire de la chaussée, il est recommandé de retenir une classe de portance répétitive, d'où on prendra S4 comme classe de portance de référence pour dimensionner de la structure de chaussée. La moyenne de résultat géotechnique pour le CBR sur le tronçon du projet donne **28,57**

Tableau 6 : Classe de portance des sols dans les pays tropicaux selon CEBTP

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

III-2.3. Étude du trafic

L'étude du trafic constitue une étape capitale dans le dimensionnement de la structure de chaussée. Elle s'appuie sur les données de compactage réalisées sur le terrain ainsi que sur les caractéristiques socio-économiques afin d'estimer l'évolution des flux de circulation sur une période donnée.

Tableau 7 : Données d'entrée

Année de comptage	2021
Année de mise en service	2028
Durée de service	15
Trafic moyen journalier annuel (TMJA)	1094 PL
Taux de croissance géométrique	6%
Année de fin de service	2042
Coefficient de répartition transversale 2X2 voies	0,375
Coefficient d'agressivité moyen (CAM)	1

III-2.3.1. Estimation du trafic

Le trafic pris en compte pour le calcul des structures de chaussée correspond au trafic total attendu sur la durée de vie de l'ouvrage, en particulier sur la voie la plus sollicitée. Pour déterminer ce trafic de dimensionnement, on utilise les données de comptage de l'année 2021, avec une mise en service prévue en 2028. La durée de vie est fixée à 15 ans et le taux d'accroissement retenu est de 6 %. Les calculs détaillés figurent en annexe4.

À l'issue de ces calculs, le trafic cumulé sur la période (Tc) est estimé à 4.95×10^6. Comme cette valeur se situe dans l'intervalle $4.10^6 \leq NE = 4.95x10^6\ PL \leq 10^7$ elle correspond à la classe de trafic T4. On en déduit donc que la catégorie de trafic à considérer pour le dimensionnement est T4.

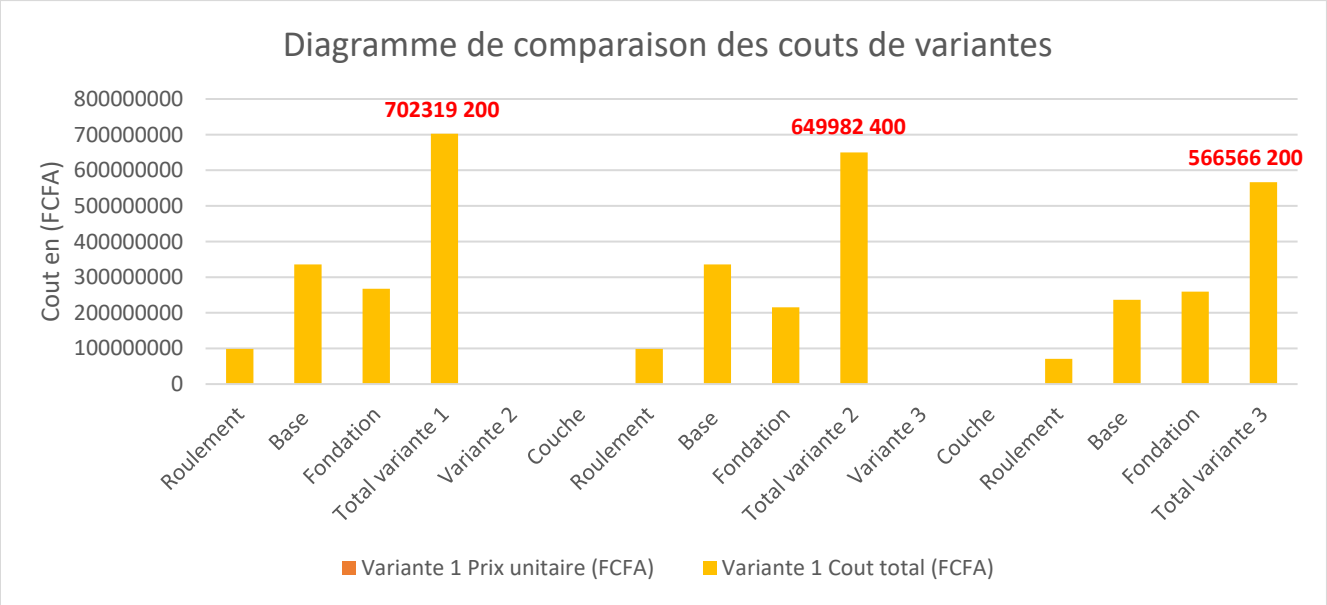
III-.2.4. Détermination des couches de chaussée et proposition des variantes selon le guide CEBTP

Après l'analyse du trafic, on a obtenu une classification T4 et une plateforme a été classée en S4. Conformément au guide pratique du dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux, l'association T4/S4 nous propose les variantes dans le tableau ci-dessous

Tableau 8 : Les différentes variantes

Couches	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Matériaux	Epaisseur(cm)	Matériaux	Epaisseur(cm)	Matériaux	Epaisseur(cm)
Roulement	BB	7	BB	7	BB	5
Base	Grave amélioré au ciment	20	Grave ciment	20	GB	15
Fondation	GL ou GN	20	Sable argileux ou grave amélioré au ciment	15	Grave amélioré au ciment	15

Diagrammes de comparaison des couts des variantes



Justification du choix de la variante 1

- Résistance accrue : La variante 1 présente une structure plus robuste grâce à la combinaison des matériaux (Grave amélioré au ciment). Cette configuration offre une meilleure capacité portante et une résistance supérieure aux sollicitations liées au trafic élevé.

- Durabilité : Même si le coût initial est plus important, cette variante garantit une meilleure pérennité de la chaussée. Elle réduit les risques de dégradations prématurées (orniérage, fissuration, affaissement), ce qui limite les interventions de maintenance à long terme.
- Adaptation au trafic T4 : Étant donné que le trafic cumulé correspond à la catégorie T4, il est indispensable d'opter pour une structure capable de supporter des charges lourdes et répétées. La variante 1 répond parfaitement à cette exigence.
- Vision stratégique : Le maître d'ouvrage ne considérant pas la contrainte financière comme un obstacle, le choix se porte naturellement sur la solution la plus performante. Cela traduit une volonté d'investir dans la qualité et la durabilité, plutôt que de privilégier une économie immédiate qui pourrait engendrer des coûts plus élevés en entretien futur.

III-2.5. Vérification de la chaussée par la méthode rationnelle Alize LCPC

- **Classe de la plateforme**

La classe de plateforme étant de S4, de CBR de 29 MPa, son module de Young est pris égal à :

$$E = 5 \times CBR = 145 \text{ MPa}$$

- **Tableau de classe de la portance selon NF-P-98-086-2011**

Tableau 9 : Tableau de classe de la portance

Modules-en (Mpa)	20	50	80	120	200
Classe de la plate-forme	PF1	PF2	PF	PF3	PF4

Avec E = 145 MPa, soit un sol de plateforme de type PF3, mais pour la suite de notre étude, on considère la classe de notre portance à la limite du PF3, d'où E = 120 MPa. Ce choix correspond au cas le plus défavorable.

Vérification des sollicitations (logiciel Alizé ou équivalent)

- **Calcul des sollicitations admissibles**

❖ **Déformation admissible pour les matériaux non traités et les sols supports de la chaussée**

Pour une couche de matériau non traité et le sol, la sollicitation admissible est la déformation verticale en surface de la couche calculée selon l'équation suivante [6]:

$\varepsilon_{Zadm} = A \times NE^{-0.222}$

A = 16000 si NE ≤ 250 000 et 12000 si NE > 250 000

NE= 4956428.09 PL

ε_{Zadm}= 391,8µdef

❖ **Déformation admissible pour les matériaux bitumineux**

Pour une couche de matériaux bitumineux sollicités en extension par flexion, la déformation admissible pour la température équivalente est calculée selon l'équation suivante [1] :

Ɛtadm = Ɛ6(10°c, 25 Hz) x √ (E(10°C, 20Hz) / E(34°C, 20 Hz)) x (NE /106) b x Kc x Kr x Ks

Tableau 10 : Les paramètres de l'équation du BBSG selon le catalogue du Sénégal sont dans le tableau ci-dessus

Caractéristiques	Notations	BBSG1
Module complexe (34C , 20Hz) Mpa	E	1 512
Module complexe (10C, 10Hz)	E	7 200
Coefficient de poisson	V	0,45
Résistance en fatigue (10C, 25Hz)	Ɛ6	100
Pente de la droite de fatigue	B	-0,2
Dispersion essai de fatigue	SN	0,25
Tolérance sur les épaisseurs de matériaux de la couche d'assise	Sh	2,5
Coefficient calage	Kc	1,1

Ɛtadm = 133.4 µdef

- **Vérification des structures**

Après vérification de la variante 1 de la chaussée sur le logiciel ALIZE LCPC, les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 11.

Tableau 11 : la variante retenue de la chaussée

Couches	Variante 1	
	Matériaux	Epaisseur(cm)
Roulement	BBSG	7
Base	GLa	25
Fondation	GL1	25

III-3 : Conception et analyse des variantes du pont

III-.3.1. Généralités sur les ponts

III-.3.1.1 Définition :

Un pont est ouvrages d'art pour lequel une voie de circulation (dite voie portée) franchit un obstacle naturel ou une autre voie de circulation terrestre, fluviale ou maritime. La voie portée peut être une voie routière (pont-route), une voie piétonne (passerelle), une voie ferroviaire (pont-rail) ou, plus rarement, une voie d'eau (pont-canal).[7]

III-.3.1.2. Composantes d'un pont

Un pont comporte généralement les catégories d'éléments suivantes :

- Les fondations ;
- Les appuis (culées, piles) ;
- Le tablier
- Les équipements ou superstructures
- Les appareils d'appuis

a) Les fondations

La fondation est la partie visible ou non, en contact avec le sol et sur laquelle se fondent les appuis du pont. Elle transmet les charges du pont au sol support. Il existe trois types de fondations et leur choix dépend d'un certain nombre de facteurs dont le plus important est la portance des sols sous-jacents. Ce sont :

- Les fondations superficielles qui peuvent aller jusqu'à 4 m de profondeur dans le sol ;
- Les fondations semi profondes ou puits qui varient entre 4 à 10 m de Profondeur
- Les fondations profondes ou fondations sur pieux qui vont au-delà de 10m

b) Les Appuis

Ils supportent l'ouvrage jusqu'au niveau des fondations. On distingue deux types d'appuis : les culées, qui sont les appuis extrêmes, et les piles, qui sont les appuis intermédiaires. Un appui peut être composé d'un ou de plusieurs voiles ou de colonnes surmontées d'un chevêtre.

c) Les piles

En fonction de la typologie des ouvrages et de conception architecturale, on distingue plusieurs morphologies de piles parmi les plus répandues, on distingue les piles murs, les piles colonnes

d) Les culés

Ce sont les appuis extrêmes du pont. Elles sont généralement enterrées et protégées. Elles sont constituées de murs en retours ou en aile, muret-cache, mur garde-grève, chevêtre ou sommier, mur de front, de dalle de transition, appareils d'appui.

e) Tablier

Le tablier est la partie horizontale du pont qui supporte le trafic par l'intermédiaire de la couche de roulement et des trottoirs s'ils existent et qui repose sur les appuis. Il existe des tabliers en béton armé, des tabliers en béton précontraint, des tabliers en bois, des tabliers mixtes, des tabliers métalliques, des tabliers en caissons, des tabliers à nervures, etc.

La partie comprise entre deux appuis constitutifs est appelée travée. Un pont peut comporter un ou plusieurs travées qui peuvent être indépendantes ou continues. Lorsqu'elles sont indépendantes, on parle de travées isostatiques.

- **L'intrados** désigne la face inférieure du tablier et l'extrados la face supérieure.
- **La dalle ou hourdis** est la structure pleine ou évidée qui supporte la chaussée. On rencontre plusieurs types de dalles (dalles pleines, dalles évidées, dalles nervurées et dalles à encorbellement).
- **Les poutres**, sont les éléments préfabriqués ou non qui supportent la dalle. On rencontre les poutres précontraintes, les poutres en béton armé, etc.
- **Le balancement** d'un pont est le rapport entre la travée de rive et la travée adjacente.
- **L'élancement** d'un pont est le rapport entre l'épaisseur du tablier et la portée dominante. Au cas où l'épaisseur du tablier est variable, on définit un élancement sur appuis et un élancement à la clé (milieu de la travée).

- **La portée** de la travée est la distance entre deux points d'appui consécutifs des éléments porteurs principaux.

- **L'ouverture** de la travée est la distance mesurée entre nus intérieurs de deux appuis consécutifs.

f) Les équipements ou superstructure

Ils désignent l'ensemble des éléments qui participent à la pérennité du pont et à la sécurité des usagers. On distingue :

- **Les dispositifs de retenu** sont des éléments métalliques disposés aux extrémités dans le sens de la longueur du pont pour protéger les usagers (les véhicules et/ou les piétons) ;
- **Les Joints de chaussée** sont des éléments transversaux placés entre la culée et le tablier, ou entre deux tronçons du tablier, pour permettre les déplacements relatifs, dus principalement aux variations de température, en assurant la continuité de la surface de la chaussée ;
- **Les Gargouilles** ou dispositifs d'assainissement du tablier, sont des tubes de diamètre variable par lesquels les eaux de ruissellement sont évacuées hors du tablier. Elles sont placées verticalement ou horizontalement dans le tablier ;
- **Les corniches** sont des éléments en béton qui permettent la fixation des garde-corps et de cacher les irrégularités du tablier ;
- **Les trottoirs :** C'est la partie de la surface du tablier réservée au passage des piétons ;
- **La couche d'étanchéité :** Ce sont des membranes étanches qui servent à drainer les eaux sur les grands ouvrages et qui évite les infiltrations d'eau qui sont susceptibles d'oxyder les aciers du tablier ;
- **La couche de roulement :** c'est la partie aménagée du pont qui permet la circulation. Elle participe à protection du tablier également.[7]

g) Les appareils d'appuis

Le tablier repose sur les appuis à l'aide des appareils d'appuis qui permettent les déplacement horizontal et vertical du tablier sous l'effet des charges. On distingue :

- Des appareils d'appui en élastomère fretté (le plus utilisé)

- Des appareils d'appui à pot
- Des appareils d'appui fixes à balanciers (moins répandus)

- Des appareils d'appuis mobiles à rouleau simple ou à balanciers et rouleaux multiples (moins répandus).

III-3.2. Analyse des variantes

La démarche consiste à définir les contraintes fonctionnelles et naturelles du site, puis à concevoir plusieurs types d'ouvrages de franchissement. Ces variantes seront comparées à l'aide d'une analyse multicritère, afin d'identifier une solution économique et mieux adaptée aux exigences du projet et aux conditions topographiques.

Tableau 12 : Caractéristique du tablier et paramètres géométriques de la chaussée/tracé

Désignation	Unité	Valeurs	Catégorie
Demi-Largeur du tablier	m	12,6	Caractéristique du tablier
Rayon de courbure de l'axe en plan	m	600	Paramètre géométrique du tracé
Rayon giratoire	m	42	Paramètre géométrique du carrefour
largeur d'une bretelle	m	9	Paramètre géométrique de la chaussée
Longeur à franchir	m	100	Caractéristique du tablier
Hauteur de gabarit	m	4,5	Caractéristique du tablier

. *Variantes envisagées*

Après l'analyse des données du projet, trois types de ponts sont envisagées :

- Pont à poutre en béton armée à travée indépendante (P.S.I.B.A)
- Pont dalle en béton armé avec large encorbellement (P.S.I.D.A)
- Pont a poutre préfabriquée, précontrainte par adhérence (P.R.A.D)

III-3.2.1. Pont à poutre en béton armée à travée indépendante (P.S.I.B.A)

a) Présentation

Un pont à poutres est une structure ou des poutres parallèles portent le tablier et transmettent les charges aux appuis. En plus le béton armé présente un coût économique par rapport aux autres matériaux. L'inconvénient de cette solution est le manque du côté esthétique. [8]Pour notre projet on a une longueur totale à franchir qui est de 100m, on a une configuration de 5 travées de 20m chacune avec appuis simple et entretoises aux extrémités

b) Prédimensionnement des éléments du tablier

Tableau 13: Prédimensionnement des éléments du tablier

Elément	**Dimensions géométriques**	
Poutre	Hauteur poutre	Hp= 1.20m
	Epaisseur âme	b=0.4m
	Hauteur talon	h'=20cm
	Largeur talon	Lt=50cm
	Longueur	L=20m
	Nombre	5
	Prédalle	L=2.45m, e=0.04m
Entretoise	Hauteur	He=1m
Hourdis	Epaisseur	Ee=0.25m
	Longueur	Le=6m
	Nombre	4
	Epaisseur	eh=20cm

III-3.2.2. Pont dalle en béton armé avec large encorbellement (P.S.I.D.A)

a) Présentation

Le tablier de ce type de ponts présente une dalle porteuse réalisée en général en béton armée. Le tablier de la dalle est armé longitudinalement et transversalement [9] Dans notre cas, nous privilégions une dalle continue dotée d'encorbellements latéraux, tout en maintenant une

Épaisseur réduite et une portée maximale de 18 m. Afin d'éviter tout risque de soulèvement des appuis en rive, la longueur des travées de rive doit rester suffisante, représentant entre 60 % et 85 % de celle des travées centrales. La configuration adoptée comprend donc 4 travées intermédiaires de 18 m chacune et 2 travées de rive de 14 m.

Largeur du tablier Lt= 12.60m

Longueur de la travée L= 18m

b) Epaisseur de la dalle

Tableau 14:Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques

Designation	Unité	Valeur
Lt	m	12,6
H	m	0,8
Li	m	8,6
E	m	1,8
a	m	0,2
e1	m	0,2
e2	m	0,2
e3	m	0,4

III-3.2.3. Pont à poutres préfabriquées, précontrainte par adhérence (P.R.A.D)

a) Présentation

Les ponts à poutres sous chaussée qui utilisent des poutres préfabriquées précontraintes constituent une solution classique pour le franchissement de travées dont la longueur peut s'échelonner entre 10 et 50 mètres [10] Pour notre projet avec les contraintes du terrain on a opté une configuration de 5 travées de 20m chacune.

La longueur de la travée portée unique L= 20m

La poutre en I constante et l'épaisseur du tablier H=E_{pt}= 1m

Les caractéristiques de la poutre sont identiques pour le pont en poutre en béton armée déterminer précédemment.

b) Caractéristique géométrique du tablier

Tableau 15:Caractéristique géométrique du tablier

Elément	**Dimensions géométriques**	
Poutre	Hauteur poutre	Hp= 1,20m
	Epaisseur âme	b=0,4m
	Hauteur talon	h'=20cm
	Largeur talon	Lt=50cm
	Longueur	L=20m
	Nombre	6
	Prédalle	L=2,45m, e=0,04m
Entretoise	Hauteur	He=1m
Hourdis	Epaisseur	Ee=0,25m
	Longueur	Le=6m
	Nombre	4
	Epaisseur	eh=25cm

III-3 3 Analyse multicritères

Avant de présenter le tableau comparatif, il est important de préciser les critères retenus pour l'évaluation des différentes solutions de pont. L'analyse repose sur trois grands axes :

- Aspects techniques : ils concernent la performance structurelle, la durabilité et les besoins en entretien. Ces éléments permettent de juger la fiabilité et la résistance de l'ouvrage dans le temps.
- Aspects économiques et esthétiques : ils prennent en compte le coût initial, le coût global sur la durée de vie, ainsi que l'intégration architecturale et l'impact visuel du pont dans son environnement.

- Faisabilité locale : ce critère évalue la disponibilité des matériaux, la qualification de la main-d'œuvre et les délais de réalisation, afin de mesurer la pertinence et la praticité de chaque option dans le contexte du projet.

Ces critères offrent une vision globale qui permet de comparer objectivement les variantes et de retenir la solution la plus adaptée.

Tableau 16: Tableau de comparaison des critères des variantes

Critères	**Sous - aspects**	**Pont à poutre à travées indépendantes en BA**	**Pont dalle en BA**	**Pont à poutres préfabriquées précontraintes**
Aspects techniques	Performances structurelles	Bonne rigidité mais discontinuité	Bonne répartition, comportement monolithique	Très haute performance
	Durabilité	Bonne mais dépend de l'entretien	Très bonne, peu exposé	Excellente
	Entretien	Importants (joints, appuis)	Faible	Modéré
	Note /5	3	4	5
Aspects économiques	Coût initial	Moyen	Modéré	Elevé
	Coût d'entretien	Elevé	Faible	Faible à moyen
	Coût global	Moyen	Economique	Investissement élevé
	Note /5	3	4	3
Aspects esthétiques	Intégration	Aspect massif	Simple et discret	Moderne et élancé
	Architecture	Classique	Harmonieux	Très esthétique
	Note /5	3	5	4
Faisabilité locale	Matériaux	Disponibles	Très disponibles	Spécifiques
	Main d'œuvre	Disponible	Très adaptée	Spécialisée
	Délais	Moyen	Rapide	Dépend préfabrication
	Note /5	4	5	2
	Total note	**13**	**18**	**14**

Le pont dalle en béton armé est retenu car il offre une excellente répartition des charges, une grande durabilité et nécessite peu d'entretien. Son coût global est économique, les matériaux et la main-d'œuvre sont facilement disponibles localement, ce qui facilite sa réalisation. De

De plus, sa conception compacte réduit le nombre d'appuis, limitant ainsi les points faibles et les coûts d'entretien, tout en assurant une intégration simple et harmonieuse dans l'environnement.

III.4 Dimensionnement du pont dalle

III 4-1. Données de la variante étudiée

Dans la partie précèdent nous avons détaillé les différents calculs

Tableau 17 : Tableau récapitulatif des caractéristiques géométrique

Designation	Unité	Valeur
Lt	m	12,6
H	m	0,8
Li	m	8,6
E	m	1,8
a	m	0,2
e1	m	0,2
e2	m	0,2
e3	m	0,4

III.4.2. Normes, règlement de calcul, hypothèse

III.4.2.1 Normes et règlement de calcul appliqués

Les normes suivantes ont constitué la référence de notre étude :

- BAEL 91 modifié 99 : règles de conception et de calcul des ouvrages en béton armé aux états limites ;
- Fascicule 61 – Titre II : conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art ;
- Fascicule 62 – Titre I, Sections I & II : prescriptions techniques pour la conception et le calcul des ouvrages en béton armé selon la méthode des états limites (BAEL 91 révisé 99).

III.4.2.2. Hypothèse et justification

a) Caractéristiques des matériaux

- **Béton :** Pour l'ensemble des éléments de l'ouvrage f_{c28}= 0.6 +0.06x30 = 2.4 Mp
- **Acier : Les** aciers utilisés pour le béton sont des armatures courantes à haute adhérence de classe. FE500, avec une limite d'élasticité de 500MPa. Le coefficient de sécurité de l'acier γb = 1,15. Aussi le Type de fissuration : Préjudiciable pour le tablier, - Très préjudiciable pour la fondation

b) Définition des charges et surcharges

Les matériaux utilisés sont régis par la norme française NFP 06-001.

Les surcharges d'exploitation sont définies par le Fascicule 61, Titre II.

- **les charges permanentes**

  le poids propre des ouvrages est évalué à partir des poids volumiques suivants :

Poids volumique béton armé : γb = 25 kN/m3,

Tableau 18 : récapitulatifs des poids des éléments du tablier

	Poids nominal	Kmax	Kmin
Revêtement chaussée	24 kN/m3	1,4	0,8
Etanchéité	22 kN/m3	1,4	0,8
Corniches	1 kN/m3	1,03	0,97
Relevé de béton	25 kN/m3	1,03	0,97
Barrière BN4	6,5 kN/m3		

- Surcharge d'exploitation

Les surcharges d'exploitation retenues dans ce projet se répartissent en quatre catégories :

- Les charges routières normales, selon deux systèmes distincts (A et B) ;
- Les charges routières particulières, de type militaire ou exceptionnel ;

- Les charges appliquées aux trottoirs, de type local ou général ;
- Les efforts dus au freinage ainsi que les actions centrifuges liées à l'aspect dynamique.

Tableau 19 : Tableau de coefficient de pondération des surcharges [11]

Coefficient de pondération		
Action	ELU	ELS
Chargement permanente G	1,35	1
Surcharge A(l)	1,6	1.2
Système B	1,6	1.2
Convois militaires	1,35	1
Convois exceptionnels	1,35	1
Surcharge trottoirs	1,6	1

III-4.3. Calcul des charges permanentes et surcharge routière

III-4.3.1 Estimation des charges permanentes

- **Estimation des charges de superstructure**

➢ Dispositif de sécurité BN4 G1
➢ Etanchéité d'épaisseur 3cm G2
➢ L'enrobée d'épaisseur 5cm G3
➢ Longrine de dispositif de sécurité G4
➢ GBA G5
➢ Corniche G6 [12]

Tableau 20 : Estimation des charges permanentes

Désignation des charges	Valeur minimale (kN/ml)	Kmax	kmin	Gmax (kN/ml)	Gmin (kN/ml)
G1	6,5	-	-	6,5	6,5
G2	7,56	1,4	0,8	10,584	6,048
G3	12,6	1,4	0,8	17,64	10,08
G4	8,75	1,03	0,97	9,0125	8,4875
G5	6,05	1,03	0,97	6,2315	5,8685
G6	1	1,03	0,9	1,03	0,9
G7	205	1	1	205	205
∑				255,948	242,882

- **Détermination des paramètres du tablier**

Tableau 21: récapitulatif des paramètres du tablier

Désignations	Unité	Valeur
Longueur du tablier (L)	m	12.6
Largeur roulable (Lr)	m	10.5
Largeur chargeable (Lc)	m	10
Nombre de voies (Nv)	-	3
Largeur de voie de circulation (V)	m	3.333
Classe du pont	-	Première classe

III-4.3.2. Estimation des surcharges routière

Surcharge civile

- Surcharge A(l)
- Surcharge système Bc

- Surcharge système Bt

- Surcharge système Br
- Surcharge système Bc Niger

Surcharges militaires

Convoi Mc 120

Surcharges exceptionnelles

- Type D
- Type E

Tableau 22 : récapitulatif des surcharges

Désignations	Surcharges		Coefficient de majoration dynamique		
Civil	Type	S (kN)	1voie chargée	2voies chargées	3voies chargées
	Bc	1710	1.02	1.11	1.12
	Bc Niger	2208.75	1.1	1.12	1.13
	Bt	640	1.09		
	Br	100	1.08		
Militaire	Mc120	1100	1.08		
Exceptionnel	Type D	1400			
	Type E	2000			
Autres surcharges	Effort de freinage Bc	300			
	Effort de freinage Bc Niger	420			
	Effort centrifuge Bc	39			
	Effort centrifuge Bc Niger	54.6			
	Sucharge trottoir (kN/m2)	1.5			

-III.4.4. Modélisation et calcul du tablier

La modélisation a pour objectif de concevoir un schéma capable de reproduire de manière approximative le comportement de la structure dans diverses situations. Cette démarche, fondée sur la méthode des éléments finis, permet un gain de temps notable. Le calcul des efforts et contraintes sera entièrement réalisé à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024.

III-4.4.1 Présentation du logiciel

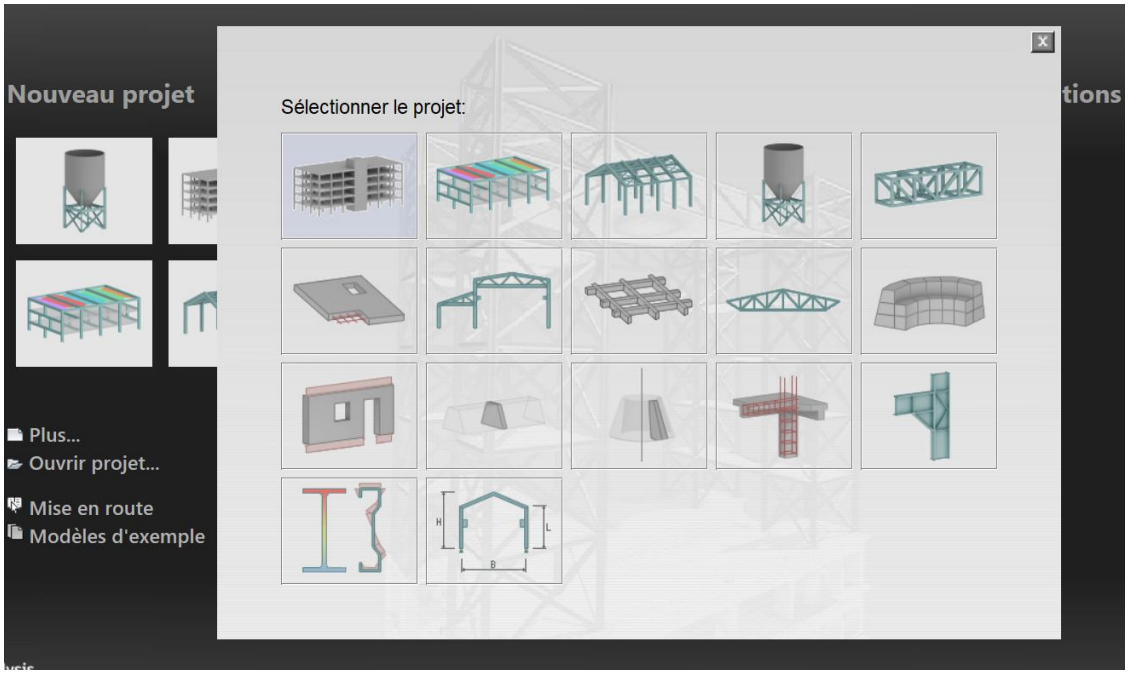


Figure 5 : présentation de l'interface du logiciel

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024 est un logiciel de calcul de structures spécialement conçu pour les ouvrages de génie civil. Il simplifie l'étude des contraintes internes d'une construction en s'appuyant sur la méthode des éléments finis. Ce programme propose une vaste palette de fonctionnalités pour l'analyse des charges statiques et dynamiques, tout en intégrant des modules de vérification adaptés aux structures en béton armé et aux ossatures métalliques. Il autorise une modélisation complète de l'ouvrage, allant de la définition de la géométrie jusqu'à l'application des charges. Le calcul repose sur des éléments de plaque, permettant d'obtenir une approximation de la réponse structurelle face aux différentes sollicitations appliquées.

III.4.4.2. Modélisation

L'étape consiste à introduire les éléments du tablier (panneaux, appareils d'appui) en gardant les mêmes caractéristiques géométriques et mécaniques. L'ouvrage est un pont à dalle pleine continue sur six travées avec encorbellements.

La dalle est modélisée comme un panneau reposant sur des appuis. La modélisation comprend :

- Définition de la structure et sa configuration,
- Conception générale,
- Choix des matériaux (béton, acier),
- Conditions d'appui,
- Méthode de calcul,
- Cas de charges et combinaisons,
- Vérification et dimensionnement du tablier.

Les appuis sont assimilés à des appuis simples rectangulaires pour limiter les concentrations de moments et cisaillements, et obtenir des réactions plus réalistes. Le choix préliminaire est de deux appareils d'appui 30×30 cm par pile, espacés de 2,00 m.

III.4.4.3. Combinaison de calcul

Il faut combiner les différentes actions appliquées sur l'ouvrage afin d'obtenir les sollicitations correspondant aux états limites. Les combinaisons traduisent diverses répartitions des efforts, en distinguant actions permanentes et variables, selon leur probabilité et leurs valeurs maximales.

Au total, on compte 65 combinaisons à l'ELS et 65 combinaisons à l'ELU.

III.4.5. Les résultats après le calcul

Après l'exécution des calculs par le programme, on obtient les valeurs maximales des efforts de flexion, aussi bien en travées qu'aux appuis, pour chaque combinaison, aux états de service et de résistance, dans les directions principale et secondaire.

III.4.5.1. Moment fléchissant suivant l'axe X (suivant le sens longitudinal du tablier)

Nous utilisons la fonction cartographie des dalles du programme afin de visualiser et relever les valeurs des efforts de flexion pour chaque combinaison. Les Figures ci-dessous présentent les valeurs extrêmes de ces efforts

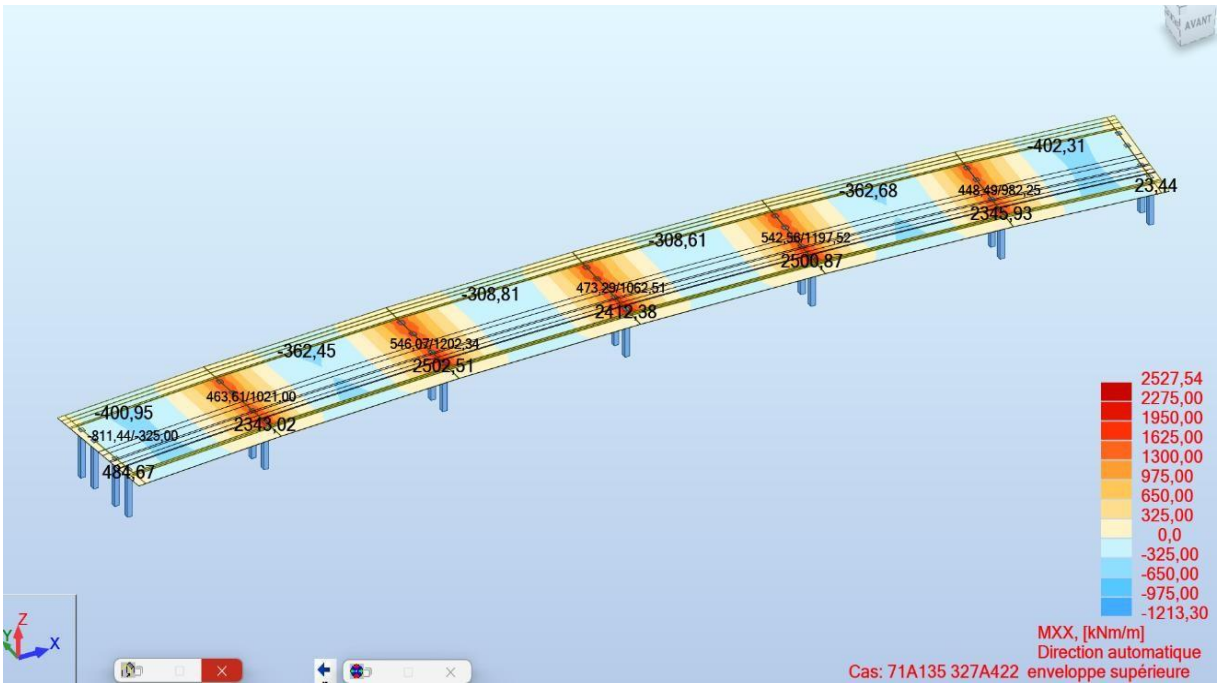


Figure 6 : Cartographie des moments à l'ELU suivant l'axe X

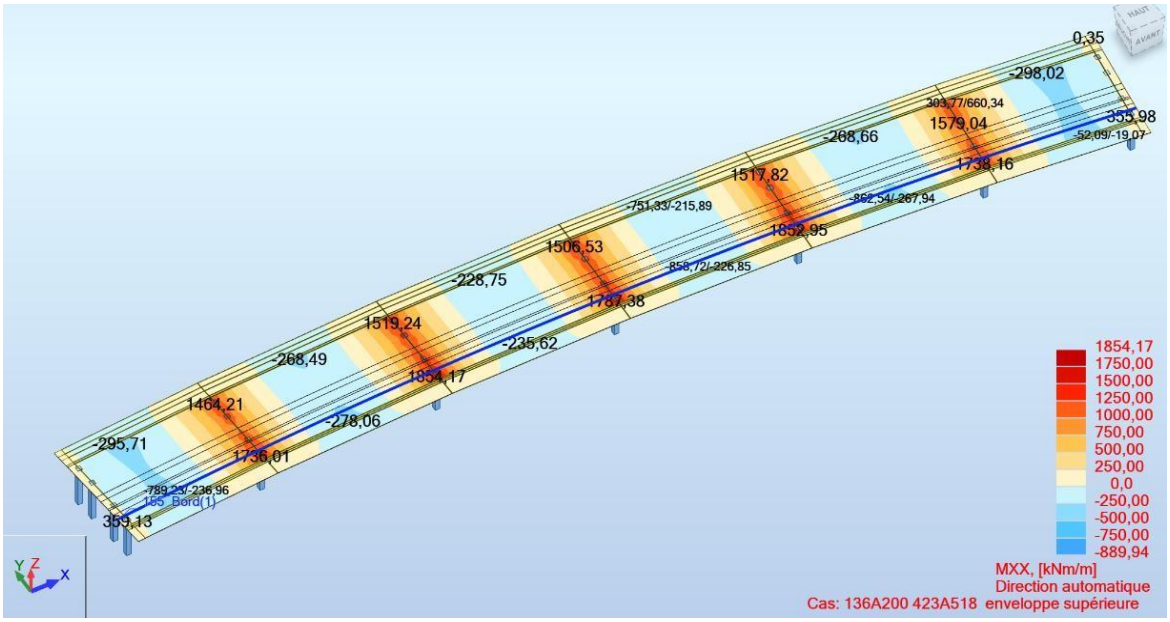


Figure 7: Cartographie des moments à l'ELS suivant l'axe X

Tableau 8 : Récapitulatif des moments maximaux suivant X

Niveau		ETAT	
		ELU (KN.m)	ELS (KN.m)
APPUI	Apui C1		
	Apui P1	2343,02	1736,01
	Apui P2	2502,51	1854,17
	Apui P3	2412,38	1787,38
	Apui P4	2500,87	1852,95
	Apui P5	2345,93	1738,16
	Apui C2		
TRAVEE	Travée T1	400,95	295,71
	Travée T2	362,45	278,06
	Travée T3	308,81	235,62
	Travée T4	308,61	226,85
	Travée T5	362,68	268,66
	Travée T6	402,31	298,02

À la lecture du tableau, on observe : Aux appuis :

Les valeurs maximales des efforts de flexion aux appuis se situent entre environ 2343 kN·m et 2502 kN·m pour l'ELU. Les efforts en ELS restent toujours inférieurs à ceux de l'ELU, avec des amplitudes comprises entre 1736 kN·m et 1854 kN·m. L'appui P2 présente les sollicitations les plus importantes pour les deux états (2502,51 kN·m en ELU et 1854,17 kN·m en ELS), ce qui traduit une zone particulièrement chargée.

En travées :

Les efforts maximaux relevés dans les travées sont nettement plus faibles que ceux des appuis. En ELU, les valeurs vont de 308,81 kN·m (T3 et T4) à 402,31 kN·m (T6). En ELS, elles fluctuent entre 226,85 kN·m et 298,02 kN·m.

III.4.5.2. Moment fléchissant suivant l'axe Y (suivant le sens transversal du tablier)

Nous faisons appel à la fonction de cartographie des dalles du programme afin de visualiser et relever les valeurs des efforts de flexion pour chaque combinaison. Les Figures ci-dessous présentent les représentations graphiques des efforts extrêmes.

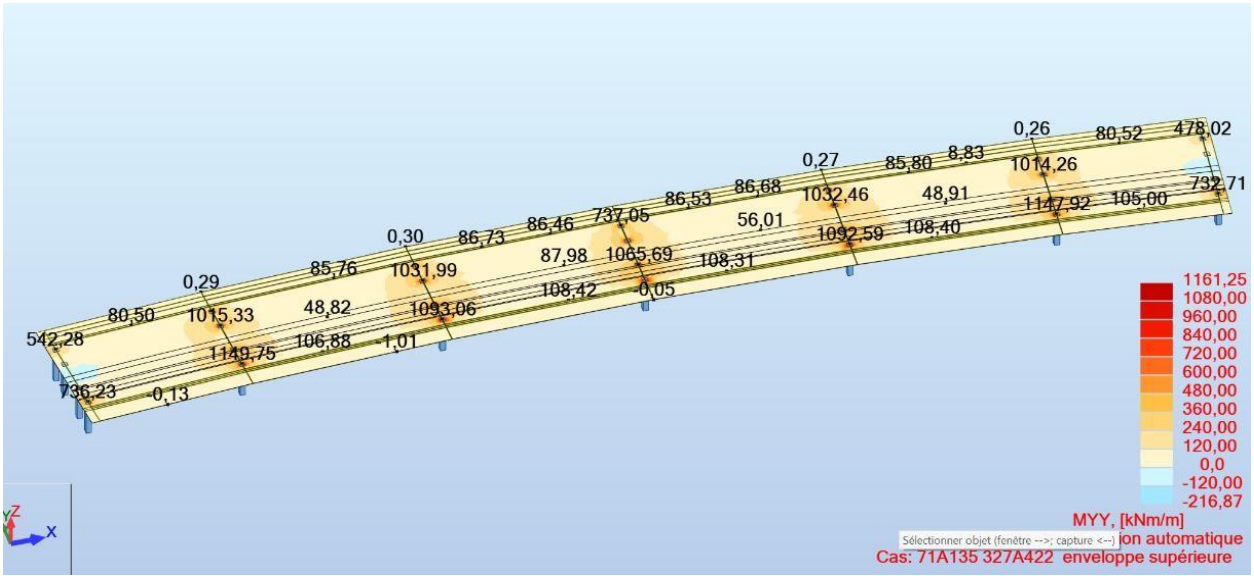


Figure 9 : Cartographie des moments à l'ELU suivant l'axe Y

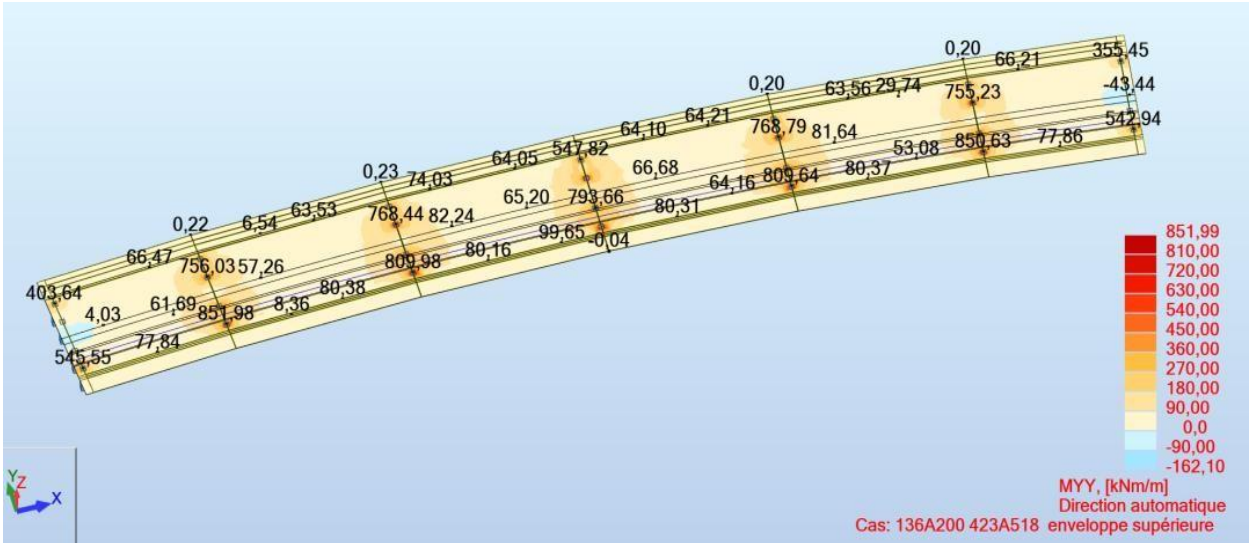


Figure 10 : Cartographie des moments à l'ELS suivant l'axe Y

Tableau 23 : Récapitulatif des moments maximaux suivant Y

Niveau		ETAT	
		ELU (KN.m)	ELS (KN.m)
APPUI	Apui extrême 1	737.05	547.82
	Apui intermédiaire 1	1032.46	768.79
	Apui intermédiaire 2	1065.69	793.66
	Apui extrême 2	1161.25	851.98
TRAVEE	Travée T1	86.73	74.03
	Travée T2	89.98	82.24
	Travée T3	106.88	99.65

Ce tableau synthétise les valeurs maximales des efforts de flexion selon l'axe Y, aussi bien aux appuis qu'en travées, en distinguant les états ELU et ELS. Les sollicitations relevées aux appuis sont nettement plus importantes que celles observées dans les travées, avec un pic enregistré à l'appui extrême 2. Les valeurs en travées demeurent relativement modestes, avec une légère hausse constatée au niveau de la travée T3

III.4.6 Section d'armature

III.4.6 1. Section d'armature longitudinale

À partir des valeurs maximales issues de la combinaison la plus contraignante, le programme calcule les sections réelles d'armatures en se basant sur les efforts de flexion, conformément aux prescriptions du BAEL 91 révisé en 1999. Ces calculs intègrent les paramètres définis au préalable, tels que le mode de fissuration, les propriétés des matériaux et les caractéristiques géométriques de l'ouvrage. Les Figures ci-dessous illustrent les cartographies des sections théoriques d'armatures longitudinales aux appuis et en travées.

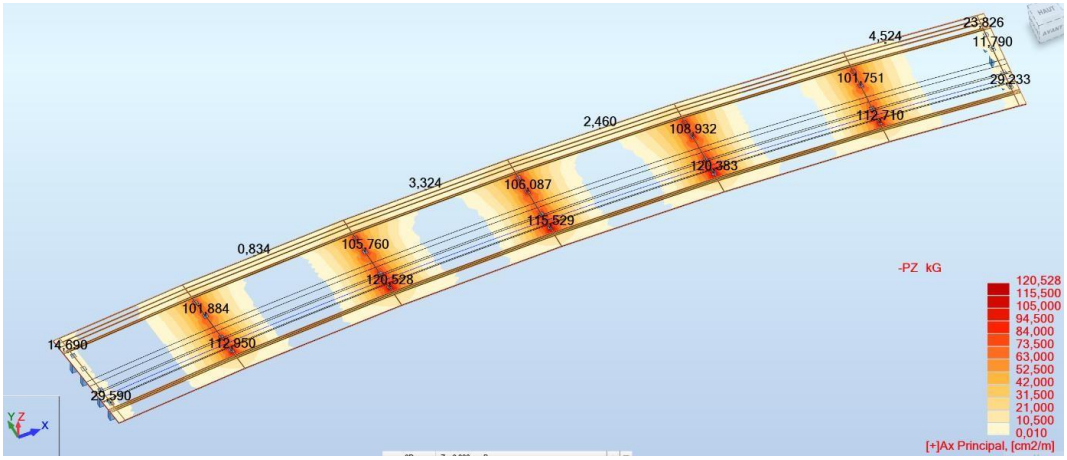


Figure 11 : Cartographie des sections théoriques d'armatures longitudinales sur appui

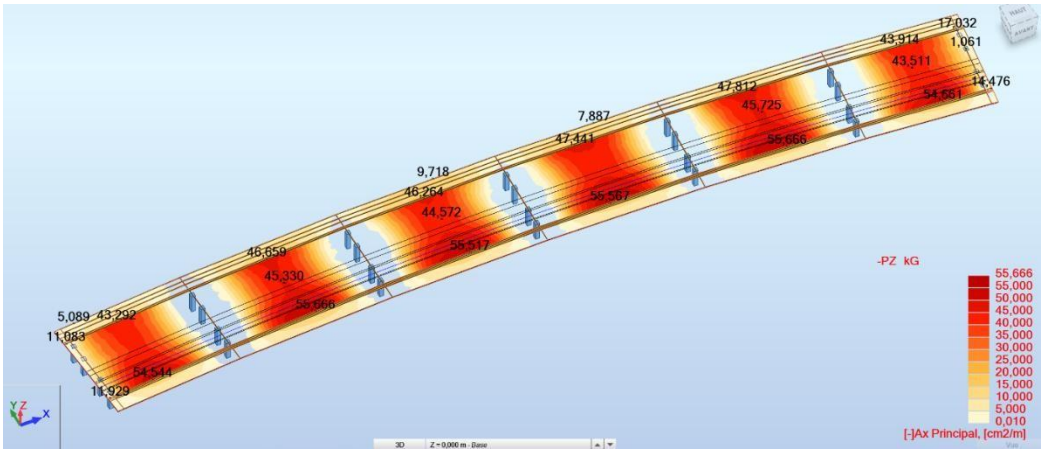


Figure 12 : Cartographie des sections théoriques d'armatures longitudinales en travée

Tableau 24 : Section d'armature longitudinale sur appui et travée

	Appuis	Travées
Section théoriques cm2/ml	120.53	55.56
Choix des aciers principales	8HA32	8HA32
Espacement	12.5	12.5
Choix des aciers de renfort	8HA32	-
Espacement cm	12.5	-
Sections réelles cm2/ml	128.68	64.34

Les barres principales adoptées sont identiques pour les appuis et les travées (8 HA 32), disposées avec un intervalle régulier de 12,5 cm. En revanche, des armatures de renfort additionnelles sont prévues uniquement au niveau des appuis, afin de rééquilibrer la section théorique d'armature dans ces zones.

III.4.6.2. Section d'armature de répartition

De façon analogue aux armatures longitudinales, les sections des barres de répartition sont déterminées à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis 2025, en se basant sur les efforts de flexion et conformément aux prescriptions du BAEL 91 révisé en 1999. Les Figures IV-8 et IV-9 illustrent les cartographies des sections théoriques des armatures de répartition aux appuis et en travées

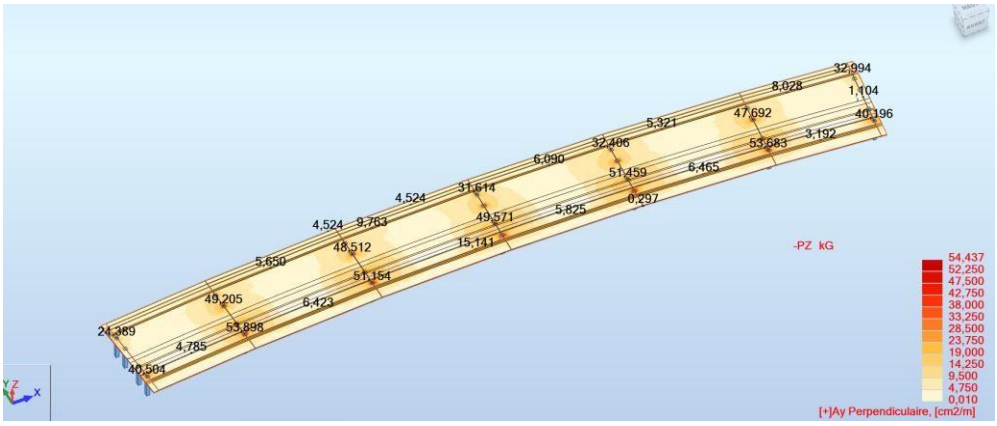


Figure 13 : Cartographie des sections théoriques d'armatures de répartitions sur appui

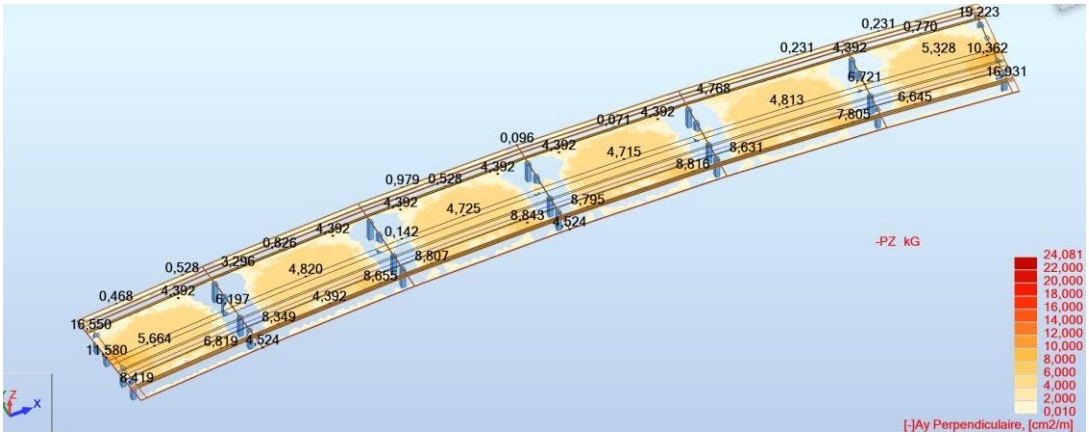


Figure 14 : Cartographie des sections théoriques d'armatures de répartitions en travée

Tableau 25 : Section d'armature de répartition sur appui et travée et le choix des aciers

	Appuis	**Travées**
Section théoriques cm2/ml	54.44	24.5
Choix des aciers principales	8HA32	8HA20
Espacement	12.5	12.5
Choix des aciers de renforts	-	-
Espacement cm	-	-
Sections réelles cm2/ml	64.34	25.13

Le tableau présente une synthèse des armatures de répartition aux appuis et en travées. Concernant le choix des aciers : aux appuis, 8 barres HA 32 disposées avec un intervalle régulier de 12,5 cm donnent une section effective de 64,34 cm²/ml. En travées, 8 barres HA 20 avec le même espacement de 12,5 cm correspondent à une section effective de 25,13 cm²/ml

III.4.6 3. Section d'armature transversale

Ces calculs sont effectués à l'ELU, en considérant une fissuration défavorable et en intégrant les efforts tranchants engendrés par les différentes charges appliquées sur le tablier ainsi que leurs combinaisons. Seuls des étriers seront utilisés comme armatures transversales pour le

tablier. Grâce au logiciel Autodesk Robot Structural Analysis 2024, nous avons identifié les sollicitations maximales des efforts tranchants issues de la combinaison la plus contraignante, aussi bien aux appuis qu'en travées. Ces valeurs, ainsi que les contraintes de cisaillement par mètre linéaire de section et le détail des calculs, sont présentés en annexe 6.

À la suite des résultats obtenus, nous retenons en tout point des appuis des étriers en HA 12 espacés de 40 cm.

III.5 Aperçu de la notice d'impact environnemental, social

La mise en œuvre de tout projet d'infrastructure entraîne des incidences notables sur l'environnement. Ces effets peuvent être défavorables, en raison des perturbations que de tels ouvrages provoquent sur les milieux naturels, ou bénéfiques, grâce aux avantages qu'ils apportent aux populations et à l'écosystème sur le long terme.

Dans cette partie, nous allons étudier les répercussions environnementales liées au projet. Nous analyserons d'abord les impacts négatifs, notamment ceux associés aux étapes de réalisation et d'exploitation, avant de mettre en lumière les retombées positives. Nous proposerons également des mesures de réduction et de compensation.

.

III.5 1 Cadre institutionnel et réglementaire

Le Burkina Faso dispose d'un ensemble d'outils politiques, institutionnels et juridiques, ainsi que de programmes et de plans adaptés à la gestion du foncier, des ressources naturelles et de l'environnement. De plus, le pays a souscrit à divers traités et conventions régionales et internationales concernant la préservation de l'environnement et le respect des normes sociales.

La réalisation du projet d'élargissement de la sortie Est de Ouagadougou, sur la Route Nationale n°4 (RN4), ainsi que l'aménagement des voies connexes, sera conduite en parfaite conformité avec ces dispositifs et engagements.[13]

- *Politique environnementale et sociale du Burkina Faso*

- **La Politique Nationale en matière d'Environnement**, adoptée par les autorités en janvier 2007, constitue une démarche visant à établir un cadre de référence pour intégrer les problématiques environnementales dans les politiques et plans de développement.

Parmi les principales orientations à considérer dans le cadre de ce projet figurent :

- La gestion pérenne et responsable des ressources naturelles ;

- L'assurance d'un environnement de qualité pour les populations, afin de leur garantir un cadre de vie sain.

- **La Politique Nationale d'Aménagement du Territoire**, sert de guide pour orienter les études d'aménagement

et les acteurs sur le terrain, afin de traduire les orientations stratégiques Issue de l'étude nationale prospective 2025 dans le cadre de l'aménagement spatial, elle s'articule autour de trois axes essentiels :

- La croissance équilibrée et intégrée des activités économiques sur l'ensemble du territoire ;
- L'inclusion sociale, en s'appuyant sur les valeurs culturelles pour bâtir une société contemporaine ;
- La gestion responsable et durable de l'environnement, centrée sur la sécurisation foncière, la restauration des ressources naturelles dégradées et l'amélioration du cadre de vie.

- **La Politique Nationale de l'Eau**, instaurée en 1998, vise à promouvoir un développement durable en apportant des réponses aux problématiques liées à la ressource hydrique, afin qu'elle ne constitue pas un frein au progrès socio-économique. Elle s'appuie sur quatre objectifs spécifiques :

- Garantir la satisfaction pérenne des besoins en eau ;

- Assurer la protection contre les effets néfastes de l'eau ;

- Optimiser la gestion des finances publiques ;

- Anticiper et réduire les tensions liées à l'administration des eaux partagées.

- *Cadre législatif applicable*

- **La Constitution du 2 juin 1991** et ses amendements

Le cadre juridique environnemental du Burkina Faso s'appuie sur la Constitution, dont le préambule affirme que : « le peuple souverain du Burkina Faso est conscient de l'impérieuse nécessité de préserver l'environnement ».

L'Article 14 stipule que les richesses et ressources naturelles appartiennent à la nation et doivent être exploitées dans le but d'améliorer les conditions de vie, tout en respectant les principes du développement durable. L'Article 29 consacre le droit à un environnement sain, en précisant que la sauvegarde et la valorisation de l'environnement constituent une obligation pour chacun. Enfin,

l'Article 15 garantit le droit de propriété, en indiquant que celui-ci ne peut être exercé de manière préjudiciable à l'intérêt collectif ou aux droits d'autrui, et qu'une compensation équitable doit être accordée en cas d'expropriation pour utilité publique.

- **Loi n°006-2013/AN du 2 avril 2013 relative au Code de l'environnement au Burkina Faso**

L'Article 25 de cette loi précise que toute activité susceptible d'avoir un impact notable sur l'environnement doit obtenir l'autorisation préalable du Ministre en charge de l'environnement. Cette approbation repose sur une Évaluation Environnementale Stratégique (EES), une Étude d'Impact Environnemental (EIE) ou une Notice d'Impact Environnemental (NIE). Ces instruments permettent d'apprécier la faisabilité des projets, au même titre que les analyses techniques, économiques et financières (Article 26).

- **Loi N°0026-2001/AN portant Orientation Relative à la Gestion de l'Eau**.

L'article 24 de la loi indique que les aménagements hydrauliques, ainsi que les installations, ouvrages, travaux et activités réalisés par toute entité (publique ou privée), doivent faire l'objet d'une autorisation ou d'une déclaration lorsqu'ils entraînent :

- Des prélèvements d'eau, qu'ils soient de surface ou souterrains, restitués ou non ;

- Une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux ;

- Des rejets, écoulements, déversements ou dépôts, qu'ils soient réguliers ou occasionnels, même lorsqu'ils ne présentent pas de caractère polluant.

III.5 2 Identification et analyse des impacts

- *Milieu*
  - La qualité de l'air

Le projet d'élargissement de la sortie Est de Ouagadougou (RN4) pourrait avoir un léger impact sur la qualité de l'air, principalement en raison des émissions de gaz des véhicules et des soulèvements de poussières, particulièrement durant la saison de l'harmattan. Afin de limiter la pollution, l'usage de carburant sans plomb (super 91) ainsi que la promotion des contrôles techniques des véhicules seront encouragés. Des mesures telles que l'arrosage du chantier au cours des travaux seront également mises en œuvre pour réduire la dispersion de poussières.

- Le sol

La zone concernée par le projet est majoritairement constituée de migmatites et de granites altérés, donnant lieu à la formation de sols ferrugineux tropicaux. Le tronçon de la RN4 se distingue par des sols sablo-argileux et argilo-sableux, peu développés et hydromorphes, ainsi que par des sols soumis à l'érosion reposant sur des matériaux gravillonnaires. Les travaux d'aménagement de la RN4 et des voies associées pourraient générer des risques de contamination des sols si des mesures adaptées ne sont pas mises en œuvre. De plus, les zones d'extraction de matériaux et les carrières subiront également des impacts, notamment liés au tassement, à l'érosion, à l'ensablement et à l'envasement des cours d'eau, en l'absence de dispositions correctives appropriées.

- L'eau

Les travaux d'élargissement de la sortie Est de Ouagadougou (RN4) et des voies associées pourraient également avoir des répercussions sur les ressources hydriques, tant en termes de qualité que de quantité. La proximité de certains cours d'eau ou zones humides peut engendrer des risques

de contamination, notamment à cause des écoulements de produits pétroliers, d'huiles usagées ou de déchets issus du chantier. Ces polluants sont susceptibles de détériorer les écosystèmes aquatiques et de compromettre l'approvisionnement en eau des communautés locales.

Par ailleurs, les activités d'extraction dans les carrières et les zones d'emprunt de matériaux peuvent provoquer l'envasement ou l'ensablement des cours d'eau, réduisant leur capacité d'écoulement et accentuant les risques d'inondation lors des fortes précipitations.

- *Milieu humain et socio-économique*

Le projet présente des enjeux significatifs, tant sur le plan socio-économique que sur le plan biophysique, parmi lesquels figurent notamment

Menaces sanitaires liées à la diffusion des maladies sexuellement transmissibles (MST) et du VIH/SIDA ;

- Risques de pathologies respiratoires provoquées par les particules de poussière ;

- Atteinte à la quiétude des habitants en raison des nuisances sonores engendrées par les chantiers
- Possibilités de détérioration des sols et d'érosion consécutives aux extractions de matériaux et à l'exploitation des carrières ;
- Optimisation de la fluidité du trafic et diminution des dangers routiers grâce au désengorgement des axes ;
- Ouverture et désenclavement des localités ;
- Génération d'opportunités d'emplois directs et indirects ;
- Facilitation du passage des marchandises et renforcement des échanges commerciaux.

III.5 3. Mesures d'atténuation et de compensation

- *Mesures pour le milieu physique*

➢ Mesures relatives à la végétation

- Réaliser un inventaire préalable des arbres existants ;
- Valoriser les arbres abattus ;
- Interdire l'exploitation des zones d'emprunt situées dans les espaces protégés ;
- Procéder à la revégétalisation des surfaces défrichées ;
- Mettre en place des plantations compensatoires ;

- Protéger les jeunes plants par des grilles et assurer leur entretien pendant trois ans.

➢ Mesures d'atténuation pour la qualité de l'air en milieu urbain

- Assurer la maintenance régulière des véhicules afin de limiter les émissions ;
- Arroser les zones poussiéreuses ;
- Réguler la vitesse de circulation ;
- Suspendre les travaux en cas de vents violents ;
- Fournir des masques de protection au personnel.

➢ Mesures d'atténuation pour la gestion des ressources en eau

- Localiser les zones d'emprunt à distance des cours d'eau ;
- Planifier les prélèvements d'eau ;
- Collecter et traiter les déchets solides et liquides ;
- Réhabiliter les zones d'emprunt en points d'eau ou en espaces verts

o *Mesures pour le milieu socio-économique*

➢ Mesures pour la santé

- Mise en place d'une unité de soins ;
- Organisation de campagnes de sensibilisation sur les maladies transmissibles et les violences basées sur le genre ;
- Distribution d'équipements de protection individuelle (EPI) ;
- Arrosage des zones poussiéreuses pour limiter les particules ;
- Approvisionnement en eau potable pour le personnel.

➢ Mesures pour l'économie et l'emploi

- Prioriser le recrutement de la main-d'œuvre locale ;
- Recourir à des techniques à forte intensité de main-d'œuvre (HIMO) ;
- Respecter les pratiques et coutumes locales ;
- Indemniser les biens affectés ;
- Valoriser les anciennes carrières pour des activités communautaires.

➢ Mesures pour la sécurité

- Recouvrir les caniveaux ;

- Mettre en place une signalisation appropriée des zones de chantier ;
- Élaborer un plan de circulation pour les riverains ;
- Rendre obligatoire l'utilisation des EPI ;
- Sécuriser les zones de stockage et de stationnement des engins ;
- Prévenir les risques d'incendie dans les zones sensibles.

III.6 Avant métré avec devis global du projet

Avant d'aborder le métré et l'établissement du devis global, il est essentiel de rappeler que cette étape constitue la synthèse des études techniques réalisées en amont. Le métré permet de quantifier avec précision les différents éléments constitutifs de l'ouvrage, tandis que le devis global traduit ces quantités en estimation financière. Cette démarche garantit une vision claire des besoins matériels et humains, ainsi qu'une évaluation réaliste du coût total du projet. Elle constitue donc un outil indispensable pour la planification, la gestion et la prise de décision.

Tableau 26:Tableau récapitulatif de l'estimation global du projet

RECAPITULATIF GLOBAL	
TOTAL LOT N°1 : INSTALLATION ET REPLI DU CHANTIER	90 000 000
TOTAL LOT N°2 : DEGAGEMENT DES EMPRISES	20 000 000
TOTAL LOT N°3 : TERRASSEMENTS GENERAUX	807 475 700
TOTAL LOT N°4 : REALISATION DES COUCHES DE CHAUSSEE	1 675 358 080
TOTAL LOT N°5 : OUVRAGES D'ART (Tablier pont-dalle)	298 167 500
TOTAL LOT N°6 : SIGNALISATION-SECURITE-ECLAIRAGE	179 596 000
TOTAL LOT N7 : MESURE SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE	64 175 400
MONTANT GLOBAL HT	3 134 772 680
TVA 18%	564 259 082.40
DROIT D'ENREGISTREMENT 3%	94 043 180.40
PATENTE 2%	62 695 453.60
MONTANT GLOBAL TTC	3 855 770 396.40

Montant global TTC : **3 855 770 396,40 FCFA**

→ Trois milliards huit cent cinquante-cinq millions sept cent soixante-dix mille trois cent quatre-vingt-seize francs CFA et quarante centimes, c'est la somme arrêtée pour le projet.

Conclusion

En bref, les résultats montrent que le projet a retenu une conception géométrique adaptée (catégorie R60) et un carrefour dénivelé pour améliorer la sécurité et la fluidité du trafic. Le dimensionnement de la chaussée, validé par les études géotechniques et de trafic, a conduit au choix de la variante 3, plus robuste et durable. Enfin, l'analyse des variantes de pont confirme l'importance d'une structure solide et sécurisée pour garantir la pérennité de l'ouvrage.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude, il ressort que le projet d'élargissement et de modernisation de la RN4, et plus particulièrement la conception du carrefour dénivelé à l'intersection RN4–RD40, constitue une réponse technique et stratégique aux défis de mobilité rencontrés dans la zone de Boutenga. L'analyse géométrique, le dimensionnement de la chaussée et la conception du pont-dalle ont permis de proposer une solution conforme aux normes en vigueur, durable et adaptée au trafic prévu.

Les résultats obtenus démontrent que l'ouvrage envisagé répond non seulement aux exigences de sécurité et de fluidité de la circulation, mais qu'il contribue également à la réduction des nuisances environnementales et à l'amélioration du cadre de vie des populations riveraines. L'intégration d'une notice d'impact environnemental et social, ainsi que l'estimation financière du projet, renforcent la pertinence et la faisabilité de la solution proposée.

Le coût global du projet est estimé à **3 855 770 396,40 FCFA**, traduisant l'importance des investissements nécessaires pour garantir la durabilité et l'efficacité des infrastructures.

En définitive, ce travail met en évidence l'importance d'une approche pluridisciplinaire dans la conception des infrastructures routières, alliant rigueur technique, durabilité et responsabilité sociale. La réalisation de ce carrefour dénivelé représente une avancée significative pour le développement économique et social du Burkina Faso, en favorisant une meilleure accessibilité, une sécurité accrue et une fluidité optimale du trafic sur un axe stratégique.

RECOMMANDATIONS

Entretien : prévoir un plan de maintenance périodique et des financements dédiés.

Sécurité routière : sensibiliser les usagers, contrôler les vitesses et sanctionner les comportements dangereux.

Environnement : mettre en œuvre des mesures d'atténuation, comme la plantation d'arbres.

Suivi : réaliser des évaluations régulières pour corriger d'éventuelles insuffisances

BIBLIOGRAPHIE

[1] « aldc2023d5_fr ». Cadre légal du transport routier au Burkina Faso, Nations Unies, Genève 2024.
[2] E. Bonnet, L. Lechat, et V. Ridde, « Quelles sont les interventions nécessaires pour réduire les accidents de la route en Afrique ? : une revue de la littérature ».
[3] A. Nikiema, A. Zougouri, et E. Bonnet, « Sécurité routière au Burkina Faso : l'indispensable formation des jeunes ».
[4] R. S. Bonkoungou, « QUAND L'AMENAGEMENT URBAIN DEVIENT UN FACTEUR DE CONFLITS ROUTIERS DANS LA VILLE (BURKINA FASO) ».
[5] « Aménagement des Routes Principales (2) ». Guide Technique SETRA Aout 1994.
[6] « catalogue de structures de chaussees neuves et de dimensionnement des chaussees au senegal _compress ». Avril 2015
[7] « SETRA, Guide du projeteur-Ouvrages d'art : Ponts courants, 1999. ».
[8] « SETRA. (1999). *Prédimensionnement des ponts poutres.* Guide technique, Ministère de l'Équipement, France. ».
[9] « DT430 Pont dalle guide de conception SETRA (Juillet 1989) _045156 ». Ministère de l'Équipement, France.
[10] « GuideSETRA_Conception_PRAD_septembre1996_041020 ». Ministère de l'Équipement, France.
[11] « Fascicule N^0 61 CONCEPTION, CALCUL ET ÉPREUVES DES OUVRAGES D´ART- Titre II: programmes de charges et épreuves des pont routes mai 1980 BAEL 91 réviser 99 ».

[12] « Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), *Passage supérieurs ou inférieurs en dalle nervurée*, Guide technique, France., août 1977. ».
[13] « AGEIM-IC (janvier 2024) EIES_Prolongement-RN4_-Version-Provisoire ».
[14] « aménagement des carrefours interurbains ». Guide Technique SETRA Décembre 1998

[15] « TOUS LES PANNEAUX 12 mars 1988 ». Ministère de l'Équipement, France.

[16] « Instruction Interministérielle sur Signalisation Routière 7^e partie France 22 octobre 1963 ».

ANNEXES

Annexe 1 : Paramètres de conception et éléments structurants du carrefour à sens giratoire I

Annexe 2 : signalisations IX

Annexe 3 : Les paramètres géométriques des tracés (Tracé en plan, profils en long, en travers, profils en travers XII

Annexe 4 : Estimation du trafic par la méthode empirique XVII

Annexe 5 : Conception pont XXII

Annexe 6 : Note de calcul XXX

Annexe 7 : Aperçu de la notice d'impact environnemental, socio-économique et avant métré avec devis global du projet LIX

Annexe 1 : Paramètres de conception et éléments structurants du carrefour à sens giratoire

L'étude topographique et géométrique constitue une étape essentielle dans la conception d'un carrefour dénivelé. Elle permet de traduire les contraintes du site en choix techniques adaptés, tout en respectant les normes de conception routière. L'analyse du terrain, des relevés et des contraintes environnementales sert de base à la définition de la catégorie de route et des paramètres géométriques. À partir de ces éléments, le tracé en plan, les profils en long et en travers, ainsi que les profils types sont élaborés afin d'assurer la sécurité, la fluidité et l'intégration harmonieuse de l'ouvrage dans son environnement.

III-1.1. Relevés et contraintes du site

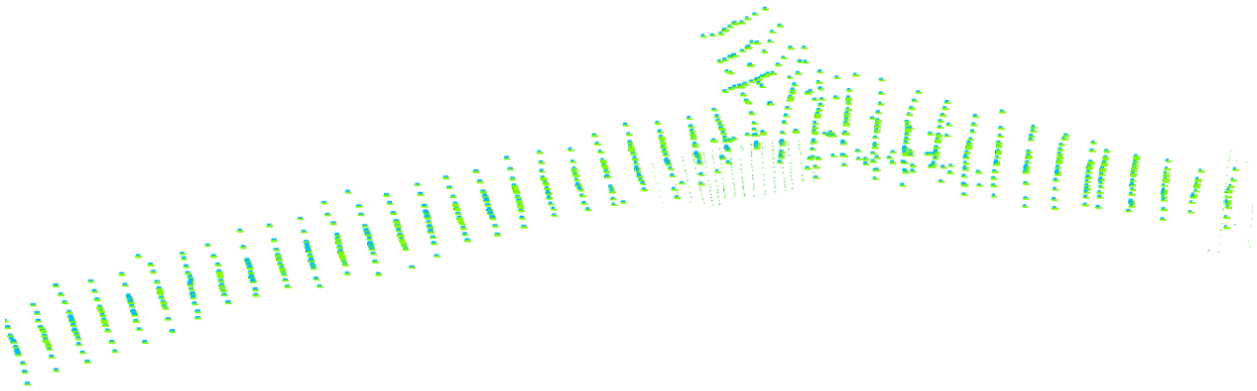
II-1.1.1. Présentation des relevés topographique

Les relevés topographiques réalisés sur le site ont permis de collecter les coordonnées géométriques (X, Y, Z) de plusieurs points caractéristiques le long de l'axe projeté. Ces données constituent la base de l'analyse géométrique et servent à évaluer la configuration du terrain avant toute conception. Les altitudes mesurées montrent des variations limitées sur certains tronçons (entre 305.87 m et 306.33 m), traduisant localement un relief relativement plat. Toutefois, l'observation directe du site révèle la présence de collines et de dénivelés, ce qui indique que le terrain n'est pas uniformément plat mais présente des zones de relief plus marqué.

Les relevés ont également permis d'identifier des éléments existants pouvant influencer la conception, tels que dans le tableau ci-dessous :

Tableau des existants sur le site

Élément relevé	**Nature/Fonction**	**Impact sur la conception**
Fibre optique	Réseau technique	Protection / déviation
Talus	Relief latéral	Stabilisation / aménagement
Collines	Relief naturel	Adaptation du tracé
Garde-fous	Sécurité routière	Maintien / renforcement
Perré	Soutènement en pierre	Conservation / adaptation
Balises	Signalisation existante	Réorganisation possible
Commerces/habitation	Contexte socio-économique	Accessibilité / nuisances



Représentation des points topographiques (source AGEIM-IC)

III-1.2.1.1. Principes essentiels

Lors de la conception d'un carrefour, qu'il s'agisse de la planification globale ou de la définition géométrique, il est indispensable de suivre un ensemble de règles fondamentales. Parmi lesquelles nous avons :

- Adéquation avec le type de voie, en tenant compte des comportements particuliers qu'elle induit ;
- Cohérence avec la logique de l'itinéraire, notamment par l'uniformité des aménagements et leur contribution au rythme et à la structuration de l'axe ;

- Clarté de l'organisation, permettant une compréhension immédiate, simple et sans ambiguïté du fonctionnement du carrefour ;
- Sécurité renforcée pour l'ensemble des flux, y compris les mouvements secondaires, afin de réduire les risques d'accidents ;
- Maintien de la fluidité pour les flux prioritaires, en garantissant une circulation aisée sur les voies principales.
- Considération des catégories particulières d'usagers, comme les marcheurs, les cyclistes, les passagers des transports collectifs ainsi que les véhicules à gabarit spécial.

a) Présentation des paramètres de conception du carrefour

Les conditions d'implantation ainsi que les composantes essentielles d'un carrefour giratoire sont illustrées sur la figure suivante :

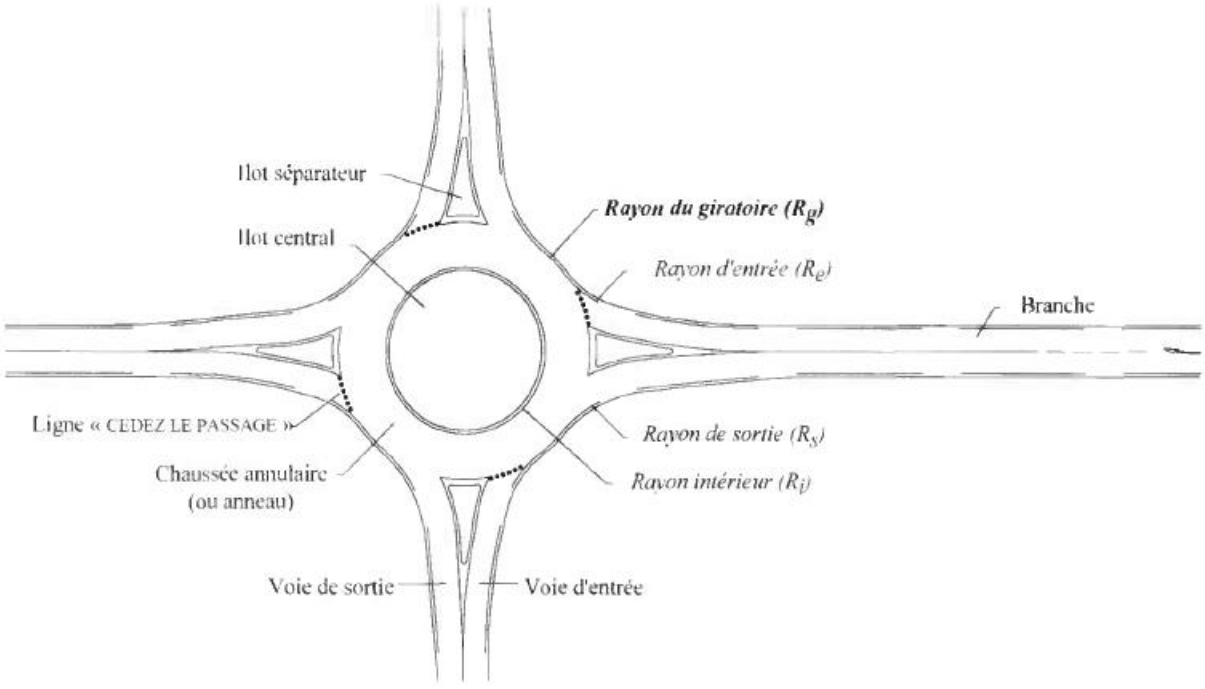


Figure Principaux éléments et paramètre d'un carrefour giratoire [14]

b) Îlot central

L'îlot central représente l'élément fondamental d'un carrefour giratoire. Situé au cœur de l'intersection, il a pour fonction principale de canaliser la circulation des véhicules autour de lui. Sa géométrie, le plus souvent circulaire ou elliptique, est étudiée afin de renforcer la sécurité et de favoriser la fluidité du trafic. Bien qu'aucune norme stricte ne fixe son diamètre, dans notre projet, compte tenu des caractéristiques propres aux branches, un rayon de 25m a été retenu (Rg = 25 m).

c) Chaussée annulaire

La chaussée annulaire doit être appréhendée non pas comme une succession de voies distinctes séparées par un marquage, mais comme une seule et même bande de roulement suffisamment large pour permettre un écoulement fluide et continu des véhicules.

❖ **Largeur de l'anneau**

La largeur de l'anneau dépend directement du rayon R_g ainsi que de la largeur des voies d'entrée. Les valeurs usuelles varient entre 6 m (minimum) et 7 m (norme courante), pouvant atteindre 8,50 m pour des accès à deux voies. Dans le cadre du présent projet, une largeur de 9 m a été retenue afin de garantir un écoulement optimal du trafic.

❖ **Dévers de la chaussée**

Le dévers est orienté vers l'extérieur et maintenu de manière uniforme, généralement compris entre 1,5 % et 2 %. Cette configuration favorise la perception des conducteurs, évite les ruptures de pente et assure un bon drainage des eaux pluviales. La pente ne doit en aucun cas dépasser 3 %. Pour ce projet, un dévers de 1,5 % a été adopté. La figure 2 présente une coupe transversale du giratoire illustrant ces caractéristiques.

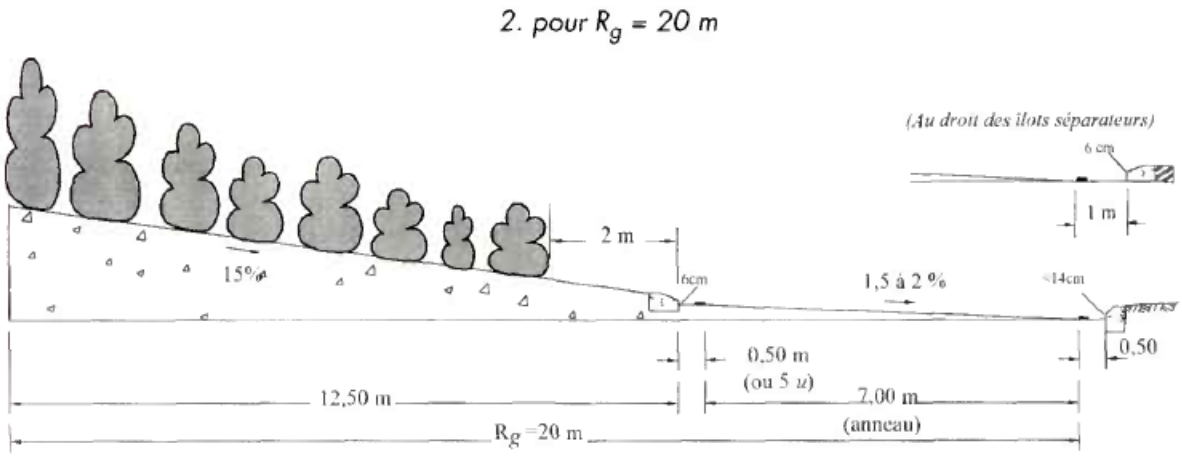


Figure profil en travers type chaussée annulaire et îlot central [14]

d) Voies d'entrée et de sortie

Les dimensions des voies d'entrée et de sortie dépendent directement des rayons du giratoire. Elles varient généralement entre 4 m et 5 m, avec des rayons compris entre 10 m et 20 m. Dans le cadre du présent projet, les accès comportent deux voies, ce qui correspond à une largeur totale de l_e=l_s=9\, m. Tous les paramètres de construction sont détaillés et représentés sur la figure suivante.

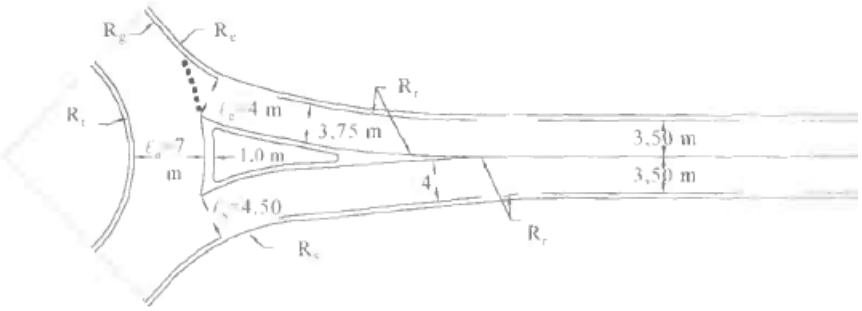


Figure type d'une branche

	Notations	Paramétrage	Valeurs courantes (en m)			
Rayon du giratoire	R_g	$12\ m \le R_g \le 25\ m$	$R_g = 12$	$R_g = 15$	$R_g = 20$	$R_g = 25$
Largeur de l'anneau	ℓ_a	$6\ m \le \ell_a \le 9\ m$	7	7	7	8
Surlargeur franchissable	sl_f	1,5 m si $R_g \le 15$ m	1,5	1,5	—	—
Rayon intérieur	R_i	$R_g - \ell_a - sl_f$	3,5	6,5	13	18
Rayon d'entrée*	R_e	$10\ m \le R_e \le 15\ m$ et $\le R_g$	12	15	15	15
Largeur de la voie entrante	ℓ_e	$\ell_e = 4\ m$	4	4	4	4
Rayon de sortie*	R_s	$15\ m \le R_s \le 30\ m$ et $> R_i$	15	20	20	20
Largeur de la voie sortante	ℓ_s	$4\ m \le \ell_s \le 5\ m$	4	4	4,5	5
Rayon de raccordement	R_r	$R_r = 4\ R_g$	48	60	80	100

Tableau Récapitulatif des différents paramètres de construction des voies d'entrée et sortie

e) Îlot séparateur

Les paramètres de construction de l'îlot séparateur définissent sa géométrie et son rôle de guidage et de sécurisation des flux au giratoire.

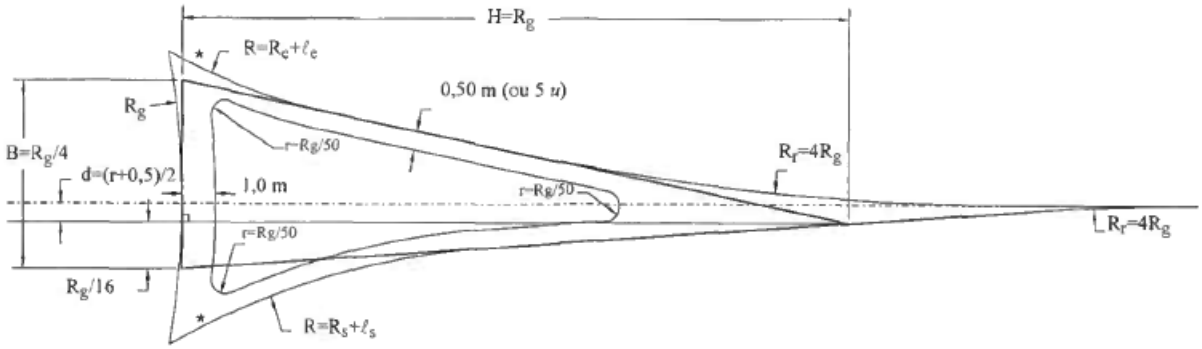


Figure de construction des îlots séparateur sur les branches des giratoire

	Notation	Paramètrage	Valeurs courantes (en m)			
Rayon giratoire	R_g		R_g<15	R_g=15	R_g=20	R_g=25
Hauteur du triangle de construction	H	H = R_g	12 à 15	15	20	25
Base du triangle de construction	B	B = R_g /4	3 à 3,75	3,75	5,00	6,25
Départ de l'îlot sur l'axe	d	d = (0,5+R_g/50)/2 ou 0	0	0,40	0,45	0,50
Rayon de raccordement des bordures	r	r = R_g / 50	0,25	0,30	0,40	0,50

Tableau de paramètres de construction des îlots séparateurs

f) Voie d'insertion sur la route principale

La voie d'insertion, conçue en parallèle et avec une longueur limitée, facilite l'intégration sur la route principale en réduisant l'angle de conflit. Elle offre également la possibilité de s'arrêter si l'usager non prioritaire ne dispose pas d'un créneau adéquat pour s'engager.

Pour garantir une conception homogène des aménagements, il est recommandé de s'inspirer du schéma type présenté à la figure de référence. Ce schéma illustre les dimensions minimales, les rayons de courbure, ainsi que les distances de visibilité nécessaires pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic.

En résumé, la voie d'insertion doit :

- Minimiser les angles de croisement pour réduire les risques d'accident.

- Offrir une longueur suffisante pour permettre l'accélération progressive des véhicules.

- Prévoir une zone d'arrêt sécurisée en cas d'absence de créneau.

- Respecter des normes homogènes afin d'assurer une continuité et une lisibilité pour l'usager.

Ainsi, une conception rigoureuse et uniforme des voies d'insertion contribue à améliorer la sécurité routière et à fluidifier le trafic sur les routes principales.

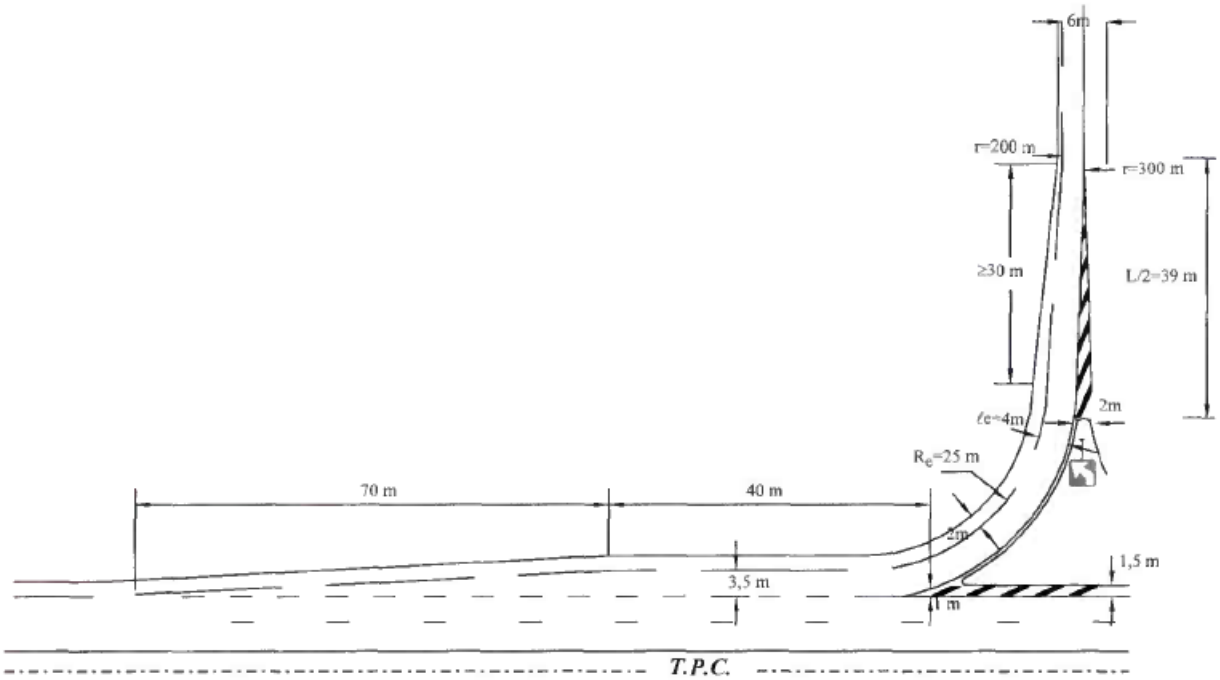


Figure paramètres de constructions d'une voie d'intersection

Tableau récapitulatif des paramètres géométrique du carrefour

Désignations	Unité	Valeur
Rayon giratoire (Rg)	m	25
îlot central	m	17
Chaussée annulaire	m	8
Rayon d'entrée	m	15
Rayon de sortie	m	20
Largeur d'entrée	m	4
Largeur de sortie	m	5
Devers de la chaussée au niveau du giratoire	%	1.5

Annexe 2 : signalisations

❖ Signalisation verticale

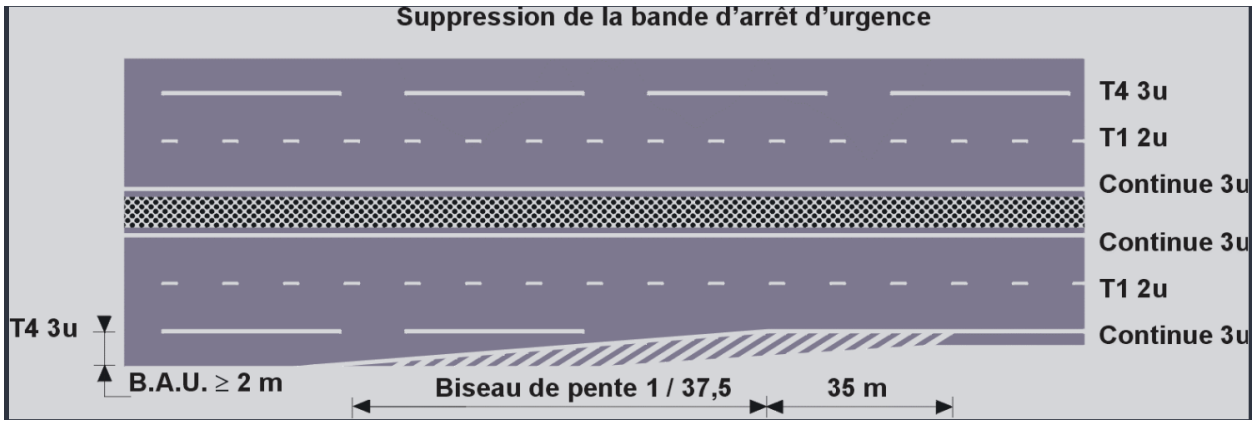
Tableau : Les panneaux utilisés pour le projet [15]

Type	Code	Description
	AB25	Carrefour à sens obligatoire
	AB3a	Cedez le passage à l'intersection. Signal de position
	AB4	Arrêt à l'intersection dans les conditions définies
	C20a	Passage pour piéton
	B21-1	Obligation de tourner a droit avant le panneau
	B21-2	Obligation de tourner à gauche avant le panneau

❖ Signalisation horizontale

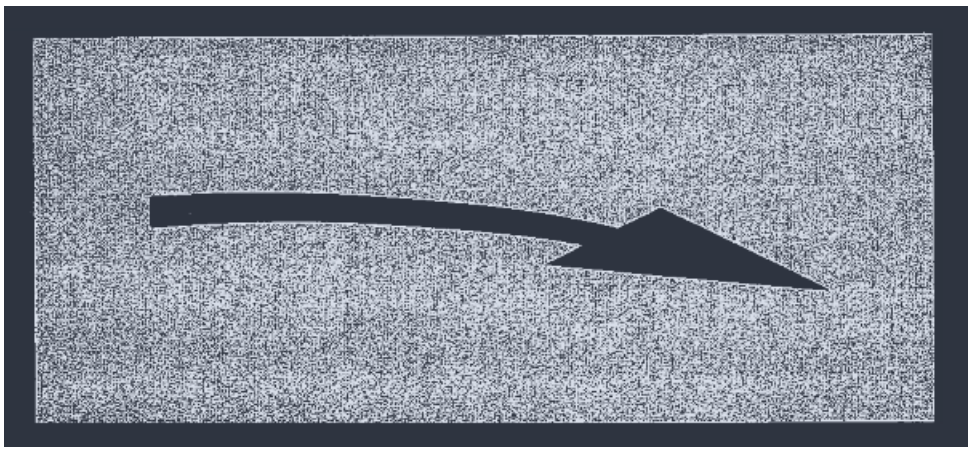
la ligne de rive de type T2 et de largeur 3u

Sur autoroute et route à chaussées séparées et à carrefours dénivelés, la ligne délimitant une bande d'arrêt d'urgence est discontinue de type T4 et de largeur 3u en section courante. Sur les bretelles de raccordement, elle est de type T'3 et de largeur 3u. En l'absence de bande d'arrêt d'urgence, la ligne de rive est continue de largeur 3u.[16]



Flèches de rabattement

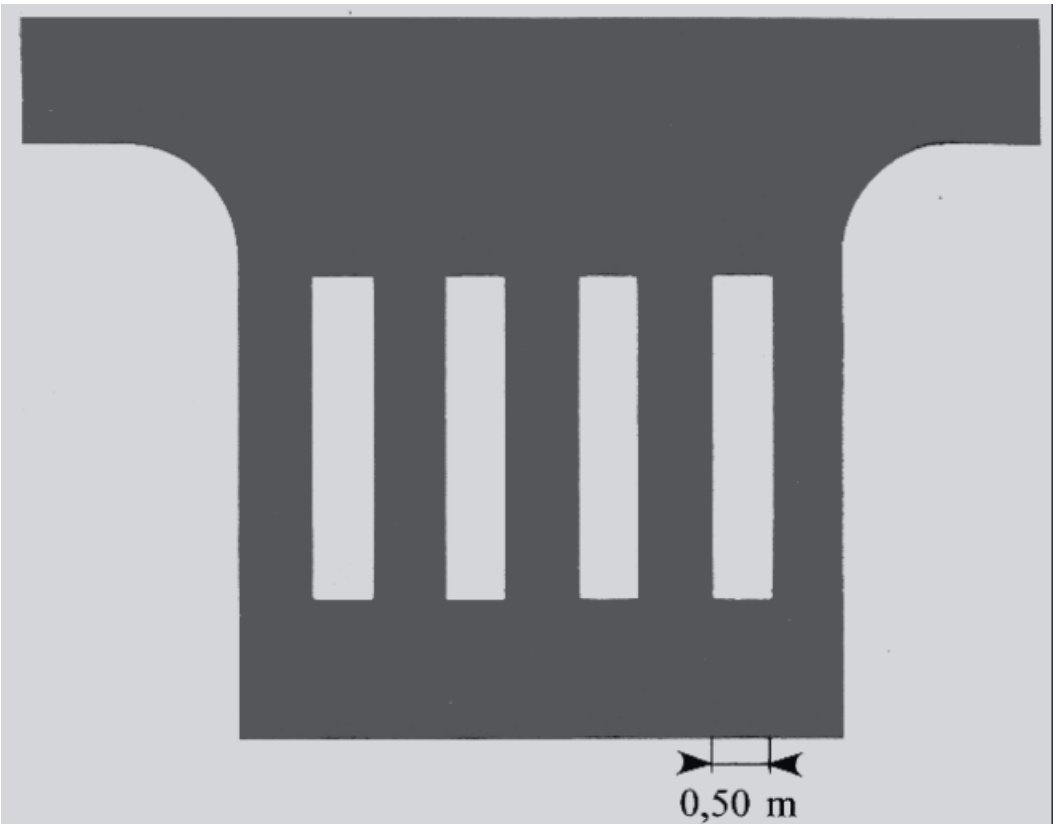
Les flèches de rabattement annoncent le marquage qui fait obligation aux usagers circulant dans le sens de ces flèches d'emprunter la voie ou les voies situées du côté indiqué par celles-ci.



Passages pour piétons

Il est nécessaire de marquer par une signalisation horizontale, et éventuellement verticale, les passages prévus à l'intention des piétons pour la traversée des chaussées, en vertu de l'article R.41237 du code de la route.

Les passages pour piétons sont délimités par des bandes rectangulaires ou parallélépipédiques blanches parallèles à l'axe de la chaussée, d'une longueur minimale de 2,50 m en ville et d'une longueur de 4 à 6 mètres en rase campagne ou dans les traverses de petites agglomérations. La largeur de ces bandes est de 0,50 mètre et leur inter distance de 0,50 mètre à 0,80 mètre. Le marquage axial ou le marquage de délimitation des voies est interrompu de part et d'autre du passage pour piétons, à une distance de 0,50 m, pour éviter une juxtaposition des marques nuisible à leur lisibilité.



Annexe 3 : Les paramètres géométriques des tracés (Tracé en plan, profils en long, en travers, profils en travers

❖ Le tracé en plan

Tableau des paramètres géométriques du tracé en plan

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 deversé : Rnd (en m)	600	900	1300

❖ Le profil en long

Tableau des paramètres géométriques du profil en long

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

❖ Profil en travers

Tableau des paramètres géométriques du profil en travers

Catégorie de route	R60	T80 R80	T100
Dévers maximal (en %)	7	7	7
Dévers minimal (en %)	2.5	2.5	2.5

a) Profil en travers type du projet

❖ **Bande médiane**

La bande médiane prévue présente une largeur de 3.5 m, correspondant au minimum absolu pour un TPC sans séparateur. Elle sera équipée de bordures GSS2 afin d'assurer la sécurité et la délimitation des voies.

❖ **Pente du TPC**

Le terre-plein central sera aménagé avec une pente transversale de 2,5 %, garantissant un bon écoulement des eaux de ruissellement et contribuant à la durabilité de l'infrastructure.

❖ **Bande dérasée de gauche (BDG)**

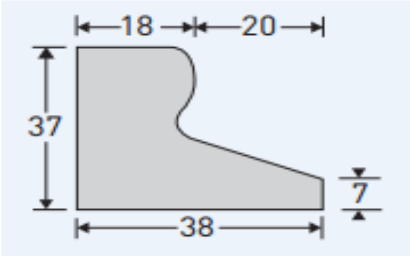
La bande dérasée de gauche joue un rôle essentiel dans la conception de la chaussée. Elle assure principalement :

- Le support du marquage latéral de la chaussée.

- Une zone de récupération pour les véhicules en cas de perte de contrôle de trajectoire.

- Le maintien des conditions de visibilité et de sécurité sur l'axe routier.

Dans le cadre du projet, la BDG est prévue avec une largeur de 0,25 m, destinée à accueillir le marquage au sol et à renforcer la sécurité des usagers.



Bordure type 2 pour terre-plein central

c) Accotement

❖ **Trottoir**

Un trottoir de 2 m de largeur sera aménagé de part et d'autre de la chaussée. Il est destiné principalement à la circulation des piétons et pourra accueillir certains équipements urbains.

❖ **Bande d'arrêt d'urgence**

Aucune bande d'arrêt d'urgence n'est prévue sur ce tronçon.

❖ **Bande dérasée de droite**

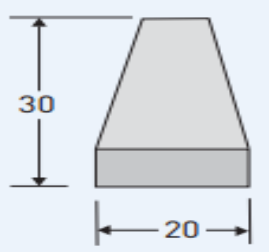
Une bande dérasée de 0,25 m sera réalisée afin de supporter le marquage au sol, conformément aux normes applicables aux chaussées revêtues.

❖ **Piste cyclable**

Une piste cyclable unidirectionnelle de 3,5 m de largeur sera aménagée, compte tenu de l'importance du trafic de deux-roues (22 486 TMJ relevés au poste 1, sens 2). Elle sera dotée d'une pente transversale de 2,5 % pour assurer un bon drainage.

❖ **Bordures de défense**

Des bordures de défense de 20 × 30 cm seront installées. Elles ont pour rôle de protéger les voies cyclables et de limiter les stationnements abusifs le long de la chaussée.



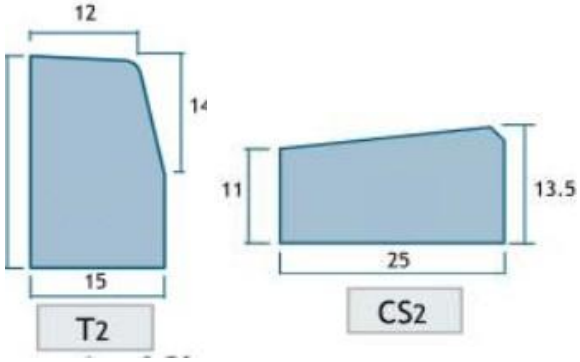
Bordures de défense

❖ **Bordures de trottoir**

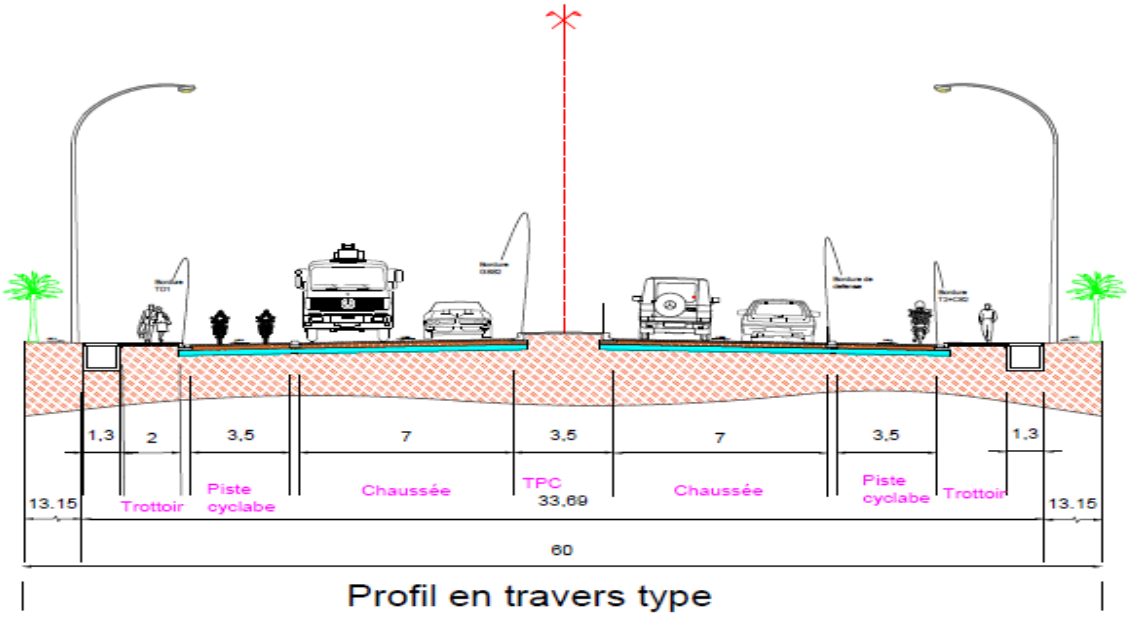
Les bordures de type T2CS2 seront utilisées pour délimiter les allées piétonnes. Elles jouent un double rôle :

- Assurer la séparation entre la chaussée et les espaces réservés aux piétons.

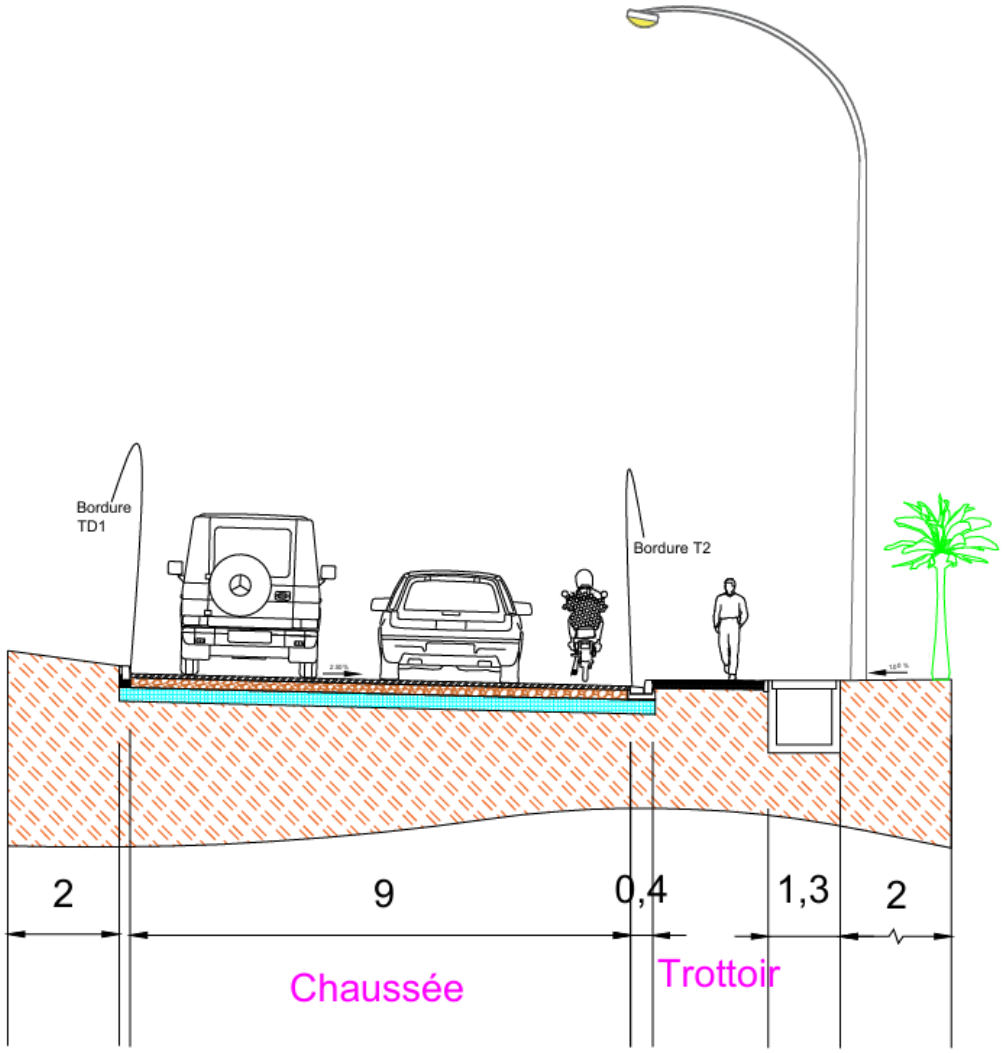
- Faciliter l'écoulement des eaux de ruissellement provenant de la chaussée, contribuant ainsi à la durabilité et à la sécurité de l'infrastructu



Bordure T2CS2



Profil en travers type



Profil en travers type des bretelles à l'entrée et à la sortie du giratoire

Annexe 4 : Estimation du trafic par la méthode empirique

Le trafic moyen journalier à l'année 2028, année de mise en service s'obtient par

$$\boldsymbol{T_n = t_1 \times (1+i)^{n-1}}$$

Description	Formules	Résultats
Trafic à l'année de mise en Service	$t_{2028} = t_{2021} * (1+i)^{n-1}$	1551.859909PL/J
Nombre trafic en nombre Cumulé de poids lourds	$NPL = 365 * t_{2028} * \frac{(1+i)^n - 1}{i}$	13181989.6 PL
Nombre d'essieux équivalent cumulé NE	NPL×CRT ×CAM	4956428.09 PL

- Tn : Trafic moyen journalier à l'année de mise en service ;
- T_1 : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i : taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : nombre d'années.

Soit NE= 4.95×10^6 PL

Tableau de classification du trafic selon CEBTP

Classe de trafic	Trafic en nombre cumulé de PL
T1	$< 5.10^5$
T2	$5.10^5 – 1.5.10^6$
T3	$1.5.10^6 – 4.10^6$
T4	$4.10^6 - 10^7$
T6	$10^7 – 2.10^7$

Evaluation des differentes variantes possible

Tableau : Evaluation des différentes variantes

Variante 1					
Couche	Matériau	Epaisseur (cm)	Prix unitaire (FCFA)	Quantité pour 2,06Km(m3 ou t)	Cout total (FCFA)
Roulement	Béton bitumineux (BB)	7	123000/t	804.6 t	98 865 600
Base	Grave Ciment	20	85000/m3	3951.2m3	335 894 400
Fondation	GL ou GN	20	45000/m3	5945m3	267 559 200
Total variante 1					**702 319 200**
Variante 2					
Couche	Matériau	Epaisseur (cm)	Prix unitaire (FCFA)	Quantité pour 2,06Km(m3 ou t)	Cout total (FCFA)
Roulement	Béton bitumineux (BB)	7	123000/t	804.6 t	98 865 600
Base	Grave Ciment	20	85000/m3	3951.2m3	335 894 400
Fondation	sable argileux ou grave amélioré au ciment	15	60000/m3	3561m3	215 222 400
Total variante 2					**649 982 400**
Variante 3					
Couche	Matériau	Epaisseur (cm)	Prix unitaire (FCFA)	Quantité pour 2,06Km(m3 ou t)	Cout total (FCFA)
Roulement	Béton bitumineux (BB)	5	123000/t	573.3 t	70 618 800
Base	Grave Ciment	15	65000/m3	3003m3	236 633 400
Fondation	sable argileux ou grave amélioré au ciment	15	70000/m3	3704.5m3	259 314 000
Total variante 3					**566 566 200**

Calcul des sollicitations admissibles

- **Déformation admissible pour les matériaux non traités et les sols supports de la chaussée**

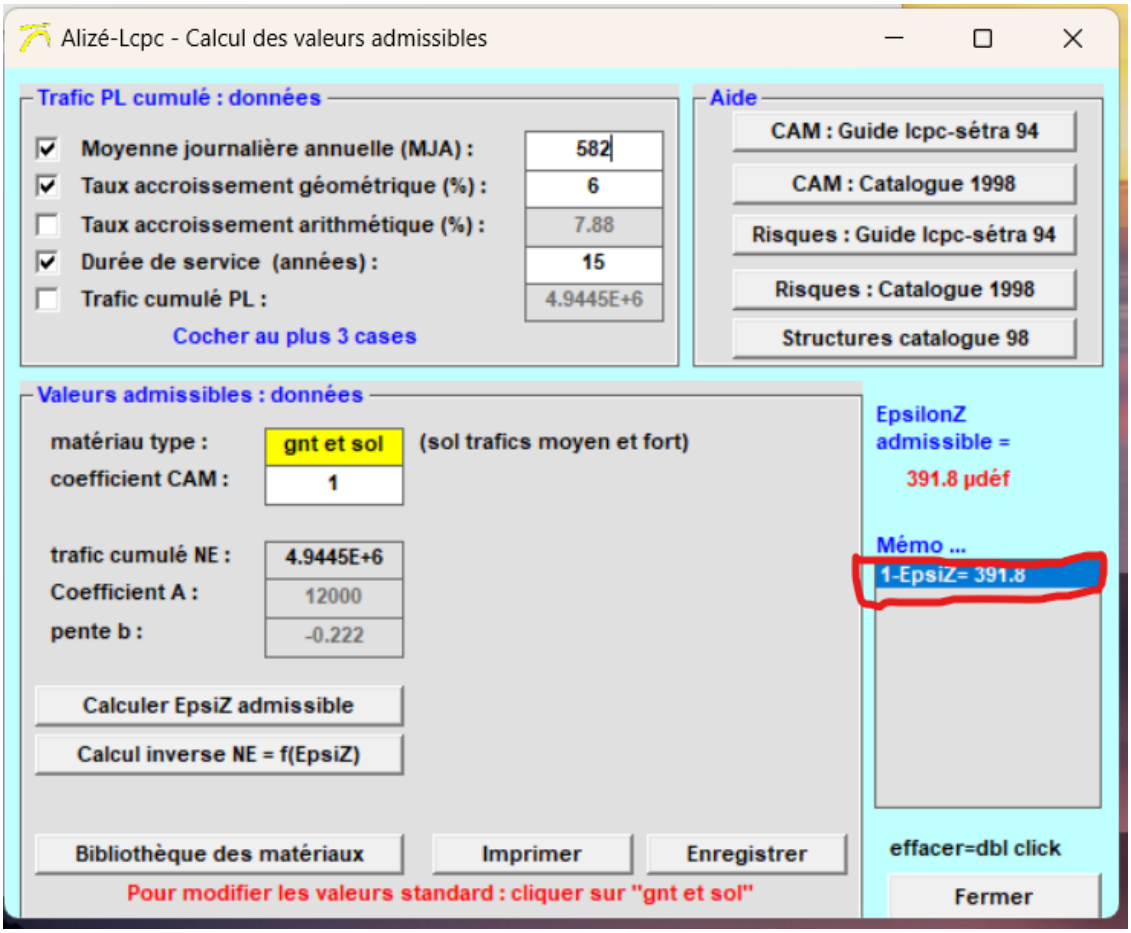
Pour une couche de matériau non traité et le sol, la sollicitation admissible est la déformation verticale en surface de la couche calculée selon l'équation suivante [1] :

$\varepsilon_{Zadm} = A \times NE^{-0.222}$

A = 16000 si NE ≤ 250 000 et 12000 si NE > 250 000

NE= 4956428.09 PL

ε_{Zadm}= 391.8µdef



- **Déformation admissible pour les matériaux bitumineux**

Pour une couche de matériaux bitumineux sollicités en extension par flexion, la déformation admissible pour la température équivalente est calculée selon l'équation suivante [1] :

$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_{6(10°c,\ 25\ Hz)} \times \sqrt{(E(10°C, 20Hz) / E(34°C, 20\ Hz))} \times (NE /106)^{b} \times$

Kc x Kr x Ks

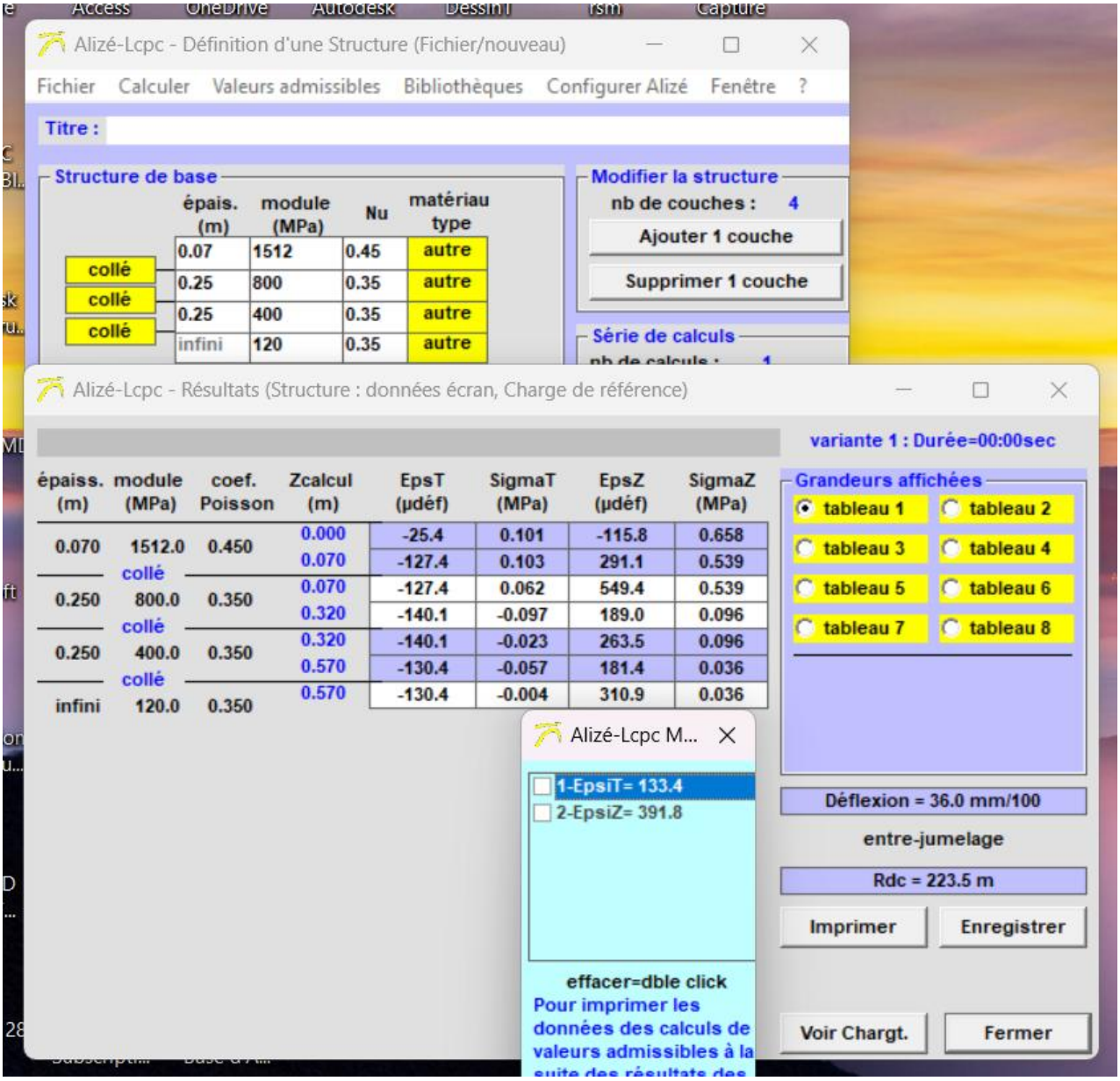
ε_{tadm} = 135.5 µdef

Les paramètres de l'équation du BBSG selon le catalogue du Sénégal sont dans le tableau ci-dessus

Caractéristiques	Notations	BBSG1
Module complexe (34C , 20Hz) Mpa	E	1 512
Module complexe (10C, 10Hz)	E	7 200
Coefficient de poisson	v	0.45
Résistance en fatigue (10C, 25Hz)	Ɛ6	100
Pente de la droite de fatigue	b	-0.2
Dispersion essai de fatigue	SN	0.25
Tolérance sur les épaisseurs de matériaux de la couche d'assise	Sh	2.5
Coefficient calage	Kc	1.1

Ɛtadm = 133.4 µdef

Vérification des structures



Après vérification de la variante 1 de la chaussée sur le logiciel ALIZE LCPC, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-après. :

la variante retenue de la chaussée

Couches	Variante 1	
	Matériaux	Epaisseur(cm)
Roulement	BBSG	7
Base	GLa	25
Fondation	GL1	25

Annexe 5 : Conception pont

III-2.1.1. Pont à poutres en béton armé à travée indépendante (P.S.I.B.A)

Un pont à poutres est une structure ou des poutres parallèles portent le tablier et transmettent les charges aux appuis. En plus le béton armé présente un coût économique par rapport aux autres matériaux. L'inconvénient de cette solution est le manque du côté esthétique. [3]

Pour notre projet on a une longueur totale à franchir qui est de 100m, on a une configuration de 5 travées de 20m chacune avec appuis simple et entretoises aux extrémités

a) Prédimensionnement des éléments du tablier

Poutre

- **Détermination de la hauteur**

Elancement de la poutre : $\frac{L}{17} \leq H_p \leq \frac{L}{15}$, L étant la longueur de la travée L=20m

On obtient ceci : $\frac{20}{17} \leq H_p \leq \frac{20}{15}$

$1.17 \leq H_p \leq 1.33$ d'où on retient $\mathbf{H_p = 1.20m}$

- **Détermination de la largeur de l'âme**

Au vu de la longueur de l'ouvrage, nous envisageons des poutres de section en I sans épaississement aux abouts. La largeur de l'âme est déterminée comme suit :

$\frac{Hp}{5} \leq b \leq \frac{Hp}{2}$ [2]

$\frac{1.20}{5} \leq b \leq \frac{1.20}{2}$

$0.24 \leq b \leq 0.6$ d'où on retient **b= 0.4m**

La hauteur de talon h′ doit être suffisante pour loger les différentes nappes d'aciers longitudinaux [2] h'≥ 20 cm. Nous optons pour h'= 20 cm, sa largeur est fixée à L_T= b + 10 d'où L_T= 50cm

- Détermination du nombre de poutre

Le nombre de poutres sera pris en fonction du tableau issu des guides CALGARO présenté comme suit :[8]

Largeur du tablier (m)	< 6	6 à 9	9 à 11	11 à 14
Nombres de poutres	2	3	4	5

Pour notre projet la largeur du tablier est de 12.60m, le nombres de poutres correspond est de 5.

- Détermination de l'encorbellement

  L'encorbellement est compris entre : $\frac{b}{2} \leq le \leq \frac{Hp}{2}$

  $0.2 \leq le \leq 0.6$ d'où **le= 0.6m**

Hourdis

L'épaisseur du hourdis est fonction de l'entraxe des poutres. Le tableau ci-après de Calgaro propose des épaisseurs de hourdis en fonction des classes d'entraxe :[8]

a (m) ou Ep	2	2.5	3	3.5
Eh (cm)	1.6	18	20	22

b) Détermination de l'entraxe a ou Ep :

Nous avons un encorbellement le=0.6m de part et d'autre du tablier, alors l'= 12.60 – (2x0.6) = 11.4m.

Ainsi nous avions à = $\frac{11.4}{4}$= 2.85m. Selon le tableau ci-dessus on **eh=20cm**

Prédalle

Nous optons pour les prédalles non participantes en BA de 4cm débordant et de 5cm dans la poutre. Ainsi nous avons :

L= 2.85 – 0.5 +(0.05x2) = 2.45 cm d'où l= 2.45m et e=0.04m

c) ENTRETOISE

Hauteur He :

Pour des d'économie prenons He= Hp – he, He= 1 m

Epaisseur

Ee= $\frac{He}{4}$ = = $\frac{1}{4}$ = 0.25m

Distance entre les entretoises

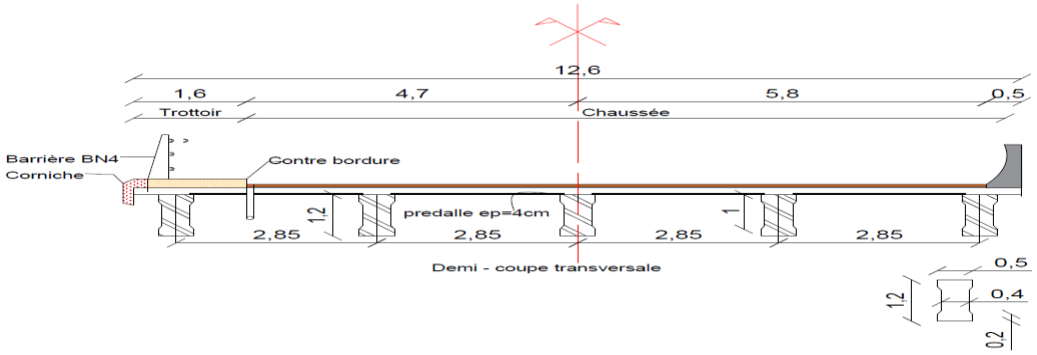
D'une manière générale 5≤ DE ≤ 8m, pour notre projet nous prenons DE= 6m

Nombre d'entretoise par travée

Ne= $\frac{Lt}{6}$+1 = Ne= Ent($\frac{Lt}{6}$+1)= Ent(4.33)= 4

Tableau récapitulatif des caractéristiques géométrique du pont a poutre en béton armé P.S.I.B.A

Elément	**Dimensions géométriques**	
Poutre	Hauteur poutre	Hp= 1.20m
	Epaisseur âme	b=0.4m
	Hauteur talon	h'=20cm
	Largeur talon	Lt=50cm
	Longueur	L=20m
	Nombre	5
	Prédalle	L=2.45m, e=0.04m
Entretoise	Hauteur	He=1m
Hourdis	Epaisseur	Ee=0.25m
	Longueur	Le=6m
	Nombre	4
	Epaisseur	eh=20cm



III-2.1.2. Pont dalle en béton armé avec large encorbellement (P.S.I.D.A)

Le tablier de ce type de ponts présente une dalle porteuse réalisée en général en béton armée. Le tablier de la dalle est armé longitudinalement et transversalement [7]. Dans notre cas, nous privilégions une dalle continue dotée d'encorbellements latéraux, tout en maintenant une épaisseur réduite et une portée maximale de 18 m. Afin d'éviter tout risque de soulèvement des appuis en rive, la longueur des travées de rive doit rester suffisante, représentant entre 60 % et 85 % de celle des travées centrales. La configuration adoptée comprend donc 4 travées intermédiaires de 18 m chacune et 2 travées de rive de 14 m.

Largeur du tablier Lt= 12.60m

Longueur de la travée L= 18m

a) Epaisseur de la dalle

Tableau d'élancement des ponts dalle (DT430 PONT DALLE GUIDE)

	Travée unique	Deux travées	Trois travées ou plus
PSIDA	1/20	1/26	1/28

Travée unique dans notre cas

Epaisseur du tablier = Elancement x Longueur de la travée

Epaisseur du tablier = $\frac{1}{28}\ x\ 18$

Epaisseur du tablier (E_{Pt}) = 0.64 m, Pour réduire la quantité d'acier d'armature dans le béton, nous adoptons une hauteur H= 0.8m

b) Détermination de la base du tablier

Li ≥ 0.5xLt

Li ≥ 0.5x12.60

Li = 6.3 m

Pour respecter la limite de la longueur d'encorbellement qui est de 2m, nous considérons Li=8.6 pour la suite du calcul

c) Détermination de la largeur d'encorbellement

$E + a = \frac{Lt-Li}{2}$

$E + a = \frac{12.60-8.6}{2}$

E + a = 2m d'où on considère E= 1.8m et a= 0.20m

d) Détermination de l'épaisseur de l'extrémité l'encorbellement

Pour e1 ≥ 20cm donc nous optons pour e1 = 20cm

Détermination de l'épaisseur de l'intrados e3

Selon le guide ' PSI DN 81- passages supérieurs ou inférieurs en dalle nervurée ' souhaite une inclinaison 1/2 par rapport à la verticale [3]. Nous optons pour une inclinaison à 120^0 par rapport à l'horizontale.

α=1/2

Donc $\frac{a}{e3} = \alpha = \frac{1}{2}$

$e3 = \frac{a}{\alpha} = \frac{0.20}{0.5} = 0.4$

e3 = 0.4

e) Détermination de l'encorbellement e2

$E2 = E_{pt} - (e1+e3) = 0.8 – (0.20 + 0.4)$

e2 = 0.20m

f) Volume du béton

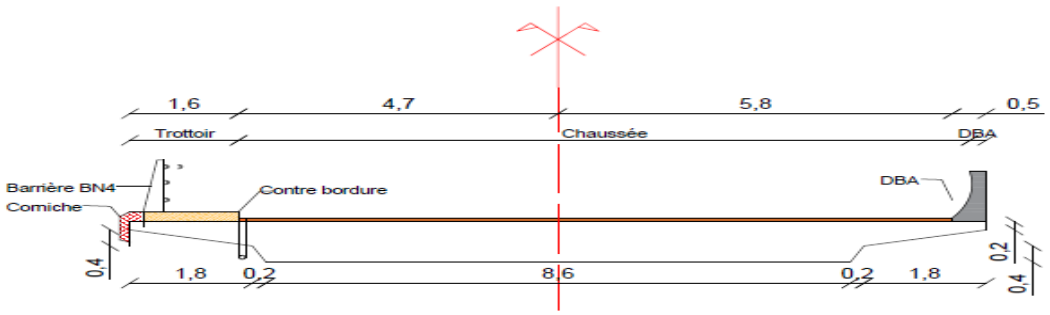
V= S*L avrc S la surface de la section et L la longueur du tablier

V= 8.2*100

V= 820m3

Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques

Designation	Unité	Valeur
Lt	m	12.6
H	m	0.8
Li	m	8.6
E	m	1.8
a	m	0.2
e1	m	0.2
e2	m	0.2
e3	m	0.4



III-2.1.3. Pont a poutre préfabriquée, précontrainte par adhérence (P.R.A.D)

Les ponts à poutres sous chaussée qui utilisent des poutres préfabriquées précontraintes constituent une solution classique pour le franchissement de travées dont la longueur peut s'échelonner entre 10 et 50 mètres [6]. Pour notre projet avec les contraintes du terrain on a opté une configuration de 5 travées de 20m chacune.

La longueur de la travée portée unique L= 20m

La poutre en I constante et l'épaisseur du tablier H=E_{pt}= 1m

Les caractéristiques de la poutre sont identiques pour le pont en poutre en béton armée déterminer précédemment.

a) Détermination du nombre de poutres suivant le tableau de GALGARO

Largeur du tablier (m)	< 6	6 à 9	9 à 11	11 à 14
Nombres de poutres	2	3	4	5

La longueur utile de notre tablier est de 12.60m appartient à (11,14).

On a n= N=5

b) Détermination de l'entraxe entre les poutres

Ex= $\frac{L-B}{n-1} = \frac{12.60-0.45}{5}$

Ex= 2.43m

c) Détermination de l'épaisseur d'un hourdi

Le tableau ci-après de Calgaro propose des épaisseurs de hourdis en fonction des classes d'entraxe :

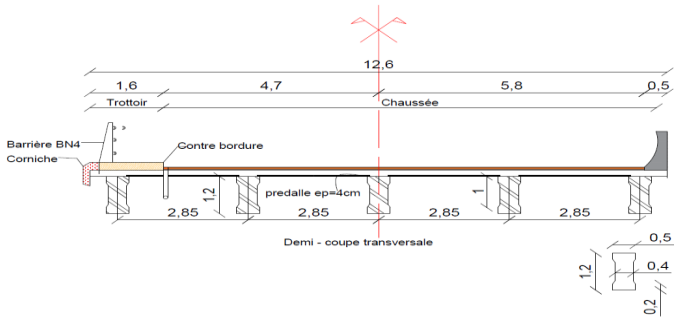
a (m) ou Ep	2	2.5	3	3.5
Eh (cm)	1.6	18	20	22

Comme Ex= 2.41 est proche de 2.5 dans le tableau donc Eh=18cm

En prenons en compte les coffrages pendue (Prédalle) appartient (5,10cm). Nous considérons 7cm donc E_{hb}= 18+7=25cm

Tableau récapitulatif du pont a poutre préfabriquée, précontrainte par adhérence

Elément	**Dimensions géométriques**	
Poutre	Hauteur poutre	Hp= 1.20m
	Epaisseur âme	b=0.4m
	Hauteur talon	h'=20cm
	Largeur talon	Lt=50cm
	Longueur	L=20m
	Nombre	6
	Prédalle	L=2.45m, e=0.04m
Entretoise	Hauteur	He=1m
Hourdis	Epaisseur	Ee=0.25m
	Longueur	Le=6m
	Nombre	4
	Epaisseur	eh=25cm



IV.1.2. Normes, règlement de calcul, hypothèse

IV.1.2.1 Normes et règlement de calcul appliqués

Les normes suivantes ont constitué la référence de notre étude :

- BAEL 91 modifié 99 : règles de conception et de calcul des ouvrages en béton armé aux états limites ;
- Fascicule 61 – Titre II : conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art ;
- Fascicule 62 – Titre I, Sections I & II : prescriptions techniques pour la conception et le calcul des ouvrages en béton armé selon la méthode des états limites (BAEL 91 révisé 99).

IV.1.2.2. Hypothèse et justification

a) Caractéristiques des matériaux

- **Béton**

Pour l'ensemble des éléments de l'ouvrage f_{c28}= 0.6 +0.06x30 = 2.4 Mp

- **Acier**

Les aciers utilisés pour le béton sont des armatures courantes à haute adhérence de classe

FE500, avec une limite d'élasticité de 500MPa.

Coefficients de sécurité de l'acier γb = 1,15

Type de fissuration : Préjudiciable pour le tablier, - Très préjudiciable pour la fondation

b) Définition des charges et surcharges

Les matériaux utilisés sont régis par la norme française NFP 06-001.

Les surcharges d'exploitation sont définies par le Fascicule 61, Titre II.

- **les charges permanentes**

  le poids propre des ouvrages est évalué à partir des poids volumiques suivants :

Poids volumique béton armé : $\gamma b = 25$ kN/m3,

Tableau IV-2: récapitulatifs des poids des éléments du tablier

	Poids nominal	Kmax	Kmin
Revêtement chaussée	24 KN/m3	1.4	0.8
Etanchéité	22KN/m3	1.4	0.8
Corniches	1 KN/m3	1.03	0.97
Relevé de béton	25KN/m3	1.03	0.97
Barrière BN4	6.5 KN/m3		

- Surcharge d'exploitation

Les surcharges d'exploitation retenues dans ce projet se répartissent en quatre catégories :

- Les charges routières normales, selon deux systèmes distincts (A et B) ;
- Les charges routières particulières, de type militaire ou exceptionnel ;
- Les charges appliquées aux trottoirs, de type local ou général ;
- Les efforts dus au freinage ainsi que les actions centrifuges liées à l'aspect dynamique.

Tableau de coefficient de pondération des surcharges

Coefficient de pondération		
Action	ELU	ELS
Chargement permanente G	1.35	1
Surcharge A(l)	1.6	1.2
Système B	1.6	1.2
Convois millitaires	1.35	1
convois exceptionnels	1.35	1
Surcharge trottoirs	1.6	1

IV-2. Calcul des charges permanentes et surcharge routière

IV-2.1 Estimation des charges permanentes

- **Estimation des charges de superstructure**

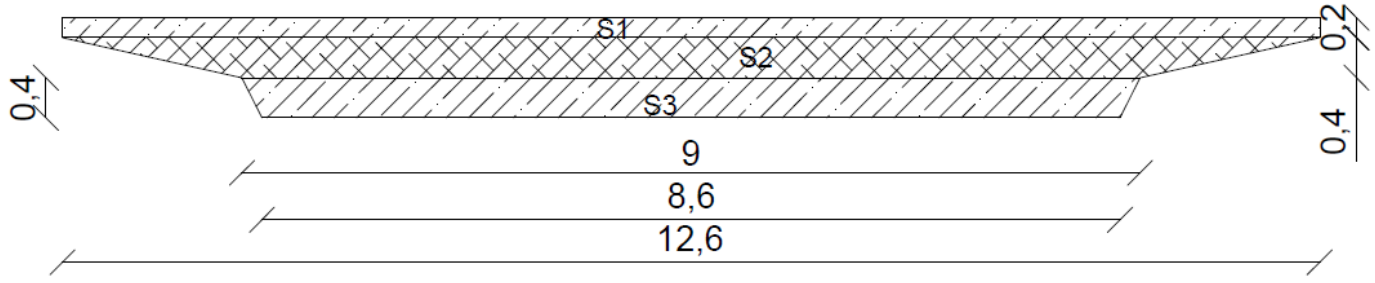
- Dispositif de sécurité BN4 G1
- Etanchéité d'épaisseur 3cm G2
- L'enrobée d'épaisseur 5cm G3
- Longrine de dispositif de sécurité G4
- GBA G5
- Corniche G6

Tableau de calcul d'estimation des charges de superstructure

Eléments	Charges	Calcul	Résultat
Dispositif de sécurité BN4 (G1)	6.5kN/ml	6.5kN/ml	6.5kN/ml
Etanchéité ep=3cm (G2)	24kN/m3	24x0.03x10.5	7.56kN/ml
L'enrobée ep=5cm (G3)	24kN/m3	24x0.05x10.5	12.6kN/ml
Trottoir (G4)	25kN/m3	25x0.25x1.6	10kN/ml
GBA (G5)	6.05kN/ml	6.05kN/ml	6.05kN/ml
Corniches (G6)	1kN/ml	1kN/ml	1kN/ml
			Gs= 42.46 kN/ml

- **Détermination du poids propre du tablier**

Calculons la surface du tablier



S1= 2.52 m^2

$S2=2.16m^2$

$S3= 3.52\ m^2$

$S_T= \sum S1+S2+S3$

$S_T= 8.2\ m^2$

$G_t= y_b x S_T = 25x8.2= 259.26$ kN/ml

$G7= G_t=205$ kN/ml

Tableau : Estimation des charges permanentes

Désignation des charges	Valeur minimale (kN/ml)	Kmax	kmin	Gmax (kN/ml)	Gmin (kN/ml)
G1	6.5	-	-	6.5	6.5
G2	7.56	1.4	0.8	10.584	6.048
G3	12.6	1.4	0.8	17.64	10.08
G4	8.75	1.03	0.97	9.0125	8.4875
G5	6.05	1.03	0.97	6.2315	5.8685
G6	1	1.03	0.9	1.03	0.9
G7	205	1	1	205	205
∑				255.948	242.882

- **Détermination des paramètres du tablier**

Les systèmes de charges A et B sont distincts et indépendants. L'expression des largeurs de chaussées et nombre de voie est présentée comme suit :[11]

- Largeur chargeable : Lc= Lr – 0.5m avec Lr= 10.5m

  Lc= 10.5 – 0.5m

  Lc= 10m

- Nombre de voie : Entier $(\frac{Lc}{3})$ = Entier $(\frac{10}{3})$=Entier (3.33) = 3

  N_v= 3

- Largeur de voie de circulation : V= $\frac{Lc}{nv} = \frac{10}{3} = 3.333$m
- Classe des ponts :
  - 1er e Classe: Lr ≥ 7 m;
  - 2e classe : 5,5 m < Lr < 7 m ;
  - 3e classe : Lr < R,50 m.[11]

Dans notre nous avons Lr= 10.5m > 7m donc notre pont est de première classe

Tableau récapitulatif des paramètres du tablier

Désignations	Unité	Valeur
Longueur du tablier (L)	m	12.6
Largeur roulable (Lr)	m	10.5
Largeur chargeable (Lc)	m	10
Nombre de voies (Nv)	-	3
Largeur de voie de circulation (V)	m	3.333
Classe du pont	-	Première classe

IV-2.2. Estimation des surcharges routière

Surcharge civile

- Surcharge A(l)
- Surcharge système Bc
- Surcharge système Bt
- Surcharge système Br
- Surcharge système Bc Niger

Surcharges militaires

Convoi Mc 120

Surcharges exceptionnelles

- Type D
- Type E

➢ Système de charges A

Pour les ponts de portées ≥ 200 m, Conformément au fascicule 61 titre II, la chaussée

Supporte une charge uniforme d'intensité A(l) est exprimé comme suit :

$A(l) = 230 + \frac{36000}{l+12}$ [12] (Kg/m²)

$A(l) = 2.3 + \frac{360}{l+12}$ (kN/m²)

Pour les ponts de portée unitaire inférieur à 200m, cette valeur de A(l) doit être multiplier par a_1 et a_2

Tableau récapitulatif du coefficient a_1

Nombre de voies chargées		1	2	3	4	≥5
Classe du pont	Première	1	1	0.9	0.75	0.7
	Deuxième	1	0.9			
	Troisième	0.9	0.8			

On a un pont de première classe d'où a_1= 1 et 3 voies d'où a_1= 0.9

La valeur du coefficient a_2 est exprimé comme suit :

$a_2 = V_0/V$; V étant la largeur d'une voie et V_0 ayant les valeurs suivantes :[4]

3.5m pour les ponts de première classe

3 m pour les ponts de deuxième classe

2.75m pour les ponts de troisième classe

$$a_2 = \frac{3.5}{3.333} = 1.05$$

Les charges A(l) doivent être disposé sur le tablier de manière à provoquer les effets les plus défavorable dans l'élément étudier.

Tableau de A(l) en fonction des travées chargées

Valeurs de AL en fonction des travées chargées								
Travée	Cas	Longueur chargé		A(l)	4-0,002L	A1	Max (A1; (40,002L))	A2
		Longueur concernées	Li					
			(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	kN/m2	kN/m2
1 Travée chargée	cas 1	L1	14	16,15	3,97	14,53	14,53	15,26
	cas 2	L2	18	14,30	3,96	12,87	12,87	13,51
	cas 3	L3	18	14,30	3,96	12,87	12,87	13,51
2 Travée chargée	cas 4	L1; L2	32	10,48	3,94	9,43	9,43	9,91
	cas 5	L1;L3	32	10,48	3,94	9,43	9,43	9,91
	cas 6	L1;L4	32	10,48	3,94	9,43	9,43	9,91
	cas 7	L1;L5	32	10,48	3,94	9,43	9,43	9,91
	cas 8	L1;L6	28	11,30	3,94	10,17	10,17	10,68
	cas 9	L2;L3	36	9,80	3,93	8,82	8,82	9,26
	cas 10	L2;L4	36	9,80	3,93	8,82	8,82	9,26
3 Travée chargée	cas 11	L2;L5	36	9,80	3,93	8,82	8,82	9,26
	cas 12	L3;L4	36	9,80	3,93	8,82	8,82	9,26
	cas 13	L1;L2;L3	50	8,11	3,90	7,30	7,30	7,66
	cas 14	L1;L2;L4	50	8,11	3,90	7,30	7,30	7,66
	cas 15	L1;L2;L5	50	8,11	3,90	7,30	7,30	7,66
	cas 16	L1;L2;L6	46	8,51	3,91	7,66	7,66	8,04
	cas 17	L1;L3;L4	50	8,11	3,90	7,30	7,30	7,66
	cas 18	L1;L3;L5	50	8,11	3,90	7,30	7,30	7,66
	cas 19	L1;L3;L6	46	8,51	3,91	7,66	7,66	8,04
	cas 20	L1;L4;L5	50	8,11	3,90	7,30	7,30	7,66
	cas 21	L2;L3;L4	54	7,75	3,89	6,98	6,98	7,33
	cas 22	L2;L3;L5	54	7,75	3,89	6,98	6,98	7,33
4 Travée chargée	cas 23	L1;L2;L3;L4	68	6,80	3,86	6,12	6,12	6,43
	cas 24	L1;L2;L3;L5	68	6,80	3,86	6,12	6,12	6,43
	cas 25	L1;L2;L3;L6	64	7,04	3,87	6,33	6,33	6,65
	cas 26	L1;L3;L4;L5	68	6,80	3,86	6,12	6,12	6,43
	cas 27	L1;L3;L4;L6	64	7,04	3,87	6,33	6,33	6,65
	cas 28	L2;L3;L4;L5	72	6,59	3,86	5,93	5,93	6,22

5 Travée chargée	cas 29	L1;L2;L3;L4,L5	86	5,97	3,83	5,38	5,38	5,64
	cas 30	L1;L3;L4;L5,L6	82	6,13	3,84	5,52	5,52	5,79
6 Travée chargée	cas 31	L1;L2;L3;L4,L5,L6	100	5,51	3,80	4,96	4,96	5,21

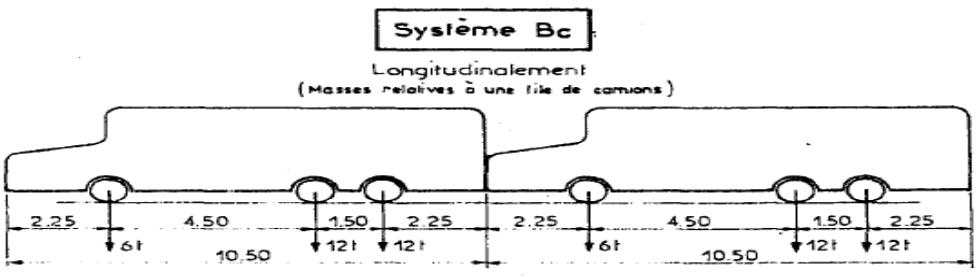
- **Système de charges B**

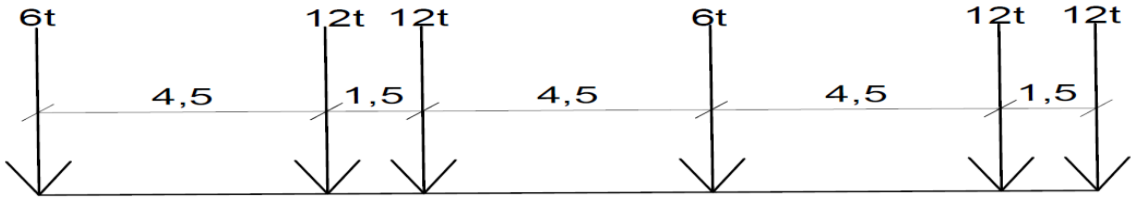
Le système de charges B comprend trois systèmes distincts dont il y a Lieu d´examiner indépendamment les effets pour chaque élément des Ponts :

- Le système Bc se compose de camions types ;
- Le système Br se compose d´une roue isolée ;
- Le système Bt se compose de groupes de deux essieux dénommés Essieux-[12]

Système Bc

La surcharge du système Bc est une charge routière normalisée appliquée aux pont, représentant l'effet de camion de 30t sur repartis sur trois essieux. Un camion type de système Bc comporte trois essieux à roues simples





En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, les valeurs des charges du système Bc prises en compte sont multipliées par les coefficients bc du tableau suivant :[12]

Tableau de coefficient d'agressivité transversale Bc

Nombre de voies chargées		1	2	3	4	≥5
Classe de pont	Première	1.2	1.1	0.95	0.8	0.7
	Deuxième	1	1			
	Troisième	1	0.8			

Les coefficients Bc prises en compte pour notre projet

Pour une voie chargée bc = 1.2

Pour deux voies chargées bc = 1.1

Pour trois voies chargées bc = 0.95

Calcul du Bc standard

S = n x m x bc

Avec n étant nombre de files de camions et m la masse d'un camion

Pour une voie chargée : S = 1x60x1.2 = 72t= 720kN

Pour deux voies chargées : S = 2 x 60 x1.1 = 132t=1320kN

Pour trois voies chargées : S = 3 x60x0.95 = 171t= 1710kN

Coefficient de majoration dynamique sous-système Bc vaut :

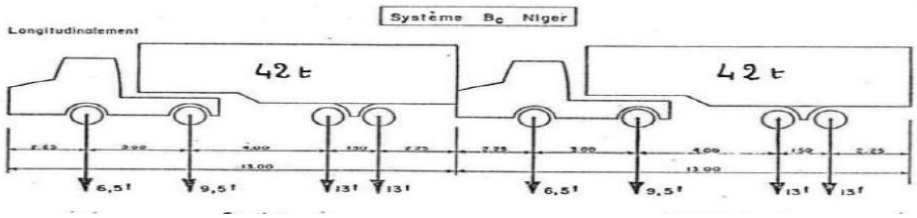
$$\delta=1+\frac{0.4}{1+0.2xL}+\frac{0.6}{1+4x\frac{G}{S}}$$

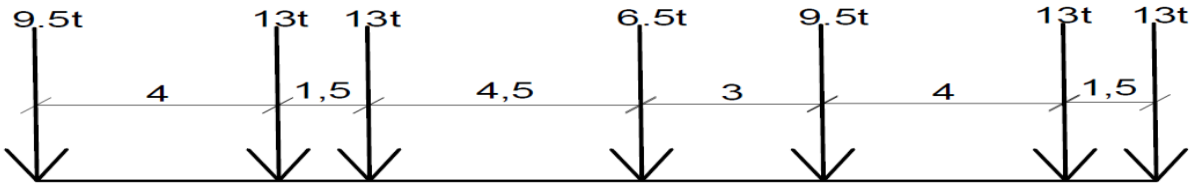
Avec : G la charges permanentes et L la longueur du travée 18m

Nombre de voies chargées	Surcharge du système Bc S (kN)	δBc
1	720	1.02
2	1320	1.11
3	1710	1.12

➢ Système Bc Niger

Ce système à été approuver par la lettre 467/DTP/U 28 mars 1979 pour la zone de UEMOA, il représente un camion de type 42t répartis sur quatre essieux





Calcul du Bc standard

S = n x m x bc

Avec n étant nombre de files de camions et m la masse d'un camion

Pour une voie chargée : S = 1x77.5x1.2 = 93t= 930kN

Pour deux voies chargées : S = 2 x77.5 x1.1 = 170.5t= 1705kN

Pour trois voies chargées : S = 3 x77.5x0.95 = 220.875t=2208.75kN

Coefficient de majoration dynamique sous-système Bc vaut :

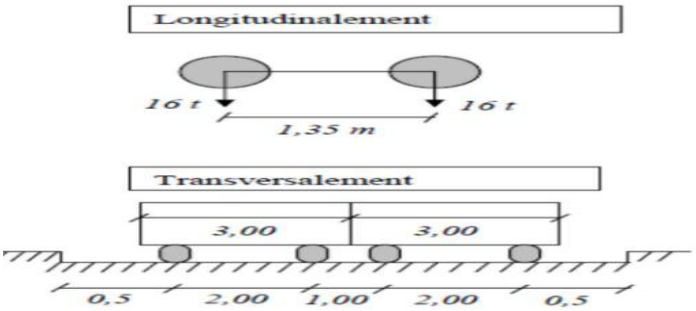
$$\delta=1+\frac{0.4}{1+0.2xL}+\frac{0.6}{1+4x\frac{G}{S}}$$

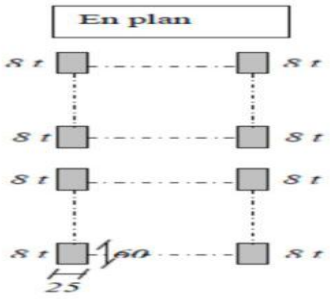
Avec : G la charges permanentes et L la longueur du travée 18m

Nombre de voies chargées	Surcharge du système Bc S (kN)	δBc
1	930	1.10
2	1705	1.12
3	2208.75	1.13

➢ Système Bt

Un tandem de système Bt est applicable seulement pour les ponts de première classe, il est à deux essieux (2x16t), chacun à deux roues simples il présente les caractéristiques suivantes :





Masse portée par chaque essieu =16t

Distance des 2 essieux : 1,35m

Distance d'axe en axe de 2 roues d'1 essieu =2 m

La surface d'impact de chaque roue de 8t (80KN) est un rectangle de 0,60m transversal x 0,25m longitudinal.[11]

Tableau de coefficient d'agressivité bt

Classe de Pont	Première	Deuxième
Coefficient	1	0.9

Le coefficient bt = 1 pour un pont de première de classe

S = n x m xbt

S = 4 x 16 x1

S = 64t= 640kN

Coefficient de majoration dynamique sous-système Bt vaut :

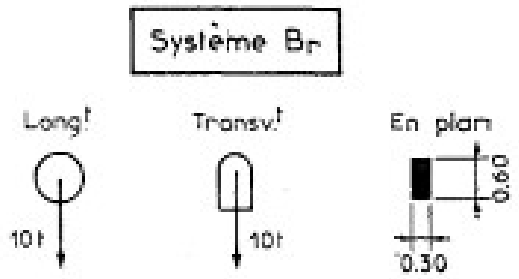
$\delta=1+\frac{0.4}{1+0.2xL}+\frac{0.6}{1+4x\frac{G}{S}}$; avec G la charges permanentes et L la longueur du travée 18m

δ= 1.09

- Système Br

Ce chargement représente une roue unique de 10t (100 kN) qui peut être disposée n'importe où sur la chaussée. La surface d'impact sur la chaussée est u rectangle de 0,6 m transversalement et 0,3m longitudinalement.

Ce chargement sera utilisé pour les vérifications locales.[12]



Le coefficient de majoration pour notre structure vaut :

S =10t = 100 KN

$\delta=1+\frac{0.4}{1+0.2xL}+\frac{0.6}{1+4x\frac{G}{S}}$; avec G= 310.258 kN/m et L= 20m

δ= 1.12

Effort de freinage

Les charges de chaussée des systèmes A et Bc sont susceptibles de développer des réactions de freinage, efforts s´exerçant à la surface de la chaussée, dans l´un ou l´autre sens de circulation. Dans les cas courants la résultante de ces efforts peut être supposé et centrée sur l´axe longitudinal de la chaussée.

L´effort de freinage correspondant à la charge A est égal à la fraction

Suivante du poids de cette [12] :

$$\frac{1}{20 + 0{,}0035\ S}$$

Effort de freinage correspond à la charge A

$F_A=\frac{A(l)}{20+0.0035XS}$

F_A= 137.23 KN

Effort de freinage correspond à la charge Bc

On suppose un seul camion du système Bc freinant simultanément. L'effort de freinage est alors pris égal au poids du camion, soit 30t (300 kN). Cette charge est répartie sur l'ensemble de l'ouvrage et non par travée.

F_{Bc}= 30t = 300 KN

Effort de freinage correspond à la charge Bc Niger

Dans le système du Bc Niger, chaque essieu peut freiner à la hauteur de son poids, mais un seul camion est considéré en action de freinage

$F_{Bc\ Niger}$= Bc Niger

$F_{Bc\ Niger}$= 42t = 420 KN

Forces centrifuges

Par convention, elles sont calculées uniquement à partir du système Bc dans les conditions suivantes : Sur les ponts où la chaussée est courbe, tous les camions disposés sur la chaussée développent des efforts centrifuges, horizontaux et normaux à l'axe de la chaussée et appliquées à sa surface.

R (en m) étant le Rayon du tracé à l'axe de la chaussée, il y a lieu d'adopter pour la

Force centrifuge développée par un essieu : fraction de son poids égale :

$R + \frac{150}{6R + 350}$ pour R ≤ 400 m et $\frac{80}{R}$ pour R > 400 m

Les efforts tant horizontaux que verticaux ; développés par la force centrifuge sont

Pondérés par le coefficient de majoration dynamique. Il y a lieu de tenir compte également du coefficient bc.[11]

Pour nôtre projet, on a un rayon R = 600m d'où :

et $\frac{80}{R} = \frac{80}{600} = 0.13$

Pour un camion de système Bc on a Fc = 30x0.13= 3.9t

- Pour la roue de 3t, Fc = 3x0.13= 0.39t

- Pour la roue de 6t, Fc = 6x0.13= 0.73t

Pour un camion de système Bc Niger on a Fc_{Niger}= 42x0.13 = 5.46t

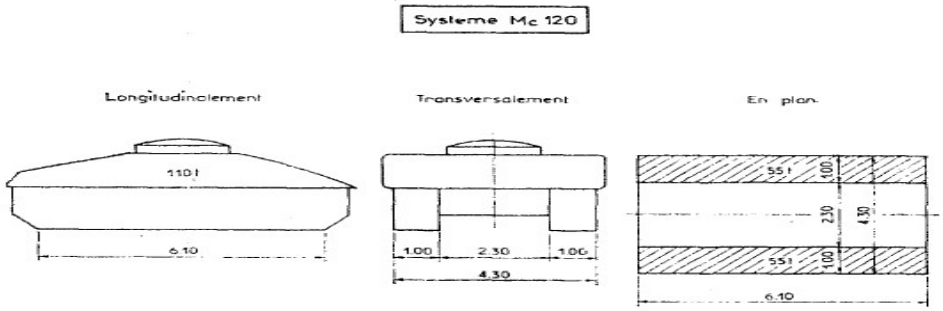
- Pour la roue de 3.25t, Fc_{Niger}= 3.25x0.13= 0.42t
- Pour la roue de 4.25t, Fc_{Niger}= 4.25x0.13= 0.55t
- Pour la roue de 6.5t, Fc_{Niger}= 6.5x0.13 = 0.84t

Charges militaires

- Système Mc120

Le système Mc120 correspond à un char militaire d'un poids total de 110t, répartis équitablement sur les deux chenilles soit 55t par chenille. Dans le cadre d'un convoi de surcharges militaires, il n'est pas possible de placer plus d'un char sur la chaussée en même temps, car la réglementation impose une distance minimale de 36.66m entre deux chars successifs.

S = 110t = 1100KN



Coefficient de majoration dynamique

$\delta=1+\frac{0.4}{1+0.2xL}+\frac{0.6}{1+4x\frac{G}{S}}$; avec G= 310.258 kN/m et L= 20m

δ= 1.08

Charges exceptionnelles

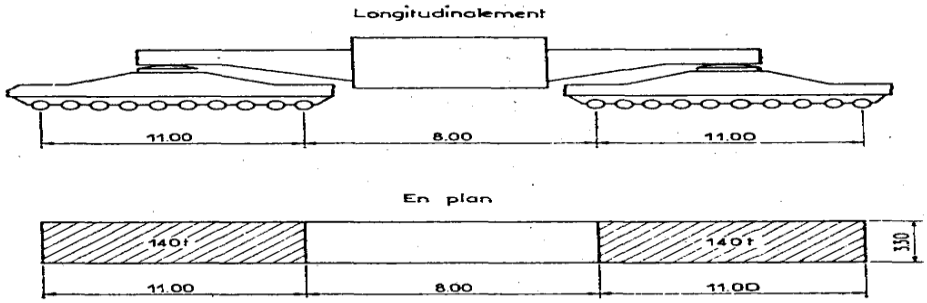
Sur les itinéraires classés pour permettre la circulation de convois poids lourds exceptionnels en 2 types D et E, les ponts doivent être calculés pour supporter le véhicule type

correspondant ci-après pouvant être plus défavorable que les charges des systèmes A et B. le CPS précisera le type de convoi lourd exceptionnel à prendre en compte.

- **Convoi exceptionnel de type D**

Le convoi type D comporte 2 remorques supportant chacune 140 tonnes repartis au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément chargé de3,30m de large et 11m de long. La distance entre axes des 2 rectangles est de 19m.

S = 140t = 1400KN



- **Convoi exceptionnel de type E**

Le convoi type E comporte 2 remorques portant chacune 200 tonnes répartis au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément chargé de 3,3 m de large et 15 m de long. La distance entre axe des 2 rectangles est de 33 m.

S= 200t = 2000KN

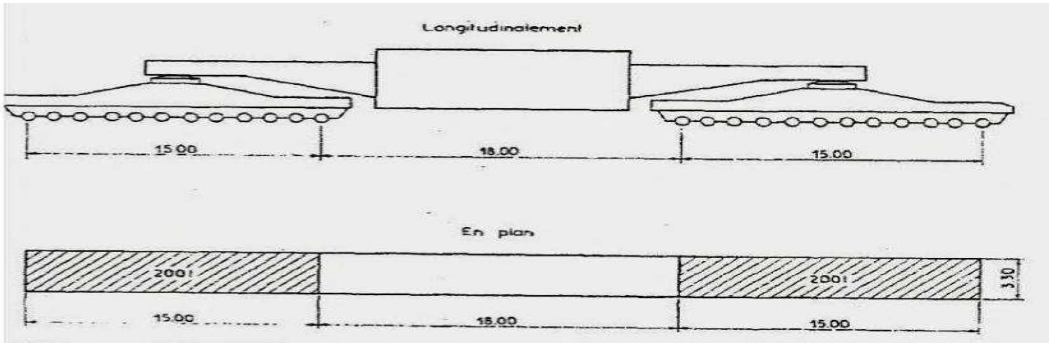


Tableau récapitulatif des surcharges

Désignations	Surcharges		Coefficient de majoration dynamique		
Civil	Type	S (kN)	1voie chargée	2voies chargées	3voies chargées
	Bc	1710	1.02	1.11	1.12
	Bc Niger	2208.75	1.1	1.12	1.13
	Bt	640	1.09		
	Br	100	1.08		
Militaire	Mc120	1100	1.08		
Exceptionnel	Type D	1400			
	Type E	2000			
Autres surcharges	Effort de freinage Bc	300			
	Effort de freinage Bc Niger	420			
	Effort centrifuge Bc	39			
	Effort centrifuge Bc Niger	54.6			
	Sucharge trottoir (kN/m2)	1.5			

IV-3. Modélisation et calcul du tablier

Cette phase consiste à présenter les différents composants du tablier du pont (ensemble de dalles, dispositifs d'appui), tout en conservant les mêmes propriétés géométriques et mécaniques définies auparavant. Dans notre cas, l'ouvrage est constitué de six travées continues, dont le tablier est une dalle pleine avec des encorbellements.

La dalle est assimilée à un panneau reposant sur des appareils d'appui. La modélisation de la structure comprend :

- La définition de l'ouvrage : disposition générale et configuration ;
- La conception structurelle ;
- La caractérisation des matériaux : propriétés du béton et de l'acier employés ;
- La définition des conditions d'appui ;
- Le choix de la méthode de calcul ;
- L'établissement des cas de charges et des combinaisons ;
- La vérification et le dimensionnement du tablier.

Les appuis sont considérés comme des appuis simples de forme rectangulaire, réalisés sous forme d'appareils d'appui, afin de limiter les concentrations de moments et d'efforts tranchants et d'obtenir des réactions plus précises dans les sections au droit des appuis.

À titre de choix préliminaire, deux appareils d'appui de 30 × 30 cm ont été retenus par pile, disposés avec un espacement de 2,00 m.

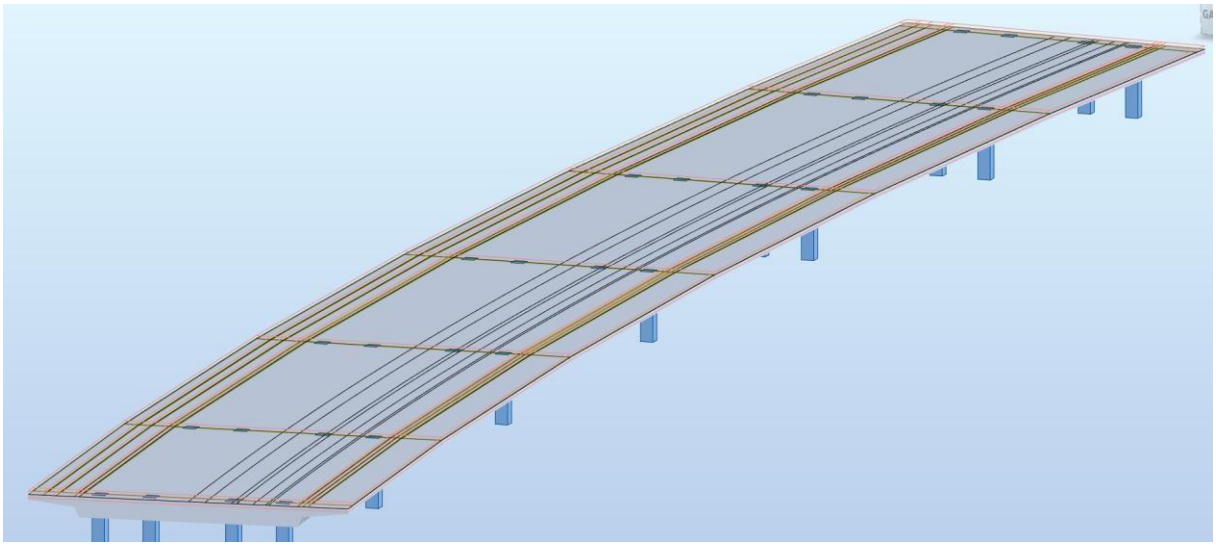


Figure : Présentation du tablier

IV-3.1 Application des différentes charges

Les différentes charges agissant sur l'ouvrage ont déjà été déterminées et calculées lors des étapes précédentes. Dans cette partie, il s'agit de les appliquer directement au modèle de la structure afin de simuler le comportement réel du tablier sous l'effet de ces sollicitations.

L'application des charges se fait conformément aux hypothèses retenues et aux combinaisons définies, en tenant compte des conditions d'appui et de la configuration générale de l'ouvrage. Cette étape permet de vérifier la répartition des efforts internes et d'assurer la cohérence des résultats obtenus avec les caractéristiques géométriques et mécaniques établies.

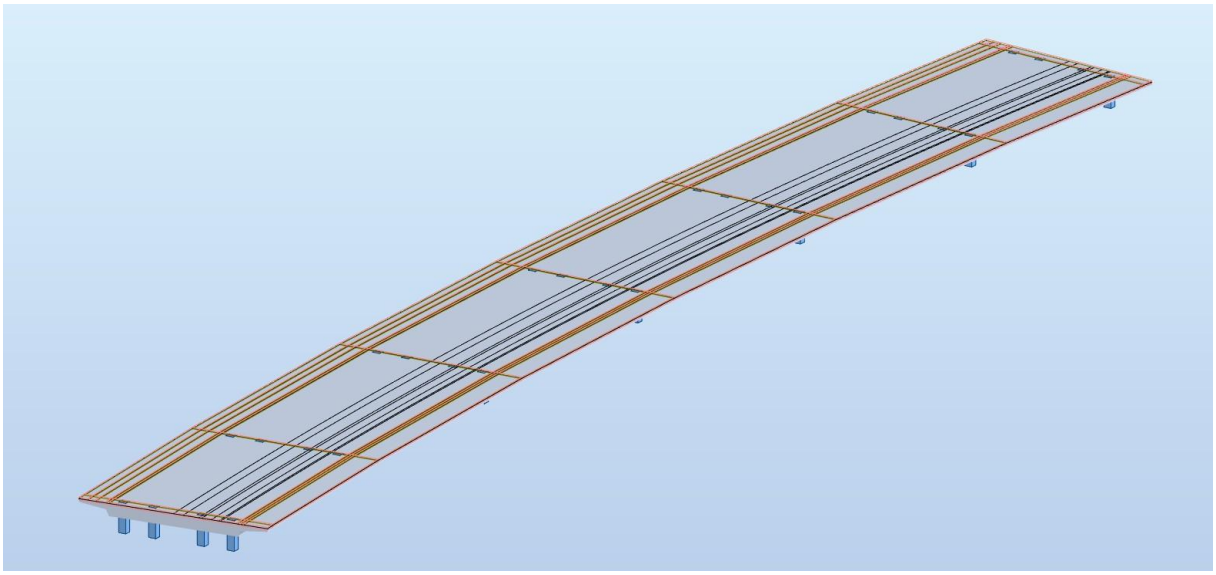


Figure : Poids propre

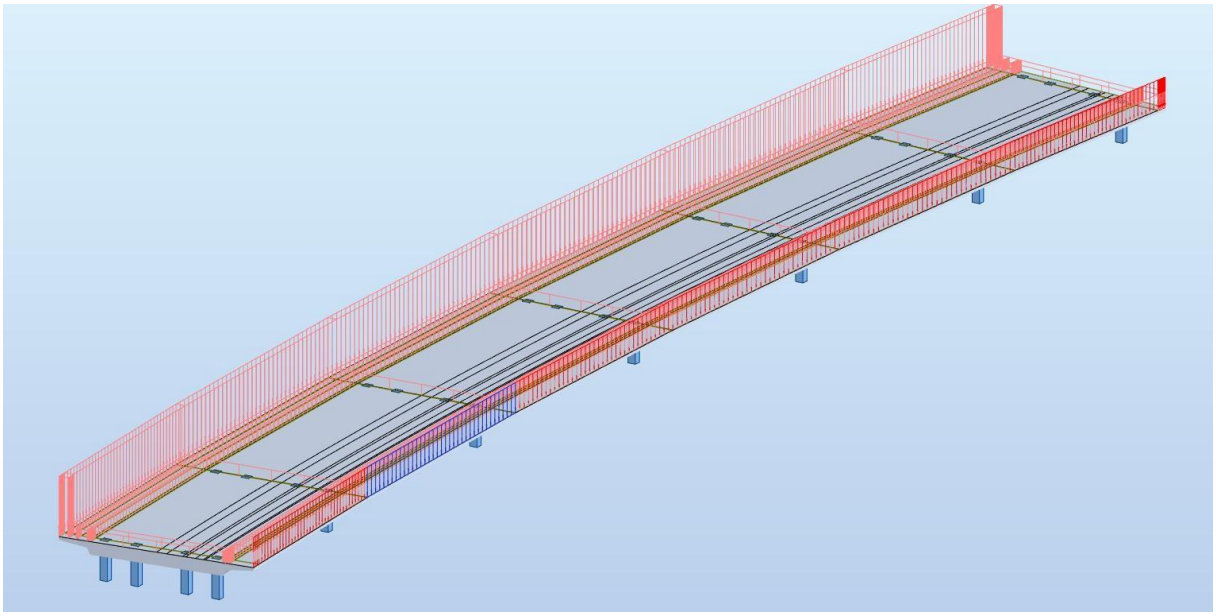
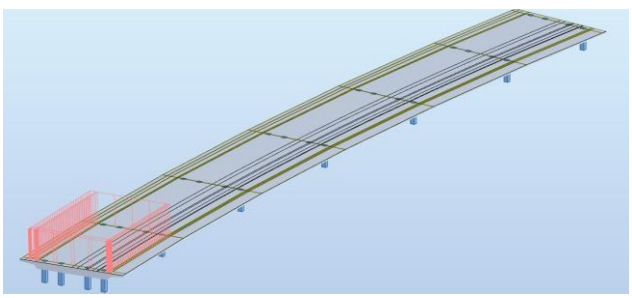
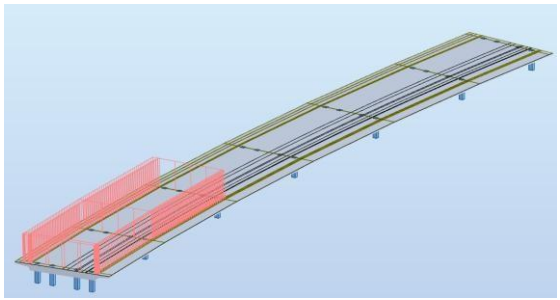
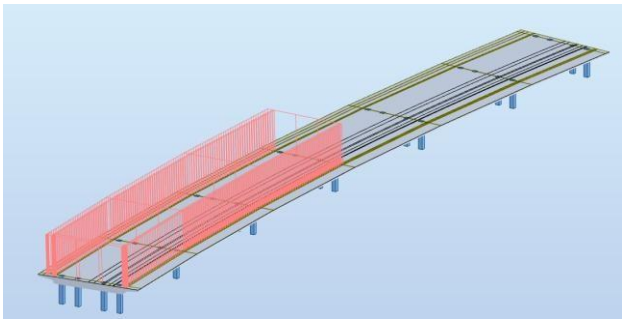


Figure : Charges permanentes

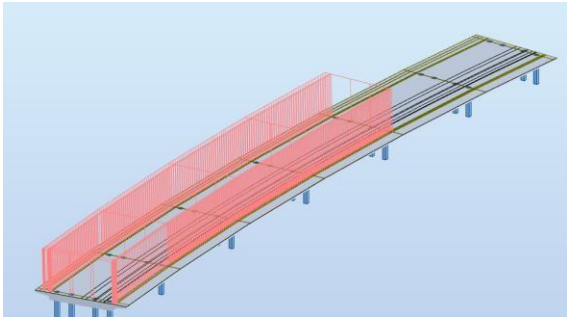




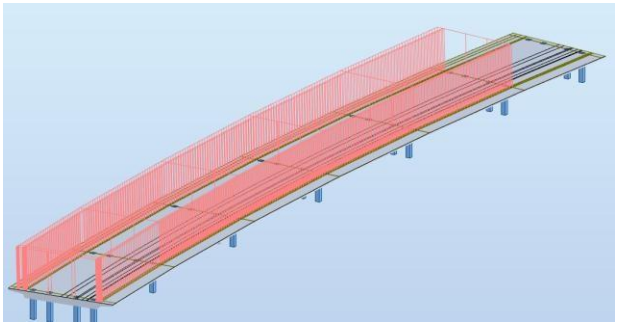
Système A (une travée chargée) : Cas1 / 31



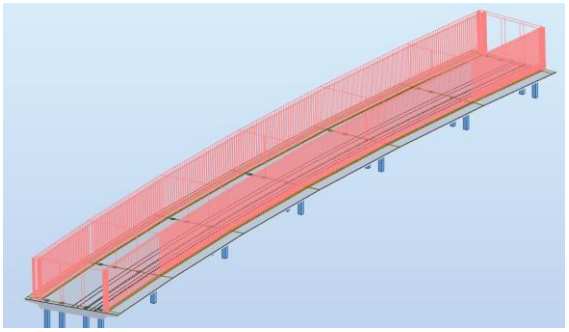
Système A(2 travée chargée): Cas4 / 31



Système A (3 travée chargée) : Cas15 / 31



Système A (4 travée chargée) : Cas23 / 31



Système A (3 travée chargée) : Cas29 / 31

Système A (3 travée chargée) : Cas31 / 31

Figure : Application des charges système A

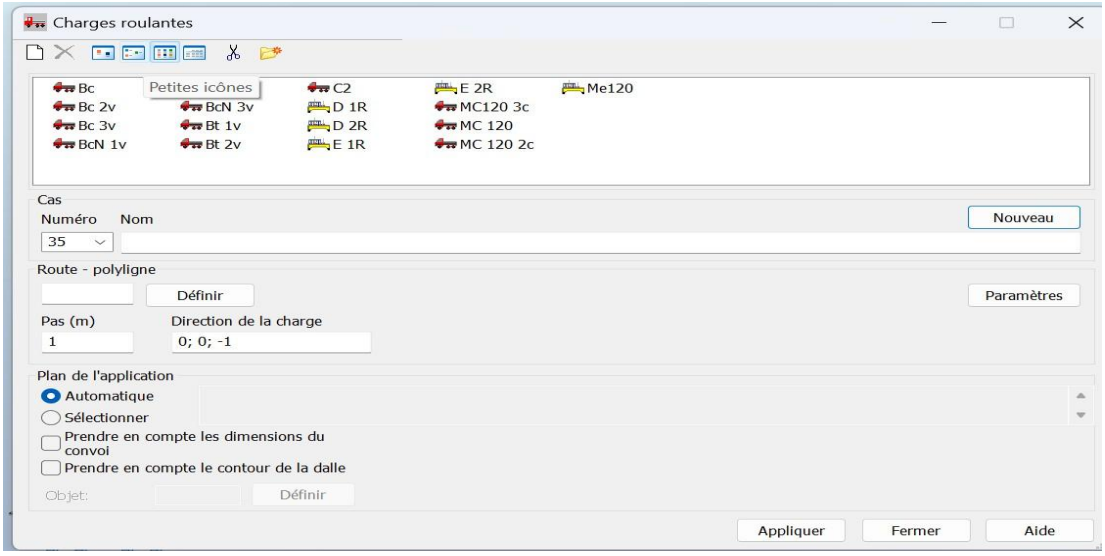


Figure : configuration des charges roulantes

6) Combinaison de calcul

Il est nécessaire de combiner les différentes actions susceptibles de s'exercer sur l'ouvrage afin d'obtenir les sollicitations correspondant aux divers états limites à prendre en compte. Les combinaisons d'actions traduisent plusieurs répartitions des efforts appliqués, en distinguant les charges permanentes et les charges variables, selon la probabilité de leur occurrence et les valeurs maximales qu'elles peuvent atteindre.

Au total, on obtient 65 combinaisons pour l'État Limite de Service (ELS) et 65 combinaisons pour l'État Limite Ultime (ELU).

Tableau récapitulatif des combinaison de charges

COMB	Nom	Charge	ceof	Charge	ceof	Charge	ceof	Charge	ceof	Charge	ceof
ELU	ELU1	PP	1,35								
	ELU2	PP	1,35	Sup	1,35						
	ELU3	PP	1,35	Sup	1,35	Al1	1,6	Qtr	1,6		
	ELU4	PP	1,35	Sup	1,35	Al2	1,6	Qtr	1,6		
	ELU5	PP	1,35	Sup	1,35	Al3	1,6	Qtr	1,6		
	ELU6	PP	1,35	Sup	1,35	Al4	1,6	Qtr	1,6		
	ELU7	PP	1,35	Sup	1,35	Al5	1,6	Qtr	1,6		
	ELU8	PP	1,35	Sup	1,35	Al6	1,6	Qtr	1,6		
	ELU9	PP	1,35	Sup	1,35	Al7	1,6	Qtr	1,6		
	ELU10	PP	1,35	Sup	1,35	Al8	1,6	Qtr	1,6		
	ELU11	PP	1,35	Sup	1,35	Al9	1,6	Qtr	1,6		
	ELU12	PP	1,35	Sup	1,35	Al10	1,6	Qtr	1,6		
	ELU13	PP	1,35	Sup	1,35	Al11	1,6	Qtr	1,6		
	ELU14	PP	1,35	Sup	1,35	Al12	1,6	Qtr	1,6		
	ELU15	PP	1,35	Sup	1,35	Al13	1,6	Qtr	1,6		
	ELU16	PP	1,35	Sup	1,35	Al14	1,6	Qtr	1,6		
	ELU17	PP	1,35	Sup	1,35	Al15	1,6	Qtr	1,6		
	ELU18	PP	1,35	Sup	1,35	Al16	1,6	Qtr	1,6		
	ELU19	PP	1,35	Sup	1,35	Al17	1,6	Qtr	1,6		
	ELU20	PP	1,35	Sup	1,35	Al18	1,6	Qtr	1,6		
	ELU21	PP	1,35	Sup	1,35	Al19	1,6	Qtr	1,6		
	ELU22	PP	1,35	Sup	1,35	Al20	1,6	Qtr	1,6		

	ELU23	PP	1,35	Sup	1,35	Al21	1,6	Qtr	1,6		
	ELU24	PP	1,35	Sup	1,35	Al22	1,6	Qtr	1,6		
	ELU25	PP	1,35	Sup	1,35	Al23	1,6	Qtr	1,6		
	ELU26	PP	1,35	Sup	1,35	Al24	1,6	Qtr	1,6		
	ELU27	PP	1,35	Sup	1,35	Al25	1,6	Qtr	1,6		
	ELU28	PP	1,35	Sup	1,35	Al26	1,6	Qtr	1,6		
	ELU29	PP	1,35	Sup	1,35	Al27	1,6	Qtr	1,6		
	ELU30	PP	1,35	Sup	1,35	Al28	1,6	Qtr	1,6		
	ELU31	PP	1,35	Sup	1,35	Al29	1,6	Qtr	1,6		
	ELU32	PP	1,35	Sup	1,35	Al30	1,6	Qtr	1,6		
	ELU33	PP	1,35	Sup	1,35	Al31	1,6	Qtr	1,6		
	ELU34	PP	1,35	Sup	1,35	BC 1v centré	1,808	Qtr	1,6	F Bc	1,6
	ELU35	PP	1,35	Sup	1,35	BC 1v excentré	1,808	Qtr	1,6	F Bc	1,6
	ELU36	PP	1,35	Sup	1,35	BC 2v centré	1,84	Qtr	1,6	F Bc	1,6
	ELU37	PP	1,35	Sup	1,35	BC 2v excentré	1,84	Qtr	1,6	F Bc	1,6
	ELU38	PP	1,35	Sup	1,35	BC 3v centré	1,856	Qtr	1,6	F Bc	1,6
	ELU39	PP	1,35	Sup	1,35	BC 3v excentré	1,856	Qtr	1,6	F Bc	1,6
	ELU40	PP	1,35	Sup	1,35	BcN 1v centré	1,808	Qtr	1,6	F Bc Niger	1,6
	ELU41	PP	1,35	Sup	1,35	BcN 1v excentré	1,808	Qtr	1,6	F Bc Niger	1,6
	ELU42	PP	1,35	Sup	1,35	BcN 2v centré	1,84	Qtr	1,6	F Bc Niger	1,6
	ELU43	PP	1,35	Sup	1,35	BcN 2v excentré	1,84	Qtr	1,6	F Bc Niger	1,6
	ELU44	PP	1,35	Sup	1,35	BcN 3v centré	1,856	Qtr	1,6	F Bc Niger	1,6
	ELU45	PP	1,35	Sup	1,35	BcN 3v excentré	1,856	Qtr	1,6	F Bc Niger	1,6
	ELU46	PP	1,35	Sup	1,35	Bt 1v centré	1,792	Qtr	1,6		
	ELU47	PP	1,35	Sup	1,35	Bt 1v excentré	1,792	Qtr	1,6		
	ELU48	PP	1,35	Sup	1,35	Bt 2v centré	1,808	Qtr	1,6		
	ELU49	PP	1,35	Sup	1,35	Bt 2v excentré	1,808	Qtr	1,6		

	ELU50	PP	1,35	Sup	1,35	Mc120 1c centré	1,539	Qtr	1,6		
	ELU51	PP	1,35	Sup	1,35	Mc120 1c excentré	1,539	Qtr	1,6		
	ELU52	PP	1,35	Sup	1,35	Mc120 2c centré	1,539	Qtr	1,6		
	ELU53	PP	1,35	Sup	1,35	Mc120 2c excentré	1,539	Qtr	1,6		
	ELU54	PP	1,35	Sup	1,35	Mc120 3c centré	1,539	Qtr	1,6		
	ELU55	PP	1,35	Sup	1,35	Mc120 3c excentré	1,539	Qtr	1,6		
	ELU56	PP	1,35	Sup	1,35	Me120 centré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU57	PP	1,35	Sup	1,35	Me120 excentré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU58	PP	1,35	Sup	1,35	D 1R centré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU59	PP	1,35	Sup	1,35	D 1R excentré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU60	PP	1,35	Sup	1,35	D 2R centré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU61	PP	1,35	Sup	1,35	D 2R excentré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU62	PP	1,35	Sup	1,35	E 1R centré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU63	PP	1,35	Sup	1,35	E 1R excentré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU64	PP	1,35	Sup	1,35	E 2R centré	1,35	Qtr	1,6		
	ELU65	PP	1,35	Sup	1,35	E 2R excentré	1,35	Qtr	1,6		
ELS	ELS1	PP	1								
	ELS2	PP	1	Sup	1						
	ELS3	PP	1	Sup	1	Al1	1,2	Qtr	1,2		
	ELS4	PP	1	Sup	1	Al2	1,2	Qtr	1,2		
	ELS5	PP	1	Sup	1	Al3	1,2	Qtr	1,2		
	ELS6	PP	1	Sup	1	Al4	1,2	Qtr	1,2		
	ELS7	PP	1	Sup	1	Al5	1,2	Qtr	1,2		
	ELS8	PP	1	Sup	1	Al6	1,2	Qtr	1,2		

	ELS9	PP	1	Sup	1	Al7	1,2	Qtr	1,2		
	ELS10	PP	1	Sup	1	Al8	1,2	Qtr	1,2		
	ELS11	PP	1	Sup	1	Al9	1,2	Qtr	1,2		
	ELS12	PP	1	Sup	1	Al10	1,2	Qtr	1,2		
	ELS13	PP	1	Sup	1	Al11	1,2	Qtr	1,2		
	ELS14	PP	1	Sup	1	Al12	1,2	Qtr	1,2		
	ELS15	PP	1	Sup	1	Al13	1,2	Qtr	1,2		
	ELS16	PP	1	Sup	1	Al14	1,2	Qtr	1,2		
	ELS17	PP	1	Sup	1	Al15	1,2	Qtr	1,2		
	ELS18	PP	1	Sup	1	Al16	1,2	Qtr	1,2		
	ELS19	PP	1	Sup	1	Al17	1,2	Qtr	1,2		
	ELS20	PP	1	Sup	1	Al18	1,2	Qtr	1,2		
	ELS21	PP	1	Sup	1	Al19	1,2	Qtr	1,2		
	ELS22	PP	1	Sup	1	Al20	1,2	Qtr	1,2		
	ELS23	PP	1	Sup	1	Al21	1,2	Qtr	1,2		
	ELS24	PP	1	Sup	1	Al22	1,2	Qtr	1,2		
	ELS25	PP	1	Sup	1	Al23	1,2	Qtr	1,2		
	ELS26	PP	1	Sup	1	Al24	1,2	Qtr	1,2		
	ELS27	PP	1	Sup	1	Al25	1,2	Qtr	1,2		
	ELS28	PP	1	Sup	1	Al26	1,2	Qtr	1,2		
	ELS29	PP	1	Sup	1	Al27	1,2	Qtr	1,2		
	ELS30	PP	1	Sup	1	Al28	1,2	Qtr	1,2		
	ELS31	PP	1	Sup	1	Al29	1,2	Qtr	1,2		
	ELS32	PP	1	Sup	1	Al30	1,2	Qtr	1,2		
	ELS33	PP	1	Sup	1	Al31	1,2	Qtr	1,2		
	ELS34	PP	1	Sup	1	BC 1v centré	1,356	Qtr	1,2	F Bc	1
	ELS35	PP	1	Sup	1	BC 1v excentré	1,356	Qtr	1,2	F Bc	1
	ELS36	PP	1	Sup	1	BC 2v centré	1,38	Qtr	1,2	F Bc	1
	ELS37	PP	1	Sup	1	BC 2v excentré	1,38	Qtr	1,2	F Bc	1
	ELS38	PP	1	Sup	1	BC 3v centré	1,392	Qtr	1,2	F Bc	1
	ELS39	PP	1	Sup	1	BC 3v excentré	1,392	Qtr	1,2	F Bc	1
	ELS40	PP	1	Sup	1	BcN 1v centré	1,356	Qtr	1,2	F Bc Niger	1
	ELS41	PP	1	Sup	1	BcN 1v excentré	1,356	Qtr	1,2	F Bc Niger	1

	ELS42	PP	1	Sup	1	BcN 2v centré	1,38	Qtr	1,2	F Bc Niger	1
	ELS43	PP	1	Sup	1	BcN 2v excentré	1,38	Qtr	1,2	F Bc Niger	1
	ELS44	PP	1	Sup	1	BcN 3v centré	1,392	Qtr	1,2	F Bc Niger	1
	ELS45	PP	1	Sup	1	BcN 3v excentré	1,392	Qtr	1,2	F Bc Niger	1
	ELS46	PP	1	Sup	1	Bt 1v centré	2,24	Qtr	1,2		
	ELS47	PP	1	Sup	1	Bt 1v excentré	2,24	Qtr	1,2		
	ELS48	PP	1	Sup	1	Bt 2v centré	1,356	Qtr	1,2		
	ELS49	PP	1	Sup	1	Bt 2v excentré	1,356	Qtr	1,2		
	ELS50	PP	1	Sup	1	Mc120 1c centré	1,14	Qtr	1,2		
	ELS51	PP	1	Sup	1	Mc120 1c excentré	1,14	Qtr	1,2		
	ELS52	PP	1	Sup	1	Mc120 2c centré	1,14	Qtr	1,2		
	ELS53	PP	1	Sup	1	Mc120 2c excentré	1,14	Qtr	1,2		
	ELS54	PP	1	Sup	1	Mc120 3c centré	1,14	Qtr	1,2		
	ELS55	PP	1	Sup	1	Mc120 3c excentré	1,14	Qtr	1,2		
	ELS56	PP	1	Sup	1	Me120 centré	1	Qtr	1,2		
	ELS57	PP	1	Sup	1	Me120 excentré	1	Qtr	1,2		
	ELS58	PP	1	Sup	1	D 1R centré	1	Qtr	1,2		
	ELS59	PP	1	Sup	1	D 1R excentré	1	Qtr	1,2		
	ELS60	PP	1	Sup	1	D 2R centré	1	Qtr	1,2		
	ELS61	PP	1	Sup	1	D 2R excentré	1	Qtr	1,2		

	ELS62	PP	1	Sup	1	E 1R centré	1	Qtr	1,2		
	ELS63	PP	1	Sup	1	E 1R excentré	1	Qtr	1,2		
	ELS64	PP	1	Sup	1	E 2R centré	1	Qtr	1,2		
	ELS65	PP	1	Sup	1	E 2R excentré	1	Qtr	1,2		

Section d'armature transversale

Les calculs sont effectués à l'État Limite Ultime (ELU), en considérant l'impact d'une fissuration défavorable et en intégrant les efforts tranchants induits par les différentes charges appliquées sur le tablier ainsi que leurs combinaisons. Pour l'armature transversale du tablier, seuls des étriers ont été retenus.

À l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis 2025, les sollicitations maximales en effort tranchant ont été identifiées, issues de la combinaison la plus contraignante, aussi bien au niveau des appuis qu'en travées.

Tableau: Maxima des efforts tranchants et contraintes de cisaillement dans le tablier.

Position	**Valeur** Vu **(MN)**	$\tau u(Mpa)$
Max sur appui	1,875	2,6
Max en travée	10,13	0,1

Tableau : calcul de la section transversale

Données			
Largeur de la section	b	1	m

Hauteur de la section	h	0,8	m
Hauteur utile des aciers	d= 0,9*h	0,72	m
Limite d'élasticité des aciers	fe	500	Mpa
Résistance du béton à la compression à 28 jours d'âge	fc28	30	Mpa
Résistance à la traction du béton à 28 jours d'âge	ft28= 0,6 + 0,06fc28	2,4	Mpa
Coefficient partiel de sécurité du béton	γb	1,5	
Coefficient partiel de sécurité des acier	γs	1,15	
Coefficient de calcul	K	1	
Diamètre des armatures principales	ϕl	32	mm
Contrainte tangentielle admissible à l'ELU	$\tau ul = \min\left(\frac{0.15 f_{c28}}{\gamma_b}; 4\right)$	3	Mpa

	Mpa)		
Effort tranchant maximal	Vumax	1,875	MN
CALCULS			
Contrainte tangentielle conventionnelle	tu= $\frac{Vumax}{bd}$	2,604	Mpa
Comparaison 1	tu<tul	**Vérifier**	
Ecartement de 2 cours	St≤min(0,9xd;40cm)	40	cm
Section d'armatures transversales sur appui	At≥ $\gamma s \frac{(tu-0.3ft28)\times b\times st}{(0.9\times fe)}$	0,0014	m2
Diamètre des armatures transversales sur appui	$\phi t \leq \min(\frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \phi l)$	22,86	mm
Atmin≥ $\frac{0.4\times b\times st}{fe}$ Section transversale minimale		0,0003	m2

Après les résultats des calculs nous choisissons en tout point des appuis, des étriers en HA 12

Espacés de 40 cm.

Annexe 7 : Aperçu de la notice d'impact environnemental, socio-économique et avant métré avec devis global du projet

Type infrastructure	Unité	Quantité	Cout unitaire	Cout total
Maisons en parpaings tôlées	m²	80.17	45000	3607650
Commerces	m²	1782.71	25000	44567750
Arbres	U	40	25000	1000000
Imprévus (Pour prise en compte d'éventuels ajustement dans les emprises				15000000
Total				64175400

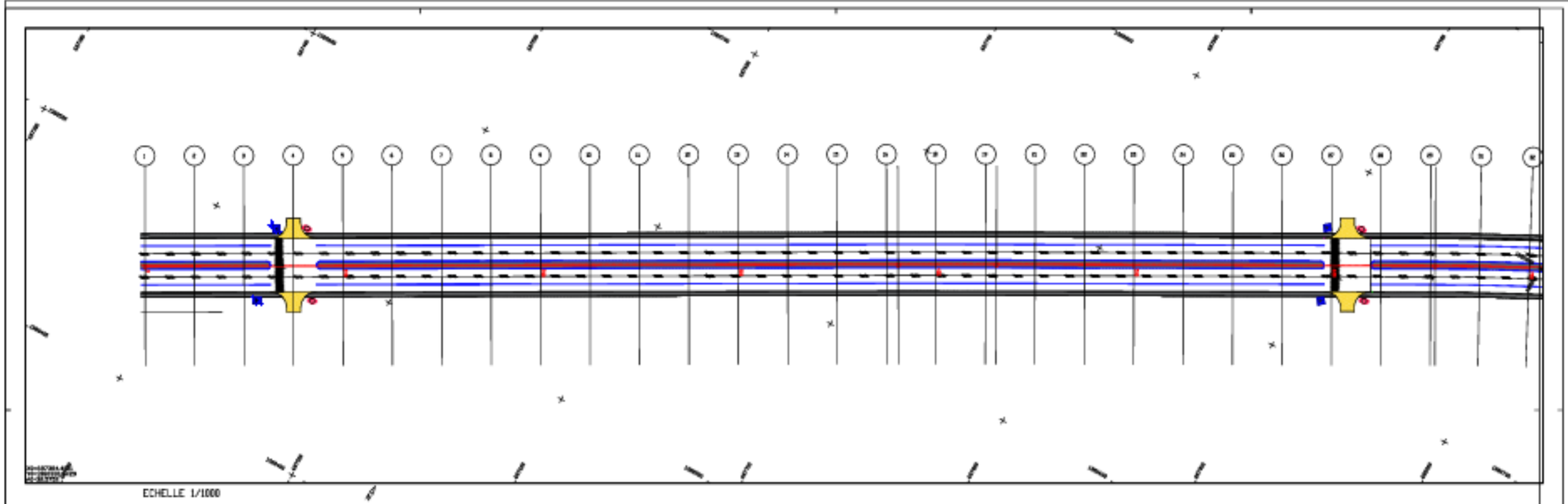
LISTE DES BIENS AFFECTÉES ET DES COÛTS DES MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

N	DESIGNATION DES OUVRAGES	UNITE	QUANTITES	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL
1	**LOT N°1 : INSTALLATION ET REPLI DU CHANTIER**				
1.1	Installation du chantier	ft	1	50 000 000	50 000 000
1.2	Réalisation de déviations	ft	1	25 000 000	25 000 000
1.3	Repli de chantier	ft	1	15 000 000	15 000 000
	TOTAL LOT N°1				**90 000 000**
2	**LOT N°2 : DEGAGEMENT DES EMPRISES**				
2.1	Déplacement Réseaux électriques (poteaux)	ft	1	6 000 000	6 000 000
2.2	Démolition des habitations existantes	ft	1	10 000 000	10 000 000
2.3	Abattage, dessouchage et évacuation des arbres se trouvant sur l'emprise de la route et sur le site d'emprunt	ft	1	4 000 000	4 000 000

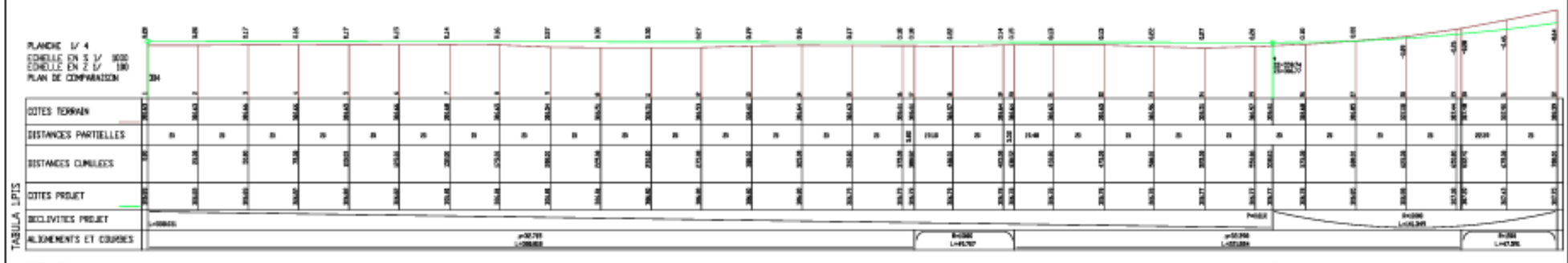
	TOTAL LOT N°2				**20 000 000**
3	**LOT N°3 : TERRASSEMENTS GENERAUX**				
3.1	Décapage de la terre végétale	m2	72 000	250	18 000 000
3.2	Déblai	m3	3 070	2 000	6 140 000
3.3	Remblai latéritique	m3	124 339	6 300	783 335 700
	TOTAL LOT N°3				**807 475 700**
4	**LOT N°4 : REALISATION DES COUCHES DE CHAUSSEE**				
4.1	Graveleux latéritique pour couche de forme 15cm	m3	7 056	5 180	36 550 080
4.2	Graveleux latéritiques amélioré au ciment pour Couche de fondation 20cm	m3	9 408	18 000	169 344 000
4.3	Grave bitume pour couche de base de 10cm	m3	4 704	165 000	776 160 000
4.4	Revêtement BBSG pour couche de roulement de 5cm	m3	2 352	160 000	376 320 000
4.5	Impréation au bitume fluidifié(cut back)	m2	1 984	1 000	1 984 000
4.6	Revêtement en pavé pour trotoire	m2	4 200	75 000	315 000 000
	TOTAL LOT N°4				**1 675 358 080**
5	**LOT N°5 : OUVRAGES D'ART (Tablier pont-dalle)**				
5.1	Béton Armé dosé à 400kg/m3 pour dalle	m3	820	270 000	221 400 000
5.2	EQUIPEMENTS				
5.2.1	Fourniture et pose de Garde corps	ml	1 640	46 000	75 440 000

5.2.2	Fourniture et pose de Gargouille pour évacuation d'eau	ml	240	5 000	1 200 000
5.2.3	Fourniture et pose de joint de chaussée	ml	26	5 000	127 500
TOTAL LOT N°5					**298 167 500**
6	**LOT N°6 : SIGNALISATION-SECURITE-ECLAIRAGE**				
6.1	Ligne d'axe discontinue, module T2	ml	9 660	3 100	29 946 000
6.2	Ligne de rive, module T2, largeur 18cm	ml	14 000	3 100	43 400 000
6.3	Panneaux de signalisations	ft	15	150 000	2 250 000
6.4	Eclairage lumineux	u	65	1 600 000	104 000 000
TOTAL LOT N°6					**179 596 000**
7	**LOT N7 : MESURE SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE**				
7.1	Mesure sociale et environnementale				64 175 400.0
TOTAL LOT N°7					**64 175 400**

RECAPITULATIF GLOBAL	
TOTAL LOT N°1 : INSTALLATION ET REPLI DU CHANTIER	90 000 000
TOTAL LOT N°2 : DEGAGEMENT DES EMPRISES	20 000 000
TOTAL LOT N°3 : TERRASSEMENTS GENERAUX	807 475 700
TOTAL LOT N°4 : REALISATION DES COUCHES DE CHAUSSEE	1 675 358 080
TOTAL LOT N°5 : OUVRAGES D'ART (Tablier pont-dalle)	298 167 500
TOTAL LOT N°6 : SIGNALISATION-SECURITE-ECLAIRAGE	179 596 000
TOTAL LOT N7 : MESURE SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE	64 175 400
MONTANT GLOBAL HT	3 134 772 680
TVA 18%	564 259 082.40
DROIT D'ENREGISTREMENT 3%	94 043 180.40
PATENTE 2%	62 695 453.60
MONTANT GLOBAL TTC	3 855 770 396.40

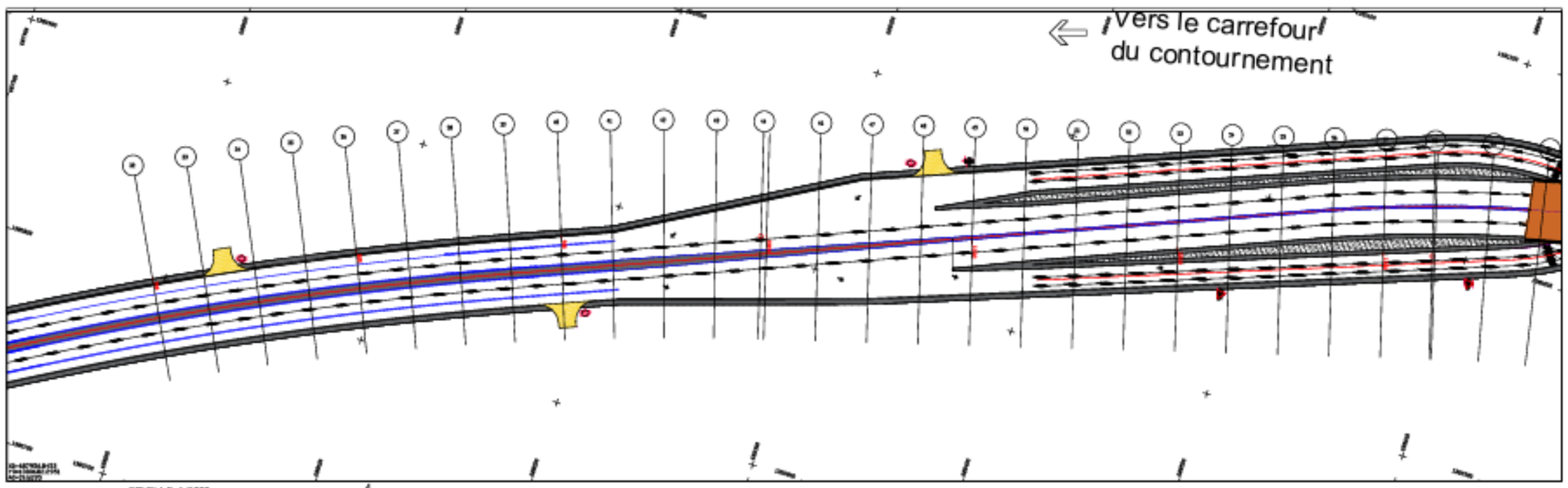


ECHELLE 1/1000



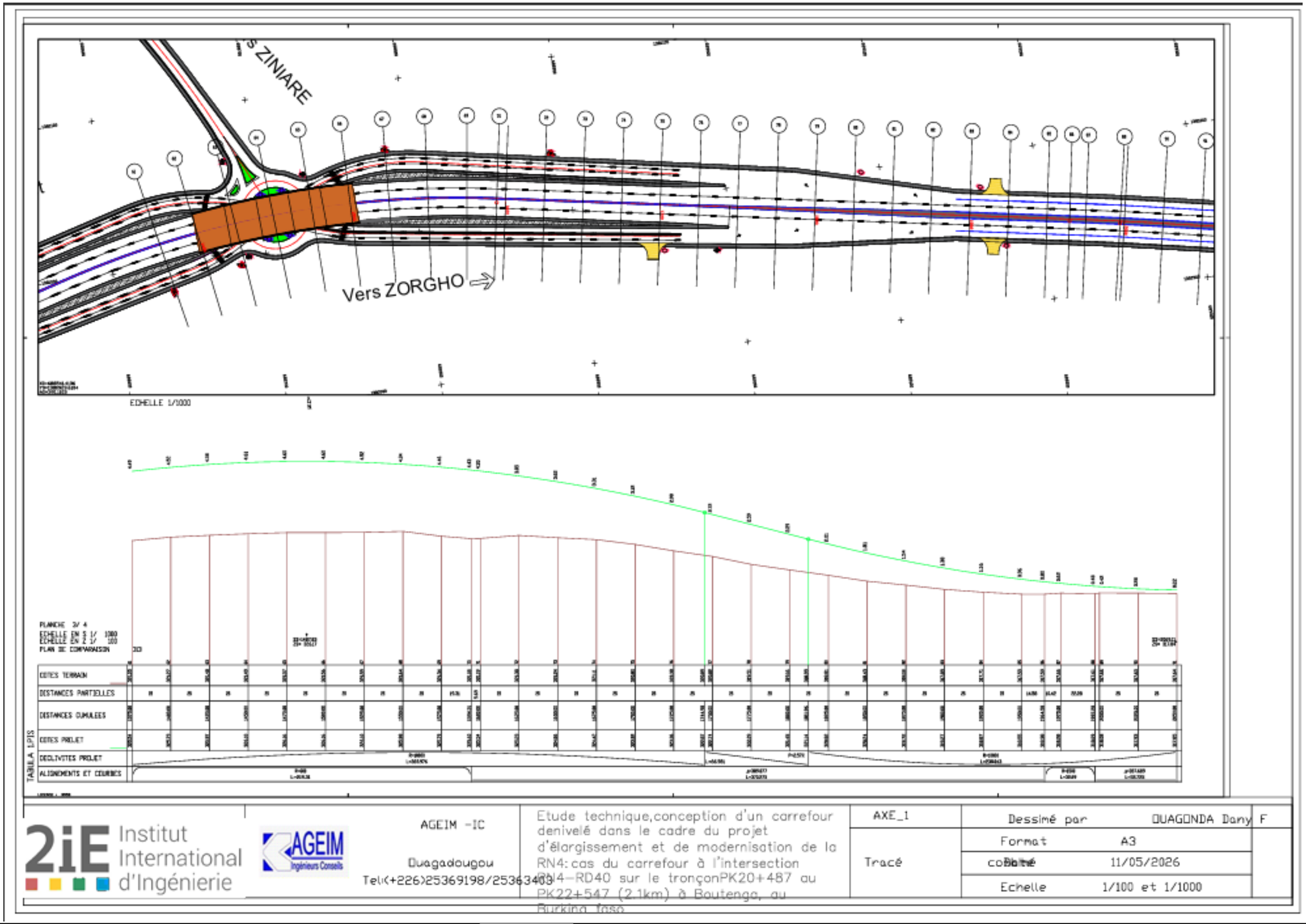
2iE Institut International d'Ingénierie	AGEIM -IC Ouagadougou Tel:(+226)25369198/25363409	Etude technique,conception d'un carrefour denivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4: cas du carrefour à l'intersection RN4–RD40 sur le tronçonPK20+487 au PK22+547 (2.1km) à Boutenga, au Burkina Faso	AXE_1
			Tracé

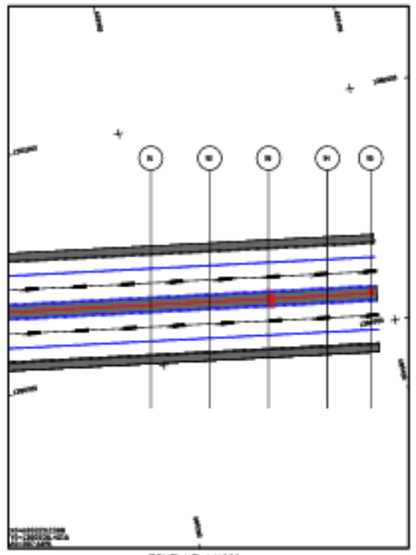
Dessiné par	OUAGONDA Dany F
Format	A3
Date	11/05/2026
Echelle	1/100 et 1/1000

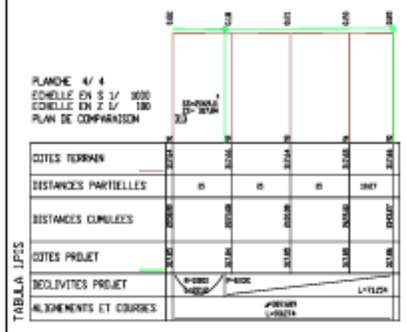


2iE Institut International d'Ingénierie	AGEIM -IC Ouagadougou Tel:(+226)25369198/25363403	Etude technique,conception d'un carrefour denivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4:cas du carrefour à l'intersection RN4-RD40 sur le tronçonPK20+487 au PK22+547 (2,1km) à Boutenga, au Burkina faso	AXE_1 Tracé

Dessiné par	OUAGONDA Dany F
Format	A3
Date	11/05/2026
Echelle	1/100 et 1/1000


S ZINIARE
Vers ZORGHO
ECHELLE 1/1000
PLANCHE 3/ 4
ECHELLE EN X 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON
TABLEAU DES PIS
COTES TERRAIN
DISTANCES PARTIELLES
DISTANCES CUMULEES
COTES PROJET
DECLIVITES PROJET
ALIGNEMENTS ET COURBES
2iE Institut International d'Ingénierie
AGEIM Ingénieurs Conseils
AGEIM -IC
Ouagadougou
Tel:(+226)25369198/25363403
Etude technique,conception d'un carrefour denivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4:cas du carrefour à l'intersection RN4-RD40 sur le tronçonPK20+487 au PK22+547 (2.1km) à Boutenga, au Burkina faso
AXE_1
Tracé
Dessiné par OUAGONDA Dany F
Format A3
Date 11/05/2026
Echelle 1/100 et 1/1000





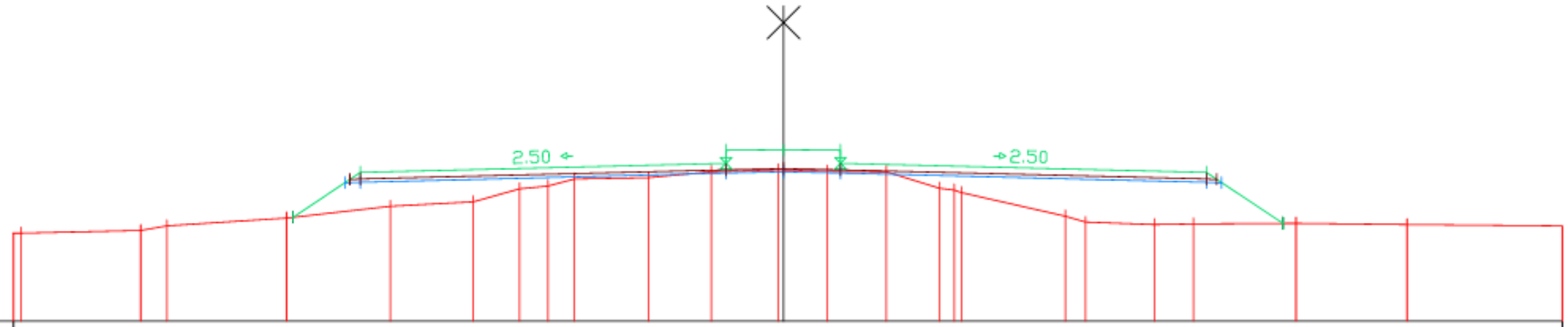
2iE Institut International d'Ingénierie	AGEIM -IC Ouagadougou Tel:(+226)25369198/25363403	Etude technique,conception d'un carrefour denivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4: cas du carrefour à l'intersection RN4-RD40 sur le tronçonPK20+487 au PK22+547 (2.1km) à Boutenga, au Burkina faso	AXE_1 Tracé	Dessiné par OUAGONDA Dany F Format A3 Echelle 1/100 et 1/1000

PROFIL 1

TABULA 1.PIS

S = 0.000
ZTN = 306.631
ZPRO= 306.831

ECHS=1/ 200
ECHZ=1/ 200
PC = 302.0
LICENCE : 3958



TERRAIN	DISTANCES	-23.57	-19.66	-18.88	-15.21	-12.04	-9.49	-8.07	-7.21	-6.39	-4.13	-2.21	-0.15	1.36	3.14	4.76	5.22	5.44	8.63	9.25	11.36	12.55	15.69	19.10	23.85
	COTES	304.70	304.78	304.92	305.16	305.51	305.65	306.06	306.13	306.36	306.39	306.58	306.63	306.60	306.57	306.08	306.01	305.93	305.21	305.03	304.96	304.98	305.00	304.96	304.91
PROJET	DISTANCES				-15.01	-12.95	-12.95						-1.75	-1.75	0.00	1.75	1.75					12.95	12.95	15.29	
	COTES				305.18	306.55	306.55						306.83	307.23	307.25	307.23	306.83					306.55	306.55	304.99	
ASSISE	DISTANCES					-13.42	-12.95						-1.75		0.00	1.75						12.95	13.42		
	COTES					306.24	306.25						306.53		306.58	306.53						306.25	306.24		

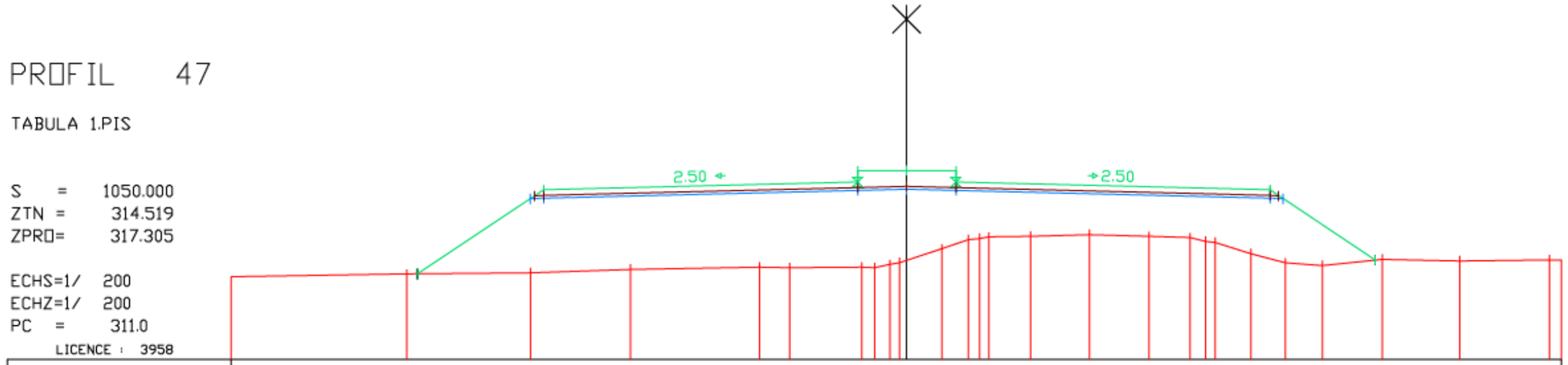
PROFIL 47

TABULA 1.PIS

S = 1050.000
ZTN = 314.519
ZPRO= 317.305

ECHS=1/ 200
ECHZ=1/ 200
PC = 311.0

LICENCE : 3958



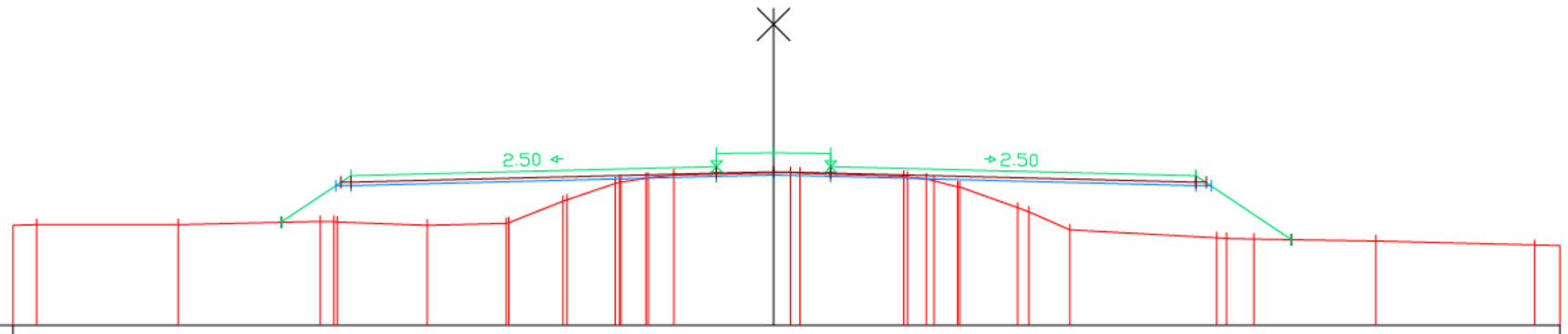
TERRAIN	DISTANCES	-24.08	-17.82	-13.41	-9.83	-5.25	-4.17	-1.60	-1.14	-0.60	-0.26	1.26	2.19	2.60	2.95	4.42	6.51	8.63	10.10	10.66	11.00	12.28	13.49	14.81	16.96	19.72	22.91	23.34
	COTES	313.93	314.03	314.07	314.20	314.28	314.26	314.28	314.26	314.37	314.44	314.93	315.26	315.30	315.35	315.38	315.44	315.36	315.33	315.20	315.16	314.76	314.43	314.34	314.55	314.50	314.54	314.54
PROJET	DISTANCES		-17.44	-12.95	-12.95			-1.75	-1.75	0.00		1.75	1.75									12.95	12.95		16.70			
	COTES		314.03	317.02	317.02			317.30	317.70	317.72		317.70	317.30									317.02	317.02		314.53			
ASSISE	DISTANCES			-13.42	-12.95			-1.75		0.00		1.75										12.95	13.42					
	COTES			316.71	316.72			317.00		317.05		317.00										316.72	316.71					

PROFIL 95

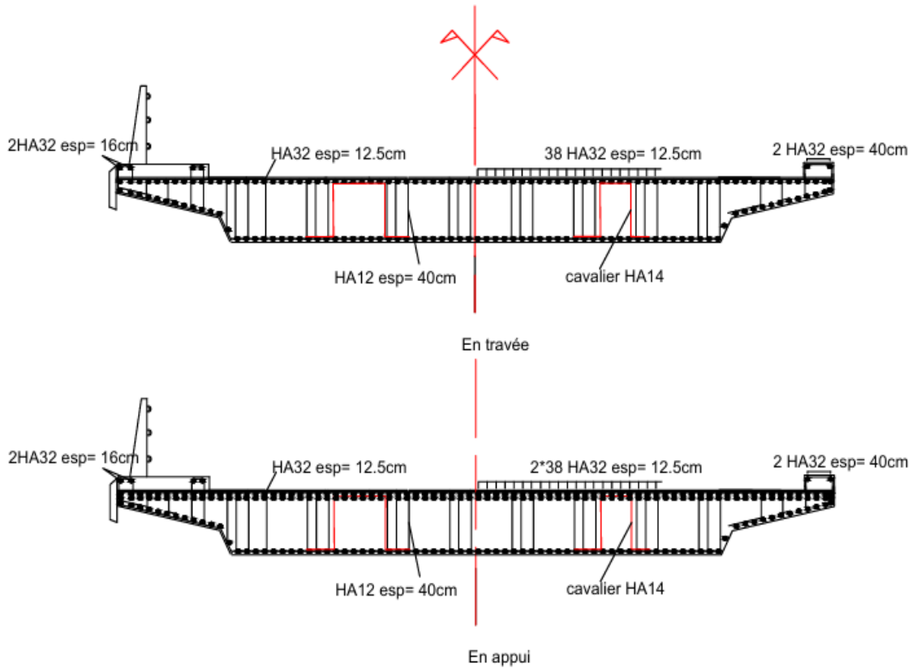
TABULA 1.PIS

S = 2143.274
ZTN = 317.658
ZPRO= 317.858

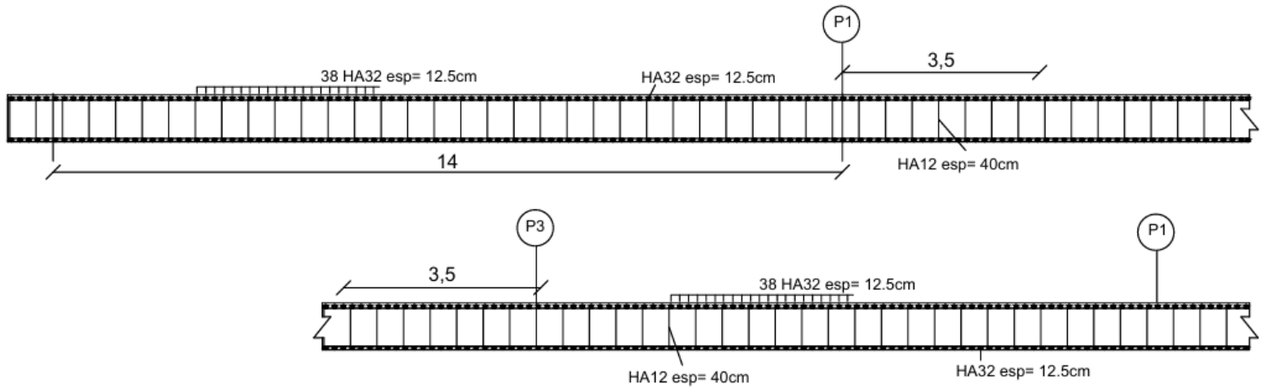
ECHS=1/ 200
ECHZ=1/ 200
PC = 313.0
LICENCE : 3958



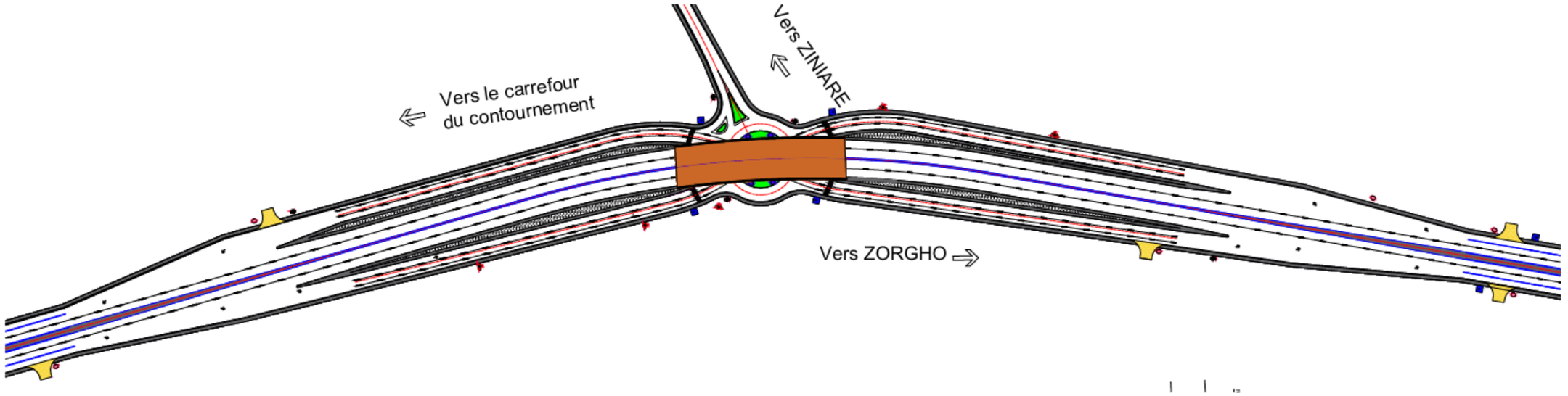
| | | |



2iE Institut International d'Ingénierie	AGEIM Ingénieurs Conseils AGEIM -IC Ouagadougou Tel:(+226)25369198/25363403	Etude technique,conception d'un carrefour denivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4: cas du carrefour à l'intersection RN4–RD40 sur le tronçonPK20+487 au PK22+547 (2.1km) à Boutenga, au	Plan de ferraillage du tablier Coupe transversale	Dessiné par OUAGONDA Dany F Format A3 Date 16/06/2026 Echelle 1/100 et 1/1000



2iE Institut International d'Ingénierie	AGEIM Ingénieurs Conseils	AGEIM -IC Ouagadougou Tel:(+226)25369198/25363403	Etude technique,conception d'un carrefour denivelé dans le cadre du projet d'élargissement et de modernisation de la RN4: cas du carrefour à l'intersection RN4–RD40 sur le tronçonPK20+487 au PK22+547 (2,1km) à Boutenga, au	Plan de ferrallaige dutablier Coupe transversale	Dessiné par OUAGONDA Dany F Format A3 Date 16/06/2026 Echelle 1/100 et 1/1000


Vers ZINIARE
Vers le carrefour
du contournement
Vers ZORGHO