



**ÉTUDE TECHNIQUE DETAILLÉE DES TRAVAUX
D'ÉLARGISSEMENT DE LA RN4 : CAS DES VOIES DONNANT
ACCÈS AU NOUVEAU PEAGE ET À L'UNIVERSITÉ THOMAS
SANKARA SUR UN LINEAIRE TOTAL DE 9,168 KM À
OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO**

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

SPECIALITE GENIE CIVIL- BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 20 Janvier 2026 par

Odilon Juda Léonce PENZENI (20170526)

Directeur de mémoire : Issa **MADOUGOU**, Enseignant au département sciences et techniques de l'ingénieur à 2iE

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

Structure (s) d'accueil du stage : **AGEIM-IC**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Mamadou **DIOP**

Membres et correcteurs : Dr Joseph **WETHE**

M. Hiassou **NOUHOUN SALOU**

Promotion [2025/2026]

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

- *À l'Eternel le Dieu tout puissant, pour ses grâces et ses bénédictions tout au long de mon parcours académique ;*
- *À mon regretté père **Louis Jacob PENZENI**, en témoignage de ma profonde gratitude pour tous les efforts inlassables qu'il a consentis afin d'assurer le financement de mes études et de soutenir, avec constance et abnégation, mon parcours académique. Repose en paix auprès de Dieu ;*
- *À ma famille, pour leur soutien et leur amour inconditionné.*

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce rapport n'aurait pas été possible sans l'appui précieux de nombreuses personnes. Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à toutes celles et ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail. Ainsi, nous adressons nos sincères remerciements à :

- **M. Tiraogo Herve OUEDRAOGO**, Directeur Général du cabinet **AGEIM Ingénieurs-Conseils**, pour l'opportunité qu'il nous a offerte de réaliser notre stage au sein de son entreprise ;
- **M. Arouna YONABA** notre maître de stage, pour son accompagnement constant, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de cette étude ;
- **M. MADOUGOU Issa**, notre Directeur de mémoire, pour son approche pédagogique, son temps mis à notre disponibilité durant la rédaction de notre mémoire malgré ses multiples occupations ;
- **L'ensemble du personnel de AGEIM Ingénieurs-Conseils**, pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité, ainsi que pour avoir mis à notre disposition un environnement de travail convivial et propice à la réalisation de ce rapport ;
- **L'ensemble du corps enseignant de 2iE**, pour leur engagement, la richesse des enseignements dispensés et leur accompagnement constant durant mon parcours ;

Ma reconnaissance s'adresse également à **ma famille et à mes proches**, dont le soutien indéfectible, les encouragements et la patience ont été essentiels tout au long de cette aventure ;

Enfin, notre reconnaissance s'adresse à toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à parfaire ce travail. Qu'ils trouvent dans ces lignes l'expression sincère de notre profonde gratitude.

RESUME

Face à la congestion croissante de la sortie Est de Ouagadougou et aux enjeux de sécurité routière, le Gouvernement a engagé un vaste programme de modernisation du réseau routier national. Cette étude est un Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur l'aménagement et le bitumage de la Route Nationale n°4 (RN4), section intersection RD152-intersection RD40 y compris la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA. L'objectif est de fluidifier le trafic, améliorer la sécurité et intégrer des ouvrages de drainage adaptés, tout en maîtrisant les coûts et les impacts environnementaux et sociaux.

La conception géométrique a été réalisée selon les normes nationales de classification des routes (catégories R et U). Le dimensionnement de la chaussée s'est appuyé sur des études de trafic, de portance des sols et de durabilité des matériaux.

Les résultats montrent un tracé de 9,168 km, dont 6,299 km de route nationale et 2,868 km de voirie urbaine. La chaussée est conçue en 2x2 voies (catégorie R60 et U60). La structure de la chaussée de la RN4 est composée d'une couche de roulement en béton bitumineux de 5 cm, d'une couche de base en grave bitume de 10 cm, d'une couche de fondation en grave naturelle améliorée au ciment de 20 cm, ainsi que d'une couche de forme en graveleux latéritique naturel de 20 cm. En ce qui concerne la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA, elle est constituée d'une couche de roulement en béton bitumineux de 5 cm, d'une couche de base en grave naturelle améliorée au ciment de 20 cm, et d'une couche de fondation en graveleux latéritique naturel de 25 cm.

Des dalots et des caniveaux sont prévus pour l'assainissement. Le coût global du projet est évalué à seize milliards neuf cent vingt-neuf millions sept cent quatre-vingt-quatre mille sept cent soixante-dix-neuf francs CFA (**16 929 784 779) Francs CFA**, toutes taxes comprises (TTC).

L'apport de l'étude est majeur. Elle propose une solution technique réaliste pour décongestionner la circulation, renforcer la sécurité routière et améliorer l'accessibilité à l'Université. Elle contribue au développement urbain et à la durabilité des infrastructures.

Mots clés

- ❖ Route Nationale RN4
- ❖ Voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA
- ❖ Elargissement ;
- ❖ Modernisation ;
- ❖ Environnement.

ABSTRACT

Faced with growing congestion at the eastern exit of Ouagadougou and road safety issues, the government has launched a major program to modernize the national road network. This study is a Detailed Preliminary Design (DPD) for the development and asphaltting of National Road No. 4 (RN4), section RD152 intersection-RD40 intersection, including the access road to Thomas SANKARA University. The objective is to improve traffic flow, enhance safety, and integrate appropriate drainage structures, while controlling costs and environmental and social impacts.

The geometric design was carried out in accordance with national road classification standards (categories R and U). The dimensions of the roadway were based on studies of traffic, soil bearing capacity, and material durability.

The results show a route of 9.168 km, including 6.299 km of national road and 2.868 km of urban road. The roadway is designed as a 2x2 lane road (category R60 and U60). The structure of the RN4 roadway consists of a 5 cm asphalt concrete wearing course, a 10 cm bituminous gravel base course, a 20 cm cement-treated natural gravel subbase, and a 20 cm natural lateritic gravel subgrade. The access road to Thomas SANKARA University consists of a 5 cm asphalt concrete wearing course, a 20 cm cement-treated natural gravel base course, and a 25 cm natural lateritic gravel subbase.

Culverts and gutters are planned for drainage. The total cost of the project is estimated at sixteen billion nine hundred twenty-nine million seven hundred eighty-four thousand seven hundred seventy-nine CFA francs (16,929,784,779) CFA francs, including all taxes (TTC).

The study makes a major contribution. It proposes a realistic technical solution to ease traffic congestion, improve road safety, and enhance accessibility to the University. It contributes to urban development and infrastructure sustainability.

Keywords

- ❖ RN4 National Highway
- ❖ Access road to Thomas SANKARA University
- ❖ Widening;
- ❖ Modernization;
- ❖ Environment.

I.1 Table des matières

DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME	iv
ABSTRACT.....	v
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	2
I. Présentation de la structure d'accueil	2
1. Historique de la structure d'accueil	2
2. Domaine d'intervention et missions de l'entreprise	2
3. Organisation d'AGEIM-ingénieurs conseils	3
II. Présentation du projet	4
1. Contexte et justification du projet.....	4
2. Carte de la situation géographique du projet	6
3. Analyse et présentation du fond topographique	6
4. Conclusion partielle	7
CHAPITRE II : CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	8
I. Conception géométrique de la route	8
1. Normes et choix de la catégorie de route.....	8
2. Caractéristiques géométriques de la route	9
2.1 Tracé en Plan	9
2.2 Profil en long	10
2.3 Profil en travers.....	10
2.3.1 Le profil en travers type	11
2.3.2 Le profil en travers courant.....	11
II. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE	11
1. Etudes techniques de base.....	11

2.	Etudes géotechniques	11
2.1	Détermination de l'indice de portance du sol support	13
3.	Dimensionnement de la structure de chaussée pour le tronçon RN4(6,299 km)	14
3.1	Etudes du trafic	14
3.2	Dimensionnement des épaisseurs des couches de chaussée	15
3.2.1	Méthode de dimensionnement	15
3.2.2	Proposition des variantes de chaussée	16
3.3	Vérification de la structure de chaussée par la méthode LCPC.....	16
3.3.1	Théorie de vérification des contraintes et déformations	16
3.3.2	Détermination du module statique	17
4.	Dimensionnement de la structure de chaussée pour le tronçon de la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA (2,868 km).....	18
5.	Conclusion partielle	20
CHAPITRE III : ETUDE HYDROLOGIQUE, HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES OUVRAGES		21
I.	ETUDE HYDROLOGIQUE	21
1.	Période de retour et pluviométrie annuelle et journalière	21
1.1	Période de retour	21
1.2	Détermination de la pluviométrie journalière et annuelle.....	21
2.	Identification et délimitation des Bassins Versants	22
2.1	Caractéristiques des Bassins Versants	22
3.	Méthodologie d'estimation des débits	24
3.1	Méthode ORSTOM.....	24
3.2	Méthode CIEH	25
3.3	Méthode Caquot.....	25
4.	Résultats d'estimation des débits de crues.....	26
4.1	Débits de crues par la méthode ORSTOM	26
4.2	Débits de crues par la méthode CIEH.....	27
5.	Débits retenus pour nos grands bassins versants	27
6.	Débits de crues par la méthode Caquot	28
II.	ETUDES HYDRAULIQUES.....	28
1.	Ouvrages longitudinaux	29

2.	Dimensionnement structurel des ouvrages hydrauliques.....	31
2.1	Hypothèse des calculs	31
2.1.1	Règlements et instructions	31
2.2	Caractéristiques des matériaux	32
2.2.1	Béton	32
2.2.2	Remblai	32
3.	Dimensionnement du dalot 4x400x200	33
3.1	Méthode de calcul	33
3.1.1	Principe de calcul général	33
3.1.2	Principe de calcul des sollicitations	33
3.2	Evaluation des charges appliquées à l'ouvrage	33
3.2.1	Charges permanentes	33
3.2.2	Charges d'exploitation	34
3.2.3	Calcul des sollicitations	34
3.2.4	Résultats des calculs des sections d'acier	36
4.	Dimensionnement manuel des caniveaux.....	36
4.1	Normes et règlement de calcul.....	36
4.2	Caractéristiques des matériaux	37
4.2.1	Béton.....	37
4.2.2	Acier.....	37
4.2.3	Remblai	37
4.3	Définition des charges appliquées	37
4.4	Calcul des sollicitations	38
4.5	Résultats des calculs des sections d'aciers	39
4.6	Le ferrailage	39
5.	Conclusion partielle	40
CHAPITRE IV : SIGNALISATION, SECURITE ROUTIÈRE ET ECLAIRAGE ...		41
1.	La Signalisation Routière.....	41
1.1	La Signalisation Temporaire.....	41
1.2	La Signalisation Définitive	42
2.	Typologie de la Signalisation	42
2.1	La Signalisation Verticale.....	42

2.2	La Signalisation Horizontale.....	43
3.	Les Dispositifs de Sécurité Complémentaires	44
3.1	L'Éclairage Public Routier	44
4.	Autres Équipements de Sécurité	45
5.	Conclusion partielle	45
CHAPITRE V : APERÇU ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL		46
1.	Présentation du cadre institutionnel, législatif et réglementaire	46
2.	Politique environnementale et sociale du Burkina Faso	46
3.	Cadre législatif et réglementaire du Burkina Faso.....	47
4.	Définitions des principaux mots clés	48
4.1	Environnement.....	48
4.2	Evaluation environnementale.....	48
4.3	Impact positif environnemental	48
4.4	Impact négatif environnemental	48
4.5	Risque environnemental	48
4.6	Composante environnementale.....	48
5.	Plan des gestions d'environnementale et sociale	48
6.	Les principaux impacts potentiels et risques du projet	49
7.	Principales Mesures Environnementales Et Sociales	52
8.	Recommandation	55
9.	Conclusion partielle	55
CHAPITRE VI : AVANT METRE ET ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET		56
1.	Avant-métré	56
2.	Devis estimatif	56
CONCLUSION GENERALE.....		58
RECOMMANDATIONS		59
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE		60
ANNEXE		62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs des rayons du tracé en plan	9
Tableau 2 : Valeurs des rayons du profil en long	10
Tableau 3 : Données géotechniques de notre tronçon (Source Laboratoire LNBTP)	12
Tableau 4 : Données géotechniques de notre tronçon par linéaire	13
Tableau 5 : Classe de portance des sols dans les pays tropicaux selon CEBTP	13
Tableau 6 : Tableau de classification du trafic	14
Tableau 7 : Les données d'entrées pour le dimensionnement de la chaussée	15
Tableau 8 : Application et résultat du calcul de NPL et NE	15
Tableau 9 : Les trois variantes retenues [3]	16
Tableau 10 : Classe de plateforme suivant la méthode LCPC	17
Tableau 11 : Valeur du Coefficient de poisson	18
Tableau 12 : Les données d'entrées pour le dimensionnement de la chaussée	18
Tableau 13 : Application et résultat du calcul de NPL et NE	19
Tableau 14 : Les trois variantes retenues.....	19
Tableau 15 : Caractéristiques des bassins versants	23
Tableau 16 : Configuration des sous-bassins versants	26
Tableau 17 : Résultats des débits par la méthode ORSTOM	27
Tableau 18 : Résultats des débits par la méthode CIEH.....	27
Tableau 19 : Débits retenus	27
Tableau 20 : Résultats des débits par la méthode Caquot	28
Tableau 21: Résultats des sections des dalots retenues.	29
Tableau 22 : Résultats des sections des caniveaux retenues	31
Tableau 23 : Récapitulatif des charges permanentes.....	34
Tableau 24 : Récapitulatif des surcharges routières	34
Tableau 25 : Récapitulatif des sollicitations.....	35
Tableau 26 : Récapitulatif des sections d'acier du dalot 4X400X200	36
Tableau 27 : Récapitulatif des sollicitations de caniveau 150X150	38
Tableau 28 : Récapitulatif des sollicitations de caniveau 150X120	38
Tableau 29 : Récapitulatif des sollicitations de caniveau 100X100	39
Tableau 30 : Ferrailage des caniveaux	39
Tableau 31: Impacts potentiels du projet.....	49
Tableau 32 : Mesures Environnementales et Sociales.....	52
Tableau 33 : Récapitulatif du devis estimatif du projet.....	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de AGEIM Ingénieurs Conseils	4
Figure 2: Carte de localisation de la zone du projet	6
Figure 3: Représentation du fond topographique	7
Figure 4: Tracé en plan de l'axe	9
Figure 5: Tracé du profil en long	10
Figure 6: Structure de chaussée définitive du projet (RN4)	18
Figure 7: Structure de chaussée définitive du projet (Voie d'accès Université Thomas Sankara)	20
Figure 8: Délimitation des bassins versants	23
Figure 9: Délimitation des sous bassins versants	23
Figure 10: Coupe transversale du dalot	32
Figure 11: Application des charges permanentes sur l'ouvrage	33
Figure 12: Déviation temporaire / Signal de fin de chantier / Cône de signalisation / Route barrée / Attention travaux	41
Figure 13: Les formes et couleurs des panneaux de signalisation verticale	43
Figure 14: Les formes et couleurs des panneaux de signalisation horizontale	44
Figure 15: Répartition des composantes financières du projet	57

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2IE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AGEIM-IC : Agence d'Etudes d'Ingénierie et Maitrise d'œuvre-Ingénieur Conseil

ARP : Aménagement des Routes Principales

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

BB : Béton Bitumineux

BCEOM : Bureau d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer

BV : Bassin versant

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

CBR : California Bearing Ratio

CEBTP : Centre Expérimental des recherches et des études du Bâtiment et Travaux Publics

CIEH : Comité Inter Etats d'Etudes Hydrauliques

CRT : Coefficient de Répartition Transversale

EIES : Etude d'Impact Environnemental et social

ELS : Etats Limites de Service

ELU : Etats Limites Ultime

FCFA : Franc des Colonies Françaises d'Afrique

GB : Grave Bitume

GLA : Graveleux Latéritique amélioré au Concassé o/d

GLC : Graveleux Latéritique amélioré au Ciment

GLN : Graveleux Latéritique Naturel

GNT : Grave Non Traité

HA : Haute Adhérence

HT : Hors Taxe

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et chaussées

Mser : Moment fléchissant à l'ELS

Mu : Moment fléchissant à l'ELU

NE : Nombre d'essieu Equivalent

NPL : Nombre de Poids Lourds

OPM : Optimum Proctor Modifié

ORSTOM : Office des recherches Scientifiques et Techniques d'Outre-Mer

PK : Point Kilométrique

PL : Poids Lourd

RN : Route National

SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

TDR : Termes de Reference

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel

TN : Terrain Naturel

TVA : Taxe sur Valeur Ajoutée

UTM : Transverse Universelle de Mercator

INTRODUCTION GENERALE

La croissance rapide et non maîtrisée des villes africaines, notamment celle de Ouagadougou, engendre de nombreux défis en matière d'aménagement urbain, de mobilité et d'infrastructures. L'étalement urbain observé ces dernières années dans la capitale burkinabè a accentué les problèmes de congestion routière, de sécurité et d'accessibilité, en particulier dans les zones périphériques. Le projet global fait 21,3 km mais l'étude porte sur 9,168 km (PK12+000 à PK18+299 et la voie à l'Université Thomas SANKARA (2,868 km)). Dans ce contexte, une question centrale se pose : Comment concevoir et dimensionner l'élargissement de la Route Nationale n°4 (RN4) et de la voie d'accès à l'Université Thomas Sankara, de manière à garantir la fluidité du trafic, la sécurité des usagers et la durabilité des infrastructures, tout en intégrant les contraintes géotechniques, hydrologiques, environnementales et économiques propres au contexte périurbain sahélien de Ouagadougou ?

Pour répondre à ces enjeux, l'objectif visé par cette étude est de proposer une solution technique détaillée pour l'élargissement, le dimensionnement de la chaussée ainsi que des ouvrages de drainage associés, en intégrant les contraintes de durabilité, de sécurité, de coûts et d'impacts environnementaux et sociaux.

Pour y parvenir, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis : Proposer une nouvelle conception géométrique et le dimensionnement de la chaussée, afin d'assurer sa conformité aux normes techniques et sa capacité à supporter le trafic prévu, concevoir et dimensionner des nouveaux ouvrages de drainage (dalots et caniveaux etc.) pour garantir une gestion efficace des eaux pluviales et réduire les risques d'inondation et d'érosion, estimer le coût global du projet sur le tronçon concerné, en tenant compte des travaux de chaussée, des dalots et des aménagements annexes et enfin 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 adoptée repose sur la collecte et l'analyse des données, la conception des solutions techniques, l'évaluation des impacts environnementaux et sociaux, ainsi que l'estimation des coûts. Le document final s'articulera autour de six chapitres principaux : la présentation de la structure d'accueil et du projet, la conception géométrique de la route et dimensionnement de la chaussée, l'étude hydrologique, hydraulique et dimensionnement structurel des ouvrages, signalisation sécurité routière et éclairage, l'aperçu environnemental et social et avant métré et estimation financière du projet. Les résultats attendus consistent à élaborer une nouvelle conception géométrique ainsi qu'un dimensionnement optimisé de la chaussée, répondant aux exigences de sécurité des usagers et de fluidité du trafic. Par ailleurs, une estimation rigoureuse des coûts et des impacts environnementaux sera réalisée afin d'assurer la viabilité technique, économique et écologique du projet. L'ensemble de ces éléments constituera une base technique et décisionnelle solide pour la production des plans d'exécution.

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

Ce chapitre s'ouvre par la présentation de la structure AGEIM-IC, responsable des études du projet. Il se poursuit avec la description du projet d'aménagement et de bitumage de la route nationale N° 4 (RN4) et la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA, puis se conclut par l'analyse de l'état actuel de la route et la méthodologie mise en œuvre pour l'élaboration du présent rapport.

I. Présentation de la structure d'accueil

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.

2. Domaine d'intervention et missions de l'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.

3. Organisation d'AGEIM-ingénieurs conseils

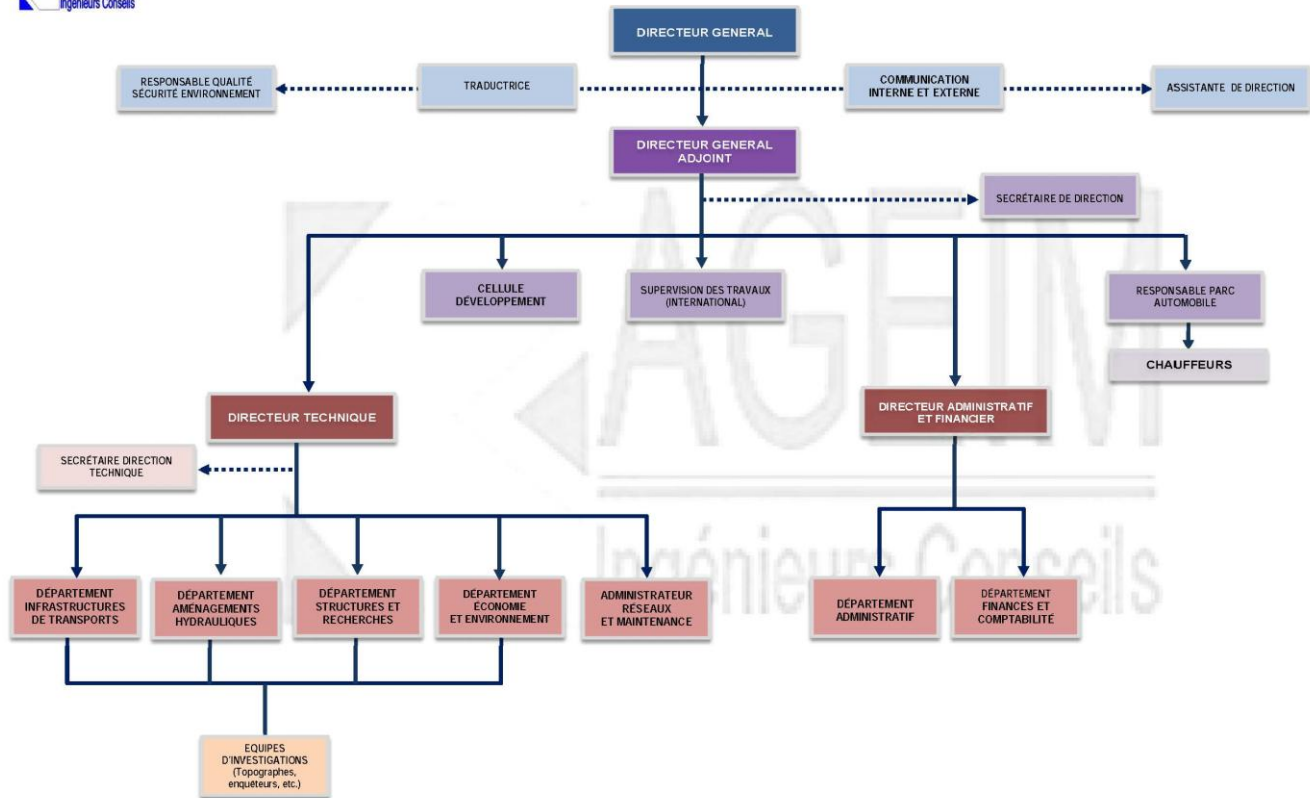
L'organigramme d'AGEIM Ingénieur Conseils met en évidence :

- ❖ Une Direction Générale : Elle comprend outre le Directeur Général, l'assistant de Direction et le Secrétariat.
 - Un Auditeur interne et contrôleur de Gestion
 - Un Responsable de la Qualité
- ❖ Une Direction de la Communication et des ressources Humaines
- ❖ Une Direction Administrative et Financière : comprennent
 - Un Département Administrative
 - Un Département Financière et Comptable
- ❖ Une Direction Technique : comprenant
 - Un Département Infrastructures de Transport
 - Un Département Aménagement Hydraulique
 - Une cellule Projet
 - Une Cellule Topographique

L'organigramme de AGEIM IC est présenté sur la Figure 1



Organigramme de AGEIM Ingénieurs Conseils



La Compétence au Service du Développement

Figure 1: Organigramme de AGEIM Ingénieurs Conseils

Source AGEIM-IC-2025

II. Présentation du projet

1. Contexte et justification du projet

La Route Nationale n°4 (RN4) constitue l'axe principal reliant Ouagadougou à l'Est du pays (notamment vers Koupéla, Fada N'Gourma et la frontière du Niger). Le tronçon étudié, d'une longueur de 21,3 km (du PK0 à l'entrée Est de Ouagadougou jusqu'au PK21,3 à l'intersection avec la voie de contournement), relie l'intersection avec la voie de contournement Sud-Est à l'intersection avec la route de Gampela.

En 2021, un comptage routier a relevé un Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) de 1094 poids lourds et 9000 véhicules légers par jour, avec un taux de croissance estimé à 6% par an (source : Etudes de trafic du Ministère des Infrastructures). À ce rythme,

le trafic doublera d'ici 12 ans, rendant la congestion insoutenable. La chaussée actuelle, d'une largeur de 7,5 mètres (une voie par sens), présente un état de dégradation avancé avec un indice de dégradation de surface (IDS) élevé (source : Ministère des Infrastructures). Le temps de parcours moyen aux heures de pointe atteint 45 minutes pour 10 km, soit une vitesse moyenne de 15 km/h.

Face à ces constats, le Gouvernement a inscrit ce projet dans le Plan d'Actions pour la Stabilisation et le Développement (PASD) avec un budget prévisionnel de 97 573 000 000 FCFA soit 115 137 000 000 FCFA TTC (source : Ministre de l'économie des Finances et du Plan).

Cet aménagement vise d'une part, à décongestionner la circulation sur cet axe routier qui enregistre un important trafic.

Ce projet a pour objectif entre autres de/d' :

- Assurer une liaison rapide et directe entre le centre-ville et les quartiers de banlieues Est de Ouagadougou (Dassasgho, Wayalghin, Bendogo, Nioko I, Saaba, Barogo, Gampela).
- Assurer une accessibilité dans de meilleures conditions de sécurité à l'Université Thomas Sankara ;
- Fluidifier la circulation et minimiser les pertes de temps engendrées par les importants embouteillages ;
- Améliorer les conditions de sécurité des usagers de la route ;
- Contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des populations ;
- Réduire les nuisances sonores et atmosphériques en améliorant la fluidité du trafic automobile.

Les travaux sont groupés en un lot unique et consistent essentiellement en :

- L'élargissement de la RN4 en 2x2 voies sur 21,3 km ;
- L'élargissement de la voie d'accès à l'Université Thomas Sankara en 2x2 voies sur 2,8 km ;
- L'aménagement et le bitumage des voiries connexes (Voies d'accès au CSPS de wayalghin, voie d'accès à l'ENAM, Voies d'accès au cimetière de Barogo, La Rue KUNDE et NAABA KURITA, Voies d'accès à la DRID-C) ;
- La construction d'un passage supérieur à l'intersection avec la voie de contournement ;
- La reconstruction d'un ouvrage d'art pour le franchissement du cours d'eau Massili ;
- La construction de deux passerelles piétonnes ;
- La construction d'ouvrages d'assainissement et de drainage (caniveaux, dalots...) ;
- La mise en place de la signalisation et des dispositifs de retenue et de sécurité.

2. Carte de la situation géographique du projet

La figure 2 présente la localisation du projet dans l'agglomération de Ouagadougou. Le tracé retenu couvre deux sections distinctes : Le tronçon n°1 de la RN4, compris entre le PK12+000 et le PK18+299, et le tronçon n°2 correspondants à la voie d'accès à l'Université Thomas Sankara, s'étendant du PK0 au PK2+868. Le projet traverse les communes de Ouagadougou et de Saaba et dessert plusieurs quartiers périphériques de la capitale, notamment Dassasgho, Wayalghin, Bendogo, Nioko I, Saaba, Barogo et Gampela.

CARTE DE LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET

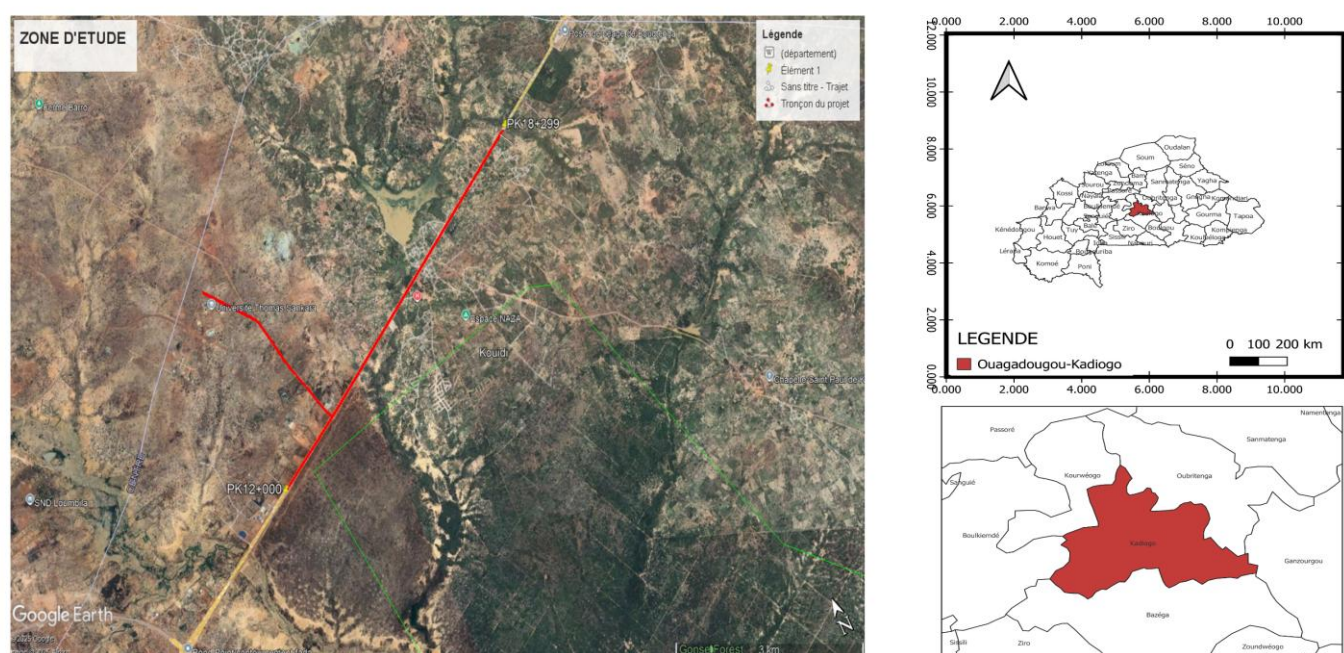


Figure 2: Carte de localisation de la zone du projet

3. Analyse et présentation du fond topographique

Le levé général effectué par l'équipe de topographes a permis de matérialiser plusieurs éléments observés sur le terrain, à proximité immédiate de la route, et qui s'avèrent essentiels pour un dimensionnement adéquat du tronçon. Il s'agit notamment des altitudes, des limites d'emprise, des ouvrages existants, des réseaux apparents, ainsi que des obstacles naturels ou artificiels. Il s'agit :

- Des bornes de lotissements ;
- La chaussée existante ;
- Les talus ;

- Les sites d'emprunts à proximité de la route ;
- Des arbres ;
- Des panneaux publicitaires ;
- Des Concessions ;
- Des caniveaux existants ;
- Des limites et seuil d'entrée des concessions ;
- Des ouvrages de franchissements existants ;
- Des panneaux de signalisations existants ;
- Des fontaines publiques.

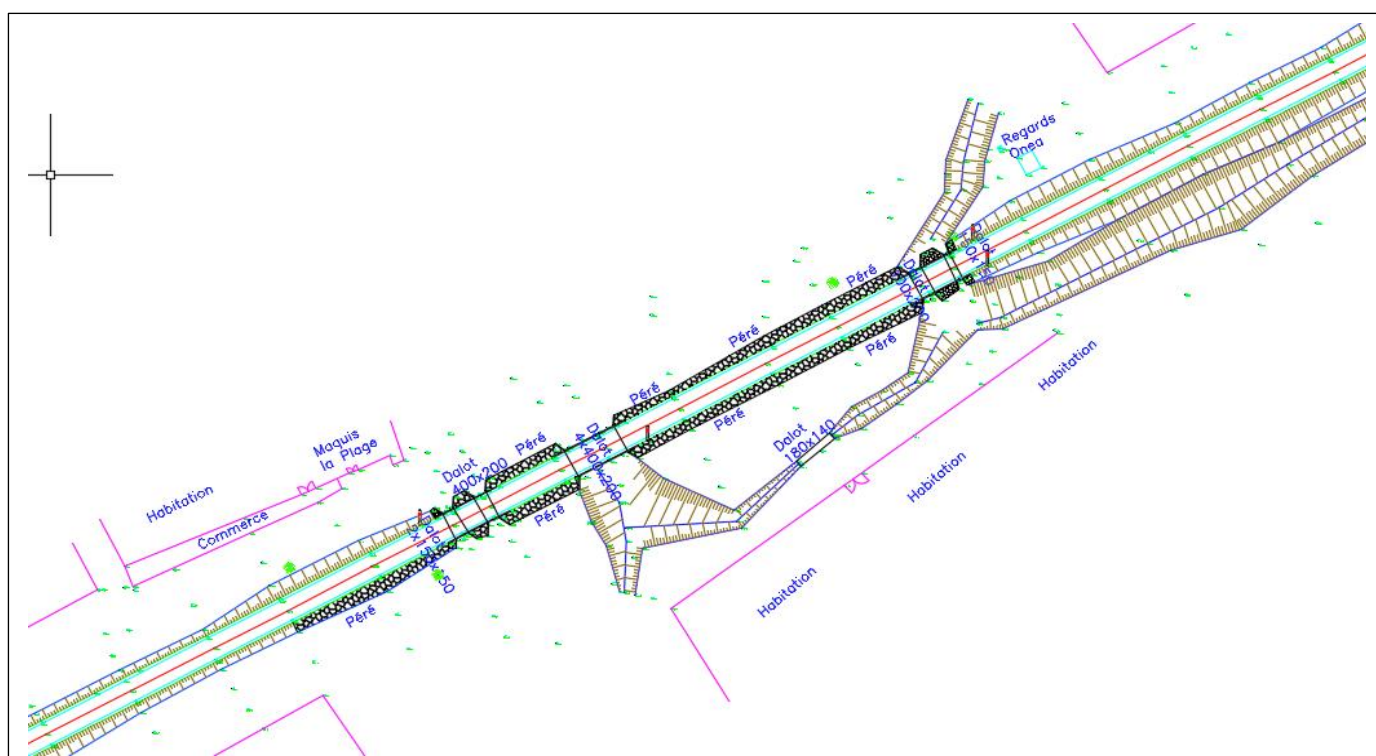


Figure 3: Représentation du fond topographique

(Source AGEIM IC 2021)

4. Conclusion partielle

Ce chapitre a présenté en détail la structure d'accueil AGEIM-IC. Il a mis en évidence ses domaines d'intervention, ses objectifs et ses missions. Il a également permis de caractériser le projet d'élargissement de la RN4. Le tronçon étudié, compris entre le PK12+000 et le PK18+299 pour la RN4 et entre le PK0 et le PK2+868 pour la voie d'accès à l'Université Thomas Sankara, soit un linéaire total de 9,168 km, présente plusieurs contraintes. On note une congestion croissante liée à un trafic journalier de plus de 1 094 poids lourds et environ 9 000 véhicules légers, avec une croissance annuelle estimée à 6 %. La chaussée actuelle, limitée à 7,5 m avec une seule voie par sens, est fortement dégradée. L'indice de dégradation de surface est critique. Le temps de parcours aux heures de pointe atteint en moyenne 45 minutes pour 10 km, soit une vitesse de 15 km/h. Ces insuffisances compromettent la fluidité du trafic, la sécurité

des usagers et la durabilité des infrastructures. Le chapitre suivant portera sur les aspects liés à la conception géométrique et dimensionnement de la chaussée, éléments clés pour garantir la performance et la durabilité de l'infrastructure projetée.

CHAPITRE II : CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

La conception routière repose sur deux composantes fondamentales : la conception géométrique et le dimensionnement de la chaussée. La première a pour objectif de définir le tracé et les caractéristiques géométriques de la route, de manière à assurer la sécurité des usagers, le confort de conduite ainsi que la fluidité du trafic. Le dimensionnement, quant à lui, consiste à déterminer la composition et l'épaisseur des différentes couches de la chaussée, en tenant compte du trafic prévisionnel et des conditions géotechniques locales, afin de garantir la pérennité et la performance de l'infrastructure.

I. Conception géométrique de la route

La conception géométrique constitue une étape déterminante dans le processus de construction routière, car elle permet de définir les dimensions optimales de la chaussée afin d'assurer la sécurité, le confort et la fluidité de la circulation. Elle repose principalement sur la vitesse de référence adoptée ainsi que sur le contexte environnemental du projet (zone urbaine, rurale, etc.). Cette phase permet notamment de définir le tracé de l'axe en plan (vue horizontale), le profil en long (vue latérale) et le profil en travers (coupe transversale), éléments essentiels à la configuration spatiale de l'infrastructure.

1. Normes et choix de la catégorie de route

La réalisation d'un projet routier nécessite l'application rigoureuse de règles techniques permettant de définir la forme, les dimensions et le tracé de la chaussée. Dans le cadre du présent projet, la norme retenue est celle de l'Aménagement des Routes Principales (ARP), publiée en août 1994 par le Centre de la Sécurité et des Techniques Routières (CSTR), et la norme ICTAVRU pour les voiries urbaines, ce qui correspond au contexte du projet étudié.

Le choix de la catégorie de route repose sur plusieurs critères, notamment la fonction de l'axe, son type, la vitesse de projet, le tracé envisagé ainsi que les contraintes budgétaires. Selon la classification définie dans[1], on distingue plusieurs types de routes :

- **Routes de type L** : destinées aux grandes liaisons, elles correspondent aux autoroutes et assurent un haut niveau de service et de sécurité ;
- **Routes de type T** : conçues pour faciliter l'écoulement du trafic sur des distances moyennes à longues, elles sont généralement constituées d'une seule chaussée et sont qualifiées de « routes express » ;
- **Routes de type R** : représentant la majorité du réseau des voies principales en milieu rural, elles sont polyvalentes et regroupent les routes interurbaines et les artères principales.
- **Routes de type U** : Ce sont des voies dont les objectifs consistent en relations

fonctionnelles avec un site très urbanisé ou à devenir très urbanisé.

Le choix du type et de la catégorie de la route repose sur la fonction assignée à l'infrastructure ainsi que sur le niveau de performance attendu en matière de sécurité, de confort et de fluidité du trafic. Dans le cadre du présent projet, ces paramètres ont été définis conformément aux prescriptions de la norme **ARP (Aménagement des Routes Principales)**. Ainsi, une route de **type R**, de **catégorie R60** et une **voirie de type U**, de **catégorie U60** ont été retenue afin de garantir une circulation régulière et confortable, avec une **vitesse de référence de 60 km/h** (considérée comme optimale pour une voie urbaine de desserte), répondant aux exigences de sécurité et d'accessibilité pour les usagers.

2. Caractéristiques géométriques de la route

L'étude d'un projet routier débute par la définition de ses caractéristiques géométriques, en particulier le tracé de l'axe en plan, le profil en long et le profil en travers, éléments fondamentaux pour assurer la cohérence et la fonctionnalité de l'infrastructure.

2.1 Tracé en Plan

Le tracé en plan d'une route correspond à la représentation de son axe horizontal sur une carte. Il définit la géométrie de l'infrastructure vue de dessus et comprend principalement :

- **Les alignements droits** (sections rectilignes)
- **Les courbes** (sections circulaires ou transitionnelles)
- **Les rayons de courbure** qui déterminent la géométrie et le confort de conduite

Concernant le tracé en plan du projet, celui-ci comporte **20 alignements**, dont **17 courbes**. Quatre rayons de courbure ont été utilisés : **5000 m, 1000 m, 450 m et 120 m**.

Tableau 1 : Valeurs des rayons du tracé en plan

Catégorie de routes	R60	U60
Rayon minimal R_m (m)	120	120
Rayon non déversé R_{nd} (m)	600	200
Rayon au dévers minimal R_{dm} (m)	450	120

Source : Aménagement des routes principales (ARP_1994 SETRA)

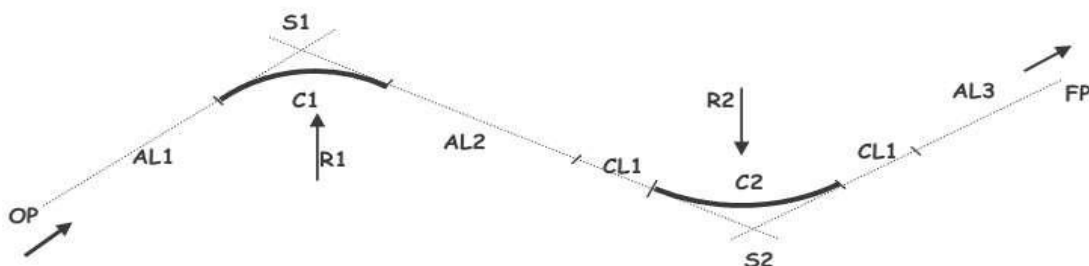


Figure 4: Tracé en plan de l'axe

OP : origine du projet **FP** : Fin projet **AL** : alignement droit **C** : Courbe circulaire
CL : clothoïde **R** : rayon de courbure **S** : sommet des alignements

2.2 Profil en long

Le profil en long correspond à la représentation en coupe longitudinale de la route suivant son axe. Il met en évidence l'alternance de rampes, de pentes descendantes et de sections horizontales, reliées entre elles par des raccordements paraboliques assurant une transition progressive entre les différentes déclivités. Les principaux paramètres géométriques relatifs au profil en long, tels que définis par la norme ARP (Aménagement des Routes Principales), sont présentés en **annexe I**.

Tableau 2 : Valeurs des rayons du profil en long

Catégorie de routes	R60	U60
Déclivité maximale	7%	6%
Rayon minimal en angle saillant (m)	1500	1500
Rayon minimal en angle rentrant (m)	1500	800

Source : Aménagement des routes principales (ARP_1994 SETRA)

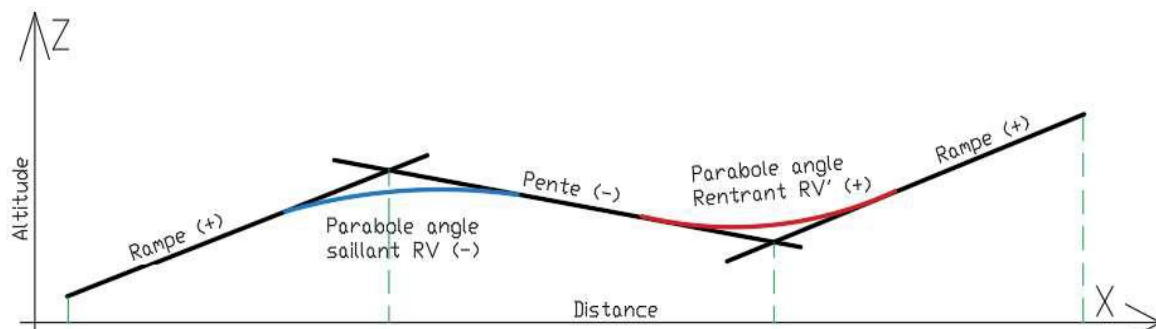


Figure 5: Tracé du profil en long

2.3 Profil en travers

Le profil en travers correspond à une coupe perpendiculaire à l'axe longitudinal de la route. Il permet de représenter la structure de la chaussée à travers la superposition des différentes couches de matériaux, tout en définissant la géométrie latérale de la voie (largeur, dévers, accotements, fossés, etc.). Cette représentation est essentielle pour concevoir une infrastructure conforme aux exigences de stabilité, de drainage et de confort de circulation. Les caractéristiques détaillées du profil en travers, telles que définies par la norme **ARP**, sont présentées en **annexe I**.

On distingue généralement deux types de profils en travers dans la conception routière :

- Le profil en travers type ;
- Le profil en travers courant.

2.2.1 Le profil en travers type

Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou l'aménagement de routes existantes. Il regroupe l'ensemble des éléments constitutifs de la chaussée notamment les largeurs de voies, accotements, talus, fossés et dispositifs de drainage et s'applique à toutes les configurations possibles, qu'il s'agisse de sections en remblai, en déblai, en agglomération ou en rase campagne. Ce document de référence permet de garantir la cohérence géométrique du projet et son adéquation aux normes techniques en vigueur.

2.3.2 Le profil en travers courant

Le profil en travers courant correspond à l'application du profil en travers type sur le terrain naturel, à des intervalles réguliers définis généralement appelés équidistances ou en fonction des profils topographiques établis. Dans le cadre du présent projet, ces profils sont levés tous les **25 mètres**, avec une attention particulière portée aux zones sensibles telles que les ouvrages d'art et les points de tangence. L'adaptation du profil type aux conditions réelles du terrain, tout en respectant les altitudes projetées, permet d'effectuer le **calcul de l'avant-métré des terrassements** (déblais et remblais). Les résultats détaillés des profils en travers courant sont présentés en **annexe I**.

II. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE

1. Etudes techniques de base

La mise en œuvre d'un projet routier s'appuie sur un ensemble d'études préalables indispensables à sa conception et à sa réussite. Parmi celles-ci figurent notamment les études géotechniques, les études topographiques et les études de trafic, qui permettent de garantir la stabilité, la fonctionnalité et la durabilité de l'infrastructure.

2. Etudes géotechniques

Les études géotechniques jouent un rôle fondamental dans la conception des projets routiers. Elles permettent de caractériser à la fois les propriétés mécaniques du sol support et celles des matériaux d'emprunt destinés à la construction des remblais. Ces investigations visent à garantir la stabilité et la durabilité de la structure de la chaussée.

Pour ce faire, plusieurs **essais de laboratoire** sont effectués, parmi lesquels :

- L'analyse granulométrique par tamisage, qui permet de déterminer la distribution des tailles de grains constituant le sol ;
- La détermination des limites d'Atterberg, utilisée pour identifier la nature du sol et évaluer son état de consistance à partir de l'indice correspondant ;
- L'essai Proctor modifié, qui sert à déterminer la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale pour un niveau d'énergie de compactage donné ;

- L'essai CBR (California Bearing Ratio), qui permet d'évaluer la portance du sol compacté, paramètre essentiel pour le dimensionnement de la chaussée.

Tableau 3 : Données géotechniques de notre tronçon (Source Laboratoire LNBTP)

Echantillon				Portance CBR (%OPM)		Classe de portance	
Sondage	Couche	Position	PK	95	98		
109	0/100	Gauche	12+200	16	31	S4	Bonne
110	0/100	Droite	12+300	23	31	S4	
112	0/100	Droite	12+500	22	32	S4	
113	20/100	Gauche	12+600	2	3	S1	Très faible
114	0/100	Droite	12+700	41	60	S5	Bonne
116	0/65	Droite	12+900	21	28	S4	
118	20/70	Droite	13+100	62	79	S5	
112	0/100	Droite	13+500	34	54	S5	
123	0/100	Gauche	13+600	5	7	S2	Faible
124	0/100	Droite	13+700	22	33	S4	Bonne
126	20/100	Droite	13+900	18	26	S4	
128	0/80	Gauche	14+100	5	8	S1	Très faible
129	30/70	Droite	14+200	44	63	S5	Bonne
131	15/45	Droite	14+400	35	55	S5	
133	0/100	Droite	14+600	4	6	S1	Très faible
135	0/100	Droite	14+800	38	60	S5	Bonne
139	0/100	Gauche	15+200	37	55	S5	
142	0/100	Droite	15+500	11	17	S3	Moyenne
143	25/100	Gauche	15+600	24	33	S5	Bonne
145	0/100	Gauche	15+800	10	12	S2	Faible
149	20/100	Droite	16+200	4	5	S1	Très faible
152	0/50	Gauche	16+500	14	23	S3	Moyenne
154	0/100	Gauche	16+700	20	31	S4	Bonne
155	30/100	Droite	16+800	6	9	S2	Faible
158	30/100	Droite	17+100	10	13	S2	
161	20/100	Gauche	17+400	69	95	S3	Moyenne
163	0/100	Gauche	17+600	9	12	S2	Faible
165	0/100	Gauche	17+800	2	3	S1	Très faible
166	0/100	Droite	17+900	4	5	S1	
168	0/100	Gauche	18+100	4	6	S1	
171	0/100	Droite	18+400	14	21	S4	Bonne
173	0/100	Droite	18+600	7	10	S2	Faible
173	20/40	Gauche	18+700	34	44	S5	Bonne

Tableau 4 : Données géotechniques de notre tronçon par linéaire

Linéaire	Classe de portance	Observation(s)
1,1 km	S1	Un sol très faible
1,1km	S2	Un sol faible
1km	S3	Un sol moyen
3,5km	S4/S5	Un bon sol

L'étude du linéaire a permis de distinguer plusieurs sections de route en fonction de la portance des sols rencontrés :

- Sur un linéaire de 1,1 km, la classe de portance est S1, ce qui traduit la présence d'un sol très faible, nécessitant un traitement (substitution ou purge) afin d'atteindre le niveau de portance S4
- Un autre tronçon de 1,1 km appartient à la classe S2, caractérisant un sol faible qui demandera également un traitement (substitution ou purge) adapté.
- Sur 1 km de linéaire, le sol est classé S3, correspondant à une portance faible à moyenne pouvant supporter. Il sera amélioré ou traité.
- Enfin, le tronçon le plus important, de 3,5 km, est classé S4/S5, indiquant la présence d'un sol de bonne qualité, offrant de meilleures conditions pour la construction routière.

Les sols S4/S5 présentent une portance élevée, Cela réduit le risque de déformations et améliore la durabilité de la chaussée.

Pour le dimensionnement de la chaussée, on retient la classe de portance S4 offrant une résistance satisfaisante aux charges de trafic. Les tronçons de classe de portance inférieur à S4 seront purgés et substituer par 50 cm de matériaux de qualité S4.

2.1 Détermination de l'indice de portance du sol support

L'évaluation de l'indice CBR (California Bearing Ratio) repose sur des essais géotechniques spécifiques, appelés essais CBR, permettant de mesurer la portance du sol. Selon les investigations réalisées sur le tronçon concerné, le sol support a été classé en catégorie S4, ce qui correspond à une plage d'indice CBR comprise entre 15 % et 30 % pour la plateforme. Cette classification permet d'orienter le dimensionnement des couches de chaussée en fonction de la capacité portante du sol en place.

La moyenne des résultats géotechniques pour le CBR sur le tronçon du projet donne 22, donc on va considérer ce CBR pour le dimensionnement de la chaussée.

Tableau 5 : Classe de portance des sols dans les pays tropicaux selon CEBTP

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

3. Dimensionnement de la structure de chaussée pour le tronçon RN4(6,299 km)

3.1 Etudes du trafic

Le trafic correspond à la densité de circulation sur un axe routier. Bien que différents types de véhicules empruntent la route, l'analyse se concentre principalement sur les poids lourds, en raison de leur effet prépondérant sur la dégradation des structures de chaussée. Ainsi, le paramètre clé pour le dimensionnement de la route est le nombre de poids lourds circulant sur le tronçon pendant sa durée de vie[2].

Le trafic moyen journalier à l'année de mise en service est ensuite estimé en procédant à une actualisation du trafic[3], selon la formule suivante :

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

- T_n : 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.

Le trafic cumulé pendant la durée de vie de la chaussée est déterminé par la formuleⁱ :

$$NPL = 365 * \sum_i^n t_n = 365 * t_1 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

- T_{2021} : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i : taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : durée de service.

Le guide du CEBTP définit cinq (05) classes de trafic en nombre de véhicules par jour, en nombre cumulé de poids lourds ou en nombre de passages d'un essieu standard (13 tonnes).

Tableau 6 : Tableau de classification du trafic

Classe de trafic	Trafic cumulé en nombre de poids lourds
T1	$NPL < 5.10^6$
T2	$5.10^5 < NPL < 1,5.10^6$
T3	$1,5 \times 10^6 < NPL < 4.10^6$
T4	$4.10^6 < NPL < 10^7$
T5	$10^7 < NPL < 2.10^7$

Source : Centre expérimentale de recherches et d'études du Bâtiment et Travaux Publics (CEBTP_1984).

Les tableaux suivants présentent les données utilisées ainsi que les résultats des calculs du trafic cumulé et du nombre d'essieux équivalent nécessaires pour le dimensionnement de la chaussée.

Tableau 7 : Les données d'entrées pour le dimensionnement de la chaussée

Données d'entrée Valeurs	Valeurs
Classe de sol	S4
CBR	22
Trafic moyen journalier TMJA (2sens)	1094 PL
Année de comptage	2021
Année de mise en service	2027
Durée de vie	15 ans
Taux de croissance géométrique	6%
Coefficient de répartition (CRT)	0,5

Source : AGEIM-IC_2025

Tableau 8 : Application et résultat du calcul de NPL et NE

Description	Formules	Résultats
Calcul de CRT	TMJA x CRT	776 PL/J
Trafic à l'année de mise en Service	$t_{2027} = t_{2021} * (1 + i)^{n-1}$	1552 PL/J
Nombre trafic en nombre Cumulé de poids lourds	$NPL = 365 * t_{2027} * \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$	13185331,88 PL
Nombre d'essieux équivalent cumulé NE	NPL x CRT x CAM	6592665,916 PL

D'après le tableau présenté, le nombre d'essieux équivalent cumulé est estimé à **6592665,916** véhicules. En l'arrondissant, on obtient une valeur de **6,59.10⁶**. Ce résultat permet de situer le trafic dans la catégorie T4, selon la méthode empirique, comme l'indique le tableau de classification mentionné précédemment.

3.2 Dimensionnement des épaisseurs des couches de chaussée

3.2.1 Méthode de dimensionnement

La méthode de dimensionnement utilisée est celle dite méthode CEBTP-LCPC qui consiste généralement à :

- Pre-dimensionner la chaussée à partir du guide CEBTP, en fonction du sol support et du trafic ;
- Déterminer les contraintes et déformations admissible selon le guide LCPC ;

- Modéliser en suite les couches de la chaussée déterminées avec les paramètres de chaque couche c'est-à-dire l'épaisseur[4], le module de déformation, le coefficient de poisson ;
- Vérifier enfin, les contraintes et déformations à l'aide du logiciel ALIZE LCPC et faire une comparaison avec les valeurs admissibles.

3.2.2 Proposition des variantes de chaussée

Le choix des variantes repose à la fois sur la disponibilité des matériaux dans la zone d'étude et sur les spécifications définies dans les termes de référence du projet.

En fonction de la classe de portance du sol de la plateforme et de la classe de trafic, le guide CEBTP propose plusieurs solutions. Parmi celles-ci, trois (03) variantes ont été retenues, présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 9 : Les trois variantes retenues (Tronçon N°1)

N°	Couches de chaussée	Matériaux constitutifs de la couche	Epaisseurs des couches(cm)
1	Revêtement	Béton bitumineux	5 cm
	Base	Graveleux latéritique naturel	20 cm
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	15 cm
	Plateforme support	S4	
2	Revêtement	Béton bitumineux	5 cm
	Base	Grave bitume	15 cm
	Fondation	Graveleux naturel ou concassé 0/d	20 cm
	Plateforme support	S4	
3	Revêtement	Béton bitumineux	7 cm
	Base	Grave naturel amélioré au ciment	20 cm
	Fondation	Grave naturel	20 cm
	Plateforme support	S4	

Le choix de la variante 02 se justifie par la possibilité d'exploiter des matériaux locaux disponibles au Burkina Faso, ce qui contribue à réduire significativement les coûts du projet.

3.3 Vérification de la structure de chaussée par la méthode LCPC

3.3.1 Théorie de vérification des contraintes et déformations

La vérification avec le logiciel ALIZÉ permet de déterminer les épaisseurs optimales des couches de chaussée à partir des résultats obtenus lors du dimensionnement préalable. Cette

vérification repose sur la méthode rationnelle (voir Annexe I) qui permet de calculer les contraintes et déformations admissibles des matériaux sous l'effet du trafic prévu et sur la durée de vie escomptée de la chaussée.

Pour réaliser cette vérification, le projeteur doit disposer des informations suivantes :

- La charge de référence ;
- Le nombre de couches de la chaussée, leur nature et le mode d'interface entre elles ;
- Les caractéristiques des matériaux employés pour chaque couche ;
- Le module de Young des matériaux ;
- Les conditions d'interface au sommet et à la base des couches (dans notre cas, interface collée).

Ainsi, le dimensionnement effectué selon la méthode CEBTP a permis de déterminer les épaisseurs des couches et les types de matériaux à utiliser.

Le rôle du logiciel ALIZÉ est de vérifier la validité de cette structure en suivant les étapes suivantes :

1. Définir le corps de la chaussée ;
2. Déterminer les contraintes et déformations dans chaque couche ;
3. Définir les charges agissantes ;
4. Spécifier les caractéristiques des matériaux ;
5. Comparer enfin les contraintes et déformations obtenues avec les valeurs admissibles pour s'assurer de la conformité de la structure.

3.3.2 Détermination du module statique

A défaut d'étude spécifique des matériaux dans le contexte géotechnique[5], on retiendra la relation.

$$E(MPa) = 5 \times CBR$$

CBR : Californian Bearing ratio pris égal à 22 pour une plateforme S4 dans le cas du présent projet ;

$$E(MPa) = 110$$

Tableau 10 : Classe de plateforme suivant la méthode LCPC

Module en MPa	20		50		120	200
Plateforme	PF0	PF1	PF2	PF3	PF4	

Tableau 11 : Valeur du Coefficient de poisson

Matériaux	E(MPa)	Coefficient de poisson
Béton Bitumineux (BB)	1300	0,35
Couche de base en Gb3	2700	0,35
Couche fondation en GLa ciment	800	0,35
Couche de forme en GL2	330	0,35
Plateforme	110	0,35

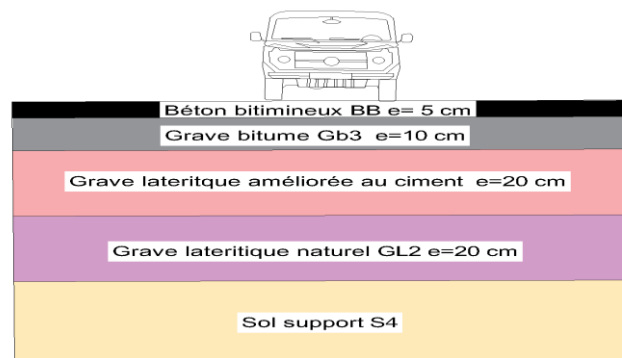


Figure 6: Structure de chaussée définitive du projet (RN4)

4. Dimensionnement de la structure de chaussée pour le tronçon de la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA (2,868 km)

Tableau 12 : Les données d'entrées pour le dimensionnement de la chaussée

Données d'entrée Valeurs	Valeurs
Classe de sol	S4
CBR	15
Trafic moyen journalier TMJA (2sens)	240 PL
Année de comptage	2021
Année de mise en service	2027
Durée de vie	15 ans
Taux de croissance géométrique	6%
Coefficient de répartition (CRT)	0,5

Source : AGEIM-IC (2025)

Tableau 13 : Application et résultat du calcul de NPL et NE

Description	Formules	Résultats
Calcul de CRT	TMJA x CRT	120 PL/J
Trafic à l'année de mise en Service	$t_{2027} = t_{2021} * (1 + i)^{n-1}$	240 PL/J
Nombre trafic en nombre Cumulé de poids lourds	$NPL = 365 * t_{2027} * \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$	2038968,84 PL
Nombre d'essieux équivalent cumulé NE	NPL x CRT x CAM	1019484,42 PL

D'après le tableau présenté, le nombre d'essieux équivalent cumulé est estimé à **1019484,42** véhicules. En l'arrondissant, on obtient une valeur de **1,0195.10⁶**. Ce résultat permet de situer le trafic dans la catégorie T2, selon la méthode empirique, comme l'indique le tableau de classification mentionné précédemment.

Tableau 14 : Les trois variantes retenues (Tronçon N°2)

N°	Couches de chaussée	Matériaux constitutifs de la couche	Epaisseurs des couches(cm)
1	Revêtement	Béton bitumineux	4 cm
	Base	Graveleux latéritique naturel	15 cm
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	20 cm
	Plateforme support	S4	
2	Revêtement	Béton bitumineux	4 cm
	Base	Graveleux naturelle amélioré au ciment	15 cm
	Fondation	Graveleux naturel 0/D	20 cm
	Plateforme support	S4	
3	Revêtement	Béton bitumineux	4 cm
	Base	Béton de sol (graveleux latéritique +0/D ou d/D concassé)	20 cm
	Fondation	Graveleux latéritique	20 cm
	Plateforme support	S4	

La variante 01 a été choisie car elle utilise des matériaux disponibles sur place au Burkina Faso, ce qui réduit fortement les coûts du projet.

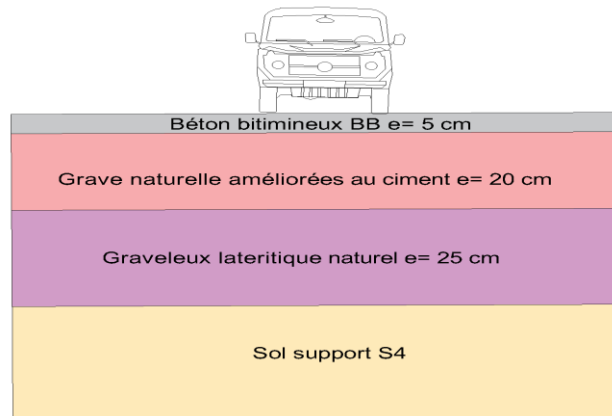


Figure 7: Structure de chaussée définitive du projet (Voie d'accès Université Thomas Sankara)

5. Conclusion partielle

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

- Sur le plan géométrique, les routes ont été classées en type R60 et U60 conformément aux prescriptions de l'ARP et ICTAVRU[6], ce qui les rendent adaptées aux fonctions de liaison interurbaine. Le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers ont été définis de manière à garantir une visibilité adéquate, un confort de conduite optimal et un haut niveau de sécurité. Les rayons de courbure ainsi que les profils types ont été choisis selon les normes en vigueur, assurant une bonne intégration dans le tissu urbain existant.
- Sur le plan structural, la conception des chaussées s'est appuyée sur les recommandations du CEBTP et du guide technique du Sénégal, avec une validation complémentaire par modélisation à l'aide du logiciel Alizé LCPC. En tenant compte des données géotechniques (sol de classe S4) et du trafic cumulé estimé (catégorie T4 et T2), les structures optimales suivantes ont été retenues.

Celle de RN4 se compose de :

- 5 cm de béton bitumineux (BB) en couche de roulement ;
- 10 cm de grave bitume (GB) en couche de base ;
- 20 cm de grave naturelle améliorée au ciment (Gla) en couche de fondation ;
- 20 cm de graveleux latéritique naturel en couche de forme.

Pour la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA, elle se compose :

- 5 cm de béton bitumineux (BB) en couche de roulement ;

- 20 cm de grave naturelle améliorée au ciment (Gla) en couche de base ;
- 25 cm de graveleux latéritique naturel en couche de fondation.

Ces structures permettent de respecter les contraintes admissibles, en particulier la contrainte en traction, garantissant ainsi la pérennité de l'ouvrage sous les charges de trafic prévues.

CHAPITRE III : ETUDE HYDROLOGIQUE, HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES OUVRAGES

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

I. ETUDE HYDROLOGIQUE

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

1. Période de retour et pluviométrie annuelle et journalière

1.1 Période de retour

La période de retour correspond à la durée statistique au cours de laquelle une crue d'intensité exceptionnelle, déjà observée dans la zone d'étude, est susceptible de se reproduire. Sa détermination constitue une étape essentielle dans les études hydrologiques, car elle permet d'assurer la sécurité des ouvrages face aux événements extrêmes. Dans le cadre du présent projet, une période de retour de dix (10) ans a été retenue pour l'ensemble des ouvrages longitudinaux et transversaux. Ce choix résulte d'un compromis entre le coût d'investissement et le niveau de risque acceptable lié au dépassement des débits de conception.

1.2 Détermination de la pluviométrie journalière et annuelle

La pluviométrie représente la mesure quantitative des précipitations ainsi que l'analyse de leur nature et de leur répartition dans le temps et dans l'espace. [7] La distribution des pluies au cours de l'année n'est pas uniforme : certaines périodes sont plus humides ou plus sèches selon les conditions climatiques locales. Les stations météorologiques jouent un rôle essentiel dans la collecte et le traitement des données nécessaires à ces analyses.

- **Pluviométrie annuelle** : elle est obtenue à partir de la moyenne des hauteurs de pluie enregistrées sur l'année. Pour la station de Ouagadougou, les données disponibles

indiquent une précipitation annuelle moyenne de **792 mm**, avec le mois d'**août** comme période la plus pluvieuse au Burkina Faso.

- **Pluie maximale journalière (ou pluie décennale) :** elle atteint **88,7 mm**, déterminée par ajustement statistique selon la loi de **Gumbel**, à l'aide du logiciel **Hyfran Plus**.

Les graphiques issus du traitement sur Hyfran Plus présentent les variations des pluies maximales journalières et des pluies annuelles enregistrées entre **1952 et 2017** à la station météorologique de **Ouagadougou**. Ces données permettent de caractériser le régime climatique de la zone d'étude et de mieux comprendre sa dynamique hydrologique.

2. Identification et délimitation des Bassins Versants

Cette étape consiste à définir les limites géographiques des bassins versants sur l'ensemble du territoire qui draine l'eau de pluie vers un même exutoire. Pour ce faire, nous avons utilisé les logiciels tels que : Global Mapper pour les grands bassins versants et Google Earth Pro pour les sous bassins versants. Ainsi donc nous avons pu délimiter quatre (04) grands bassins versants et huit (08) sous bassins versants, matérialisés par la figure 7 et 8.

2.1 Caractéristiques des Bassins Versants

Après délimitation des bassins versants, nous avons procédé à la détermination de leurs caractéristiques (périmètre, superficie, altitude maximale et minimale, pente moyenne, et la longueur de l'écoulement) à partir du logiciel Global Mapper. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau 15.

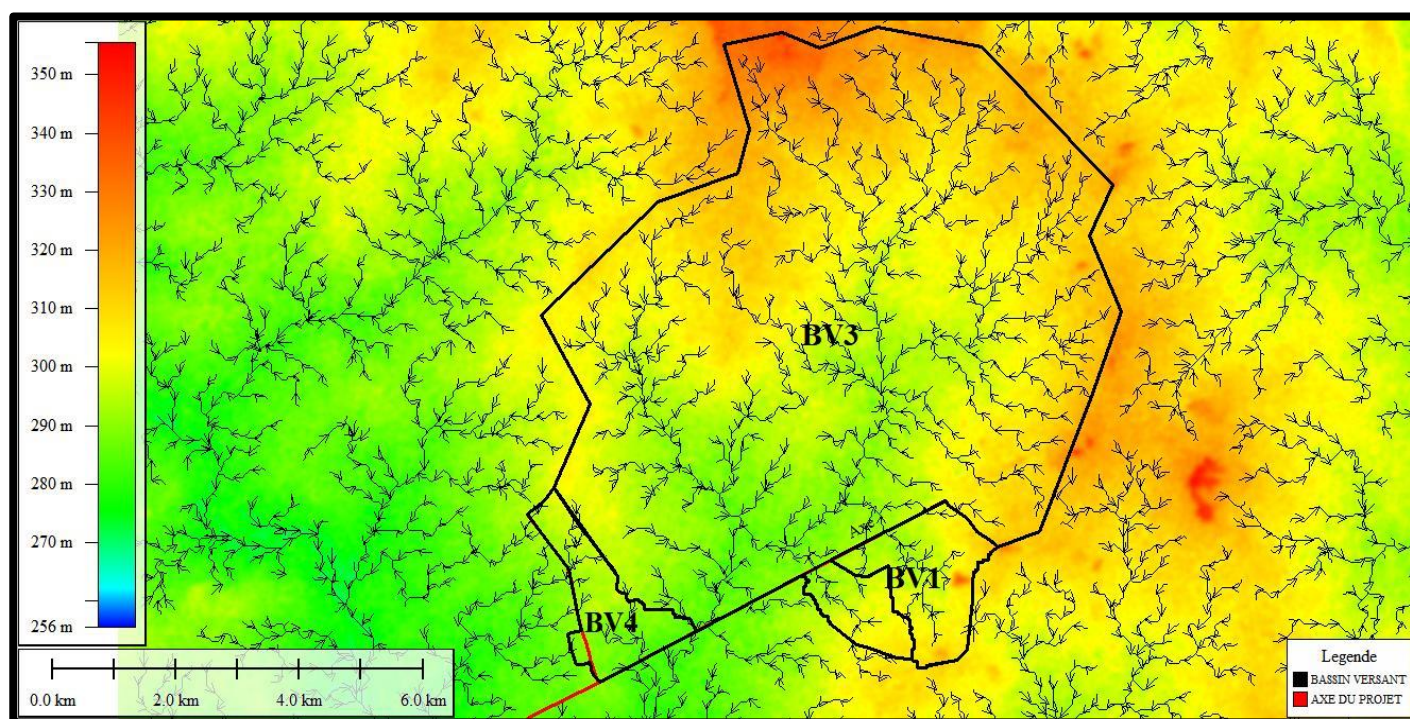


Figure 8: Délimitation des bassins versants

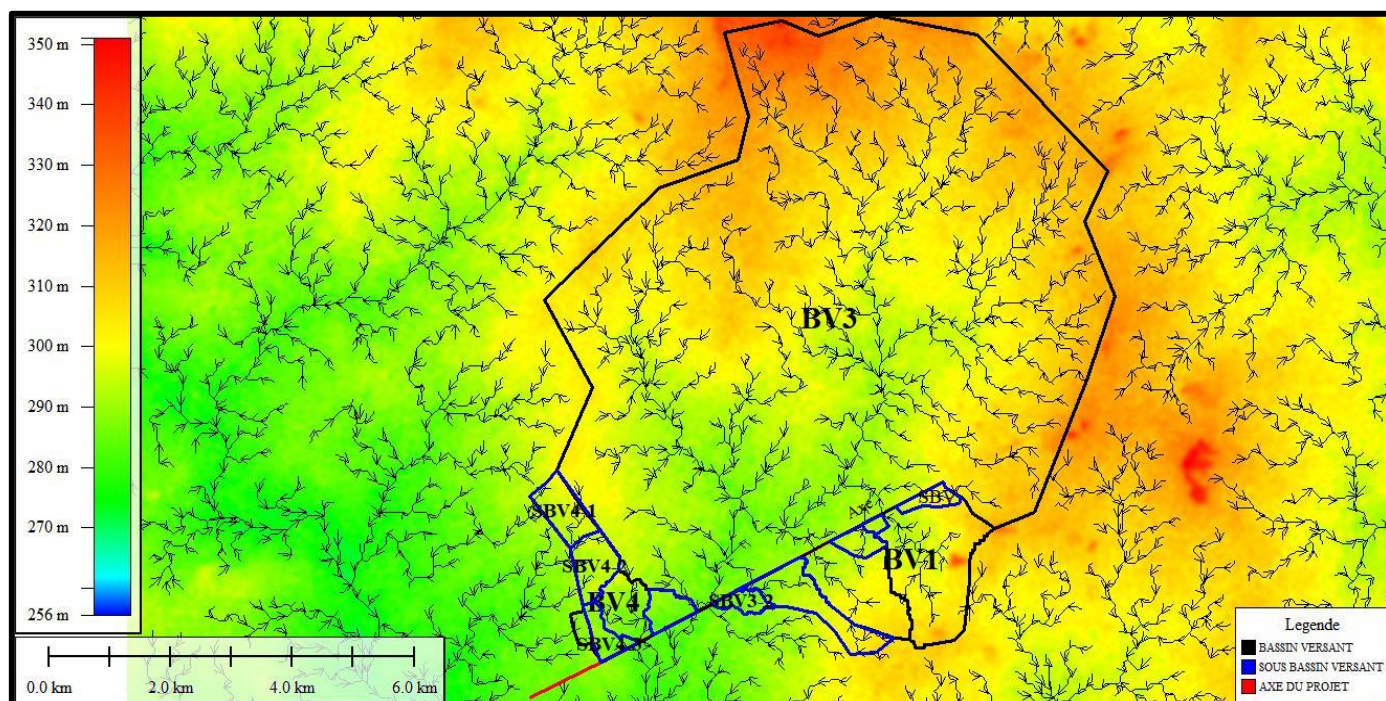


Figure 9: Délimitation des sous bassins versants

Tableau 15 : Caractéristiques des bassins versants

BV	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Pente (%)	Zmax (m)	Zmin (m)	Longueur d'écoulement (km)	Méthode choisie
BV1	3,229	9,247	3,57	335	290	6,195	OSTROM/CIEH
SBV1-3	0,2608	2,309	2,67	297	291	1,547	Caquot
SBV1-2	0,0748	1,196	2,11	295	291	0,801	Caquot
BV2	1,552	6,384	2,71	309	287	4,277	OSTROM/CIEH
BV3	62,878	34,066	2,84	346	280	22,143	OSTROM/CIEH
SBV3-1	1,008	6,902	2,78	308	284	4,624	Caquot
SBV3-2	0,2275	2,919	2,95	292	283	1,956	Caquot
BV4	2,691	9,4	2,65	302	282	6,298	OSTROM/CIEH
SBV4-1	0,617	3,394	1,44	302	290	2,274	Caquot
SBV4-2	0,586	3,189	1,41	298	289	2,137	Caquot
SBV4-3	0,3209	2,987	1,57	293	282	2,001	Caquot
SBV4-4	0,3612	2,601	2,44	291	283	1,743	Caquot

3. Méthodologie d'estimation des débits

Pour cette estimation, nous avons principalement tenu compte des paramètres climatiques, topographiques, morphologiques, de la couverture végétale et de l'occupation des sols. Il existe cependant plusieurs méthodes permettant d'obtenir ces débits. Pour notre projet, nous avons utilisé les méthodes ORSTOM et CIEH pour les grands bassins versants (BV1, BV2, BV3, BV4), selon le manuel « Crues et apports FAO » [8] et la méthode de Caquot pour nos sous bassins versants. Le Burkina Faso se situe dans la zone tropicale sèche avec un sol relativement imperméable (RI).

3.1 Méthode ORSTOM

La méthode s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km². Ce qui concerne tous les bassins versants de notre projet.

Cette méthode est également connue sous le nom de "Méthode Rodier pour le calcul du débit de crue décennal.

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times S / Tb_{10}$$

- **A** : le coefficient d'abattement ; $A = 1 - \left[\frac{(161 - 0.042 \cdot Pan)}{1000} \cdot \log S \right]$
- **P₁₀** : la hauteur de pluie journalière décennale est de 88.7 mm
- **Kr₁₀** : coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale de 93.3 mm obtenu grâce à une interpolation pour kr10 de 70mm et 100mm

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

- **α₁₀** : le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale ; On admet que α₁₀ est voisin de 2,6 quelle que soit la superficie du bassin
- **S** : la superficie du bassin versant
- **Tb₁₀** : le temps de base correspondant à la crue décennale ; $Tb_{10} = a \cdot S^{0.36} + b$

Nous avons aussi eu recours à d'autres données pour aboutir au résultat comme :

- Indice global de pente $Ig = \frac{D}{L}$
- Indice de compacité $Ic = 0,282 \cdot P \cdot S^{-1/2}$

- La longueur équivalente $L = S^{1/2} \cdot (I_c / 1,128) \cdot [1 + (1 - (1,128 / I_c)^2)^{1/2}]$
- Dénivelé de chaque bassin versant D, exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles
- La pluie annuelle ; $P_{an} = 792 \text{ mm}$

3.2 Méthode CIEH

Tout comme la méthode ORSTOM, la méthode CIEH s'applique aux bassins dont les superficies se situent entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km². Ce qui concerne tous les bassins versants de notre projet.

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_r^k \times D_d^d$$

- S est la surface du bassin (km²)
- I_g est l'indice global de pente (m/km)
- P_{an} est la pluie annuelle moyenne (mm)
- K_r est le coefficient de ruissellement décennal (%)
- D_d est la densité de drainage (km-l)

D'autres paramètres sont aussi à déterminer :

- A : le coefficient d'abattement ; $A = 1 - \left[\frac{(161 - 0.042 \cdot P_{an})}{1000} \cdot \log S \right]$
- P10 : la hauteur de pluie journalière décennale est de 88.7 mm
- P_{m10} : la pluie journalière moyenne ; $P_{m10} = A \times P10$

a, s, p, i, k, d, sont des coefficients qui sont donnés en fonction du pays dans lequel est effectué le projet et en fonction de l'équation de calcul du débit. Pour le Burkina Faso il s'agira des équations 39,40,41,42,43,44 et 45 qui seront utilisées pour les calculs de débits mais nous n'utiliserons que les équations 39, 40, 41, 42 et 44.

3.3 Méthode Caquot

Elle est utilisée pour déterminer les débits des différents sous bassins versants urbains, de petites superficies (inférieures à 4km²)[9]. C'est une évolution de la méthode rationnelle et intègre d'autres phénomènes comme : le stockage temporaire de l'eau dans le réseau et le temps de concentration du bassin versant dépendant du débit. Sa formule est la suivante :

$$Q_{brut} = K^{1/u} \times I^{v/u} \times C^{1/u} \times A^{w/u}$$

Avec :

- $k = \left(\frac{0,5^{b \times a}}{6,6} \right)$ Q (m³/s) : Débit maximal à l'exutoire
- $u = 1 + 0,287b$ I (m/m) : Pente moyenne du BV
- $v = -0,41b$ C : Coefficient de ruissellement
- $w = 0,95 + 0,507b$ A : Superficie du BV en ha
- $\mu = \frac{0,84b}{1+0,287b}$ a,b : coefficients de Montana
- $M = \frac{L}{\sqrt{A}}$ (M > 0,8) k,u,v,w : coefficients d'ajustement
- Si M ≠ 2 Q_{cor} = m × Q_{brut} M : Allongement du BV
- $m = \left(\frac{M}{2} \right)^{(0,7 \times b)}$ m : facteur correctif en fonction de la morphologie DU BV

Les valeurs proposées donc sont celles issues de Sighomnou (1986) :

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

La configuration de nos sous-bassins versant, nous impose à utiliser un montage en série.

Tableau 16 : Configuration des sous-bassins versants

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

4. Résultats d'estimation des débits de crues

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

4.1 Débits de crues par la méthode ORSTOM

Les débits de crues par la méthode ORSTOM sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Résultats des débits par la méthode ORSTOM

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Pan (mm)	P10 (mm)	Pm10	Kr (10%)	Tb10 (mn)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	3,229	792	88,7	82,491	25,75	19371,46	9,53
BV2	1,552	792	88,7	86,926	28,19	29911,64	3,39
BV3	62,878	792	88,7	68,299	21,81	96316,80	26,05
BV4	2,691	792	88,7	84,265	26,08	40473,92	3,89

4.2 Débits de crues par la méthode CIEH

Les débits de crues par la méthode CIEH sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18 : Résultats des débits par la méthode CIEH

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Ig	P10 (mm)	Pm10	Kr10 (%)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	3,229	5,997	88,7	82,491	25,75	13,888
BV2	1,552	5,823	88,7	86,926	28,19	9,116
BV3	62,878	5,452	88,7	68,299	21,81	51,901
BV4	2,691	8,018	88,7	84,265	26,08	11,577

5. Débits retenus pour nos grands bassins versants

Nous remarquons qu'il existe une grande différence entre les débits estimés avec la méthode ORSTOM et celle CIEH. Le tableau 19 présente la moyenne entre les débits estimés par les deux méthodes (ORSTOM et CIEH).

Tableau 19 : Débits retenus

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Pan (mm)	P10 (mm)	Pm10	Kr (10%)	Tb10 (mn)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	3,229	792	88,7	82,491	25,75	19371,46	11,709
BV2	1,552	792	88,7	86,926	28,19	29911,64	6,253
BV3	62,878	792	88,7	68,299	21,81	96316,80	38,975
BV4	2,691	792	88,7	84,265	26,08	40473,92	7,733

6. Débits de crues par la méthode Caquot

Les résultats de la méthode de Caquot sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Résultats des débits par la méthode Caquot

Bassins Versants		Assemblage	Superficie Aj (ha)	Pente (m/m)	Chemin hydraulique Lj (hm)	Qp (m ³ /s)
Série 1	SBV1-1	SBVeq1 = SBV1-1	26,08	0,0267	15,470	3,512
	SBV1-2	SBVeq2 = SBV1-2 + SBV1-1	7,48	0,0211	8,013	3,422
Série 2	SBV3-1	SBVeq1 = SBV3-1	100,8	0,0278	46,243	8,633
	SBV3-2	SBVeq2 = SBV3-2 + SBV3-2	22,75	0,0295	19,557	7,774
Série 3	SBV4-1	SBVeq1 = SBV4-1	61,7	0,0144	17,426	5,367
	SBV4-2	SBVeq2 = SBV4-2	58,6	0,0141	22,739	6,475
	SBV4-3	SBVeq1=SBV4-3	32,09	0,0157	21,366	3,850
	SBV4-4	SBVeq2 = SBV4-4	36,12	0,0244	20,012	3,013

II. ETUDES HYDRAULIQUES

Pour les débits supérieurs à 10 m³/s[10], on privilégie les dalots et pour les débits inférieurs à 10 m³/s on a le choix entre les buses ou les dalots en fonction de notre zone d'étude, des caractéristiques et de la conception géométrique de la route.

En effet, le choix des types d'ouvrages a été effectué après considération des paramètres hydrologiques et géologiques du site. Etant donné que la mise en place des buses nécessite aussi un remblai d'au moins 0,80m au-dessus de la buse et que non seulement nous sommes en milieu urbain d'où on évite les remblais de grande hauteur, mais aussi la route existante est déjà surélevée par rapport au niveau du TN, nous remplacerons toutes les buses existantes par des dalots qui n'exige pas forcément de remblai au-dessus. Nous avons :

- Supposé une vitesse admissible à l'entrée du dalot de 3m/s ;
- Proposé le nombre de cellules pour les ouvrages ;
- Proposé des dimensions pour la largeur et la hauteur des cellules ;
- Vérifié la profondeur d'eau en amont et la revanche min grâce à la figure 77 sortie libre, dalot rectangulaire (page 248 du document)
- Déterminé la pente critique grâce à la figure 82 calcul de la pente critique en fonction du débit, dalot rectangulaire (page 258 du document)
- Vérifié la vitesse à la sortie grâce à la figure 84 calcul de la vitesse dans un dalot (page 263 du document).

Nous avons ainsi fait une comparaison entre les sections existantes et les sections choisies pour retenir les plus grandes sections section. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 21: Résultats des sections des dalots retenues.

Bassin	Débit de projet Q10 (m³/s)	NOM(S)	Revanche D-H1 (m)	Pente critique Ic	Vitesse de sortie V(m/s)	SECTION EXISTANT en cm	SECTION CHOISIE S en cm	SECTION RETENU E en cm	Observation
BV1	11,71	Ouvrage 1	0,1	0,0053	2,82	-	1*150*150	1*150*150	Nouveau
BV2	6,25	Ouvrage 2	0,2	0,0055	2,95	3*200*100	3*200*100	3*200*100	Conservé
BV3	38,97	Ouvrage 3	0,4	0,0052	2,58	1*150*150	1*150*150	1*150*150	Conservé
		Ouvrage 4	0,9	0,0060	2,85	1*400*200	1*400*200	1*400*200	Conservé
		Ouvrage 5	0,2	0,0058	2,80	4*400*200	4*400*200	4*400*200	Conservé
		Ouvrage 6	0,7	0,0058	2,80	1*400*200	1*400*200	1*400*200	Conservé
		Ouvrage 7	0,3	0,0047	2,20	2*150*150	2*150*150	2*150*150	Conservé
BV4	7,73	Ouvrage 8	0,5	0,0066	2,38	ø 100 / ø 100	1*150*150	1*150*150	Nouveau
		Ouvrage 9	0,3	0,0076	1,53	1*100*150	1*100*150	1*100*150	Conservé
		Ouvrage 10	0,3	0,0060	1,46	1*100*150	1*100*150	1*100*150	Conservé

NB : Malgré la plupart des **sections de dalots conservées** après calculs des ouvertures hydrauliques transversaux, les ouvrages existants sur place seront **conservés et rallongés** si et seulement si les caractéristiques mécaniques des ouvrages (béton et acier) en place sont prouvées acceptables après vérifications par essais.

Pour vérifier la résistance des ouvrages en place, nous préconisons de procéder par des essais non destructifs, c'est-à-dire des essais qui ne porteront pas préjudice aux ouvrages tels que :

- L'essai au scléromètre : qui mesure la résistance à la compression du béton. Le scléromètre va projeter une masse sur la surface du béton avec une force initialement définie. La masse va rebondir en fonction de la dureté du béton heurté et le rebond sera mesuré à l'aide d'un capteur. Ce qui permet de déterminer la résistance du béton à la compression sans le détruire.
- L'essai de dureté type : qui consiste à percer un objet spécifiquement dimensionné à l'aide d'un pénétrateur avec une charge donnée dans la surface du matériau. La dureté se détermine par la mesure de la profondeur de pénétration du pénétrateur ou en mesurant la taille du choc.

Néanmoins, nous nous placerons dans le cas le plus défavorable où il faudra détruire les ouvrages en place et nous proposerons des nouvelles conceptions.

1. Ouvrages longitudinaux

Etant donné que nous sommes en agglomération, il s'agira de déterminer la section des caniveaux capable de drainer les eaux provenant de la chaussée et des concessions. Avec les différents débits évalués, nous allons déterminer les différents paramètres des caniveaux, supposés en section économique (hydrauliquement favorable) et l'écoulement se fera en surface libre. Ceci dans le but de minimiser simultanément la superficie mouillée et le périmètre

mouillé. [11] Les calculs hydrauliques ont été réalisés grâce à la méthode de la débitance basées sur la formule de Manning Strickler. Nous avons opté pour des formes carrées ou rectangulaires car ce sont les plus courantes et les plus simples à concevoir et à mettre en place et le matériau sera en béton armé, pour une meilleure résistance et pour faciliter l'écoulement.

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

$$Q_p = K_S \times S \times RH^{2/3} \times I^{1/2}$$

- La surface mouillée, représente la section occupée par l'eau dans le plan perpendiculaire à la direction de l'eau : $S = by$ en m^2 ;
- Le périmètre mouillé, désigne la longueur de la ligne de contact entre l'eau et les parois dans le plan perpendiculaire à la direction de l'eau : $P = b + 2y$ en m ;
- Le rayon hydraulique, proportionnelle à la surface mouillée sur le périmètre mouillée : $Rh = \frac{S}{P}$ en m ;
- La pente longitudinale du fond, prise égale à 1% soit 0,01
- Le coefficient de rugosité, dépendant du type de revêtement (70 pour caniveau en béton).

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

- La débitance D est égale à : $D = K_S \times S \times RH^{2/3} = \frac{Q}{\sqrt{I}}$
- La revanche r est fixée à 0,15m
- La vitesse d'écoulement calculée, qui représente le rapport entre le débit et la section adoptée, doit être inférieure ou égale à la vitesse admissibles qui est prise égale à 3 m/s
- Le nombre de foudre, permet de déterminer le type d'écoulement $F_r = \frac{U}{\sqrt{g \times y_m}}$
- Le fruit de berge m qui est égale à 0, car les caniveaux sont de forme rectangulaire. On obtient quatre types de section de caniveaux : (100 x 100 m^2 , 150 x 120 m^2 et 150 x 150 m^2).

Tableau 22 : Résultats des sections des caniveaux retenues

Sous bassin versant	Assemblage	Superficie Aj (ha)	Pente (m/m)	Qp (m³/s)	Sections retenues (Cm)
SBV1-1	SBVeq1 = SBV1-1	26,08	0,005	3,512	100x100
SBV1-2	SBVeq2 = SBV1-1+SBV1-2	7,48	0,006	3,422	100x100
SBV3-1	SBVeq1 = SBV3-1	100,8	0,004	8,633	150x150
SBV3-2	SBVeq2 = SBV3-1+SBV3-2	22,75	0,004	7,774	150x150
SBV4-1	SBVeq1 = SBV4-1	61,7	0,001	5,367	150x120
SBV4-2	SBVeq2 = SBV4-2	58,6	0,004	6,475	150x120
SBV4-3	SBVeq1=SBV4-3	32,09	0,005	3,850	100x100
SBV4-4	SBVeq2 = SBV4-4	36,12	0,001	3,013	100x100

Les paramètres de formes des bassins versants et les calculs sont présentés en annexe.

2. Dimensionnement structurel des ouvrages hydrauliques

Dans cette partie, il s'agit de déterminer les sections minimales de béton et d'acier nécessaires pour assurer la stabilité, la résistance et la durabilité des ouvrages hydrauliques. Pour cela, le dimensionnement portera sur les dalots ayant les plus grandes sections hydrauliques du projet, notamment le dalot de section $4 \times 400 \times 200$ cm, qui sera analysé à la fois manuellement et à l'aide du logiciel Cype 2017.

2.1 Hypothèse des calculs

2.1.1 Règlements et instructions

Le ferrailage sera réalisé conformément aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé, selon la méthode des états limites, plus précisément les règles B.A.E.L 91 révisées en 1999.[12]

Les prescriptions appliquées s'appuient également sur le fascicule n°61 relatifs aux charges d'exploitation, à la conception, au calcul et aux épreuves des ouvrages d'art (Cahier des Prescriptions Communes – CPC), ainsi que sur le fascicule 85-A du CCTG et son additif, portant sur l'exécution des ouvrages en génie civil en béton armé ou précontraint.

Enfin, le Guide de conception des ponts-cadre et portiques édité par le SETRA constitue également une référence technique pour le dimensionnement et la mise en œuvre des armatures.

2.2 Caractéristiques des matériaux

2.2.1 Béton

- Dosage 400 Kg/m³
- Béton B30 de poids volumique $\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Résistance à la compression à 28 jours $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28 jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,4 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul du béton en compression à ELU $\sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa}$ avec $\theta=1$ et $\gamma=1,5$
- Contrainte limite de l'acier $\bar{\sigma}_{st} = \min [3 f_e ; \max (0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta f_{t28}})]$, $\bar{\sigma}_{st} = 216 \text{ MPa}$ avec $\eta = 1,6$ car acier haute adhérence.

2.2.2 Remblai

Nous supposons que le remblai d'accès est un graveleux latéritique naturel.

- Poids spécifique du remblai $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Coefficient de poussée des terres $K = 0,33$
- Angle de frottement $\varphi = 30^\circ$

Le prédimensionnement de l'ouvrage est fait conformément aux règles du guide de conception pont cadre et portique du SETRA. (Annexe II)

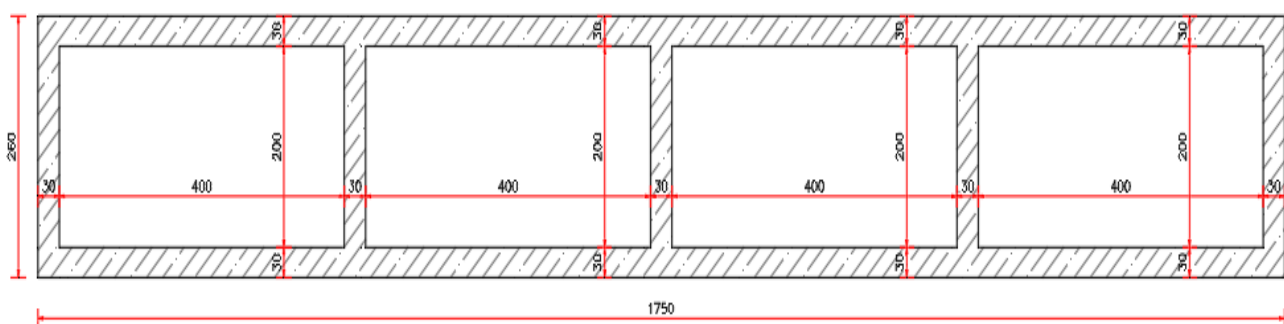


Figure 10: Coupe transversale du dalot

3. Dimensionnement du dalot 4x400x200

3.1 Méthode de calcul

3.1.1 Principe de calcul général

Les calculs sont réalisés sur une bande de 1 mètre, en cohérence avec la largeur de l'ouvrage. Afin de prendre en compte la symétrie géométrique de la structure ainsi que l'asymétrie des sollicitations, il est judicieux de considérer les piédroits intermédiaires comme soumis à une compression simple. Cette hypothèse permet d'annuler les moments fléchissant à leur niveau. Elle justifie également le recours à la **méthode de rotation des nœuds**, utilisée pour analyser l'équilibre de chaque nœud du schéma statique.

3.1.2 Principe de calcul des sollicitations

Les efforts et sollicitations liés aux charges permanentes sont évalués à l'aide de la méthode des rotations des nœuds, permettant une analyse précise de l'équilibre statique de la structure. En ce qui concerne les surcharges routières, les efforts sont déterminés à partir de la méthode des lignes d'influence, qui consiste à déplacer la charge le long des travées afin d'identifier la position générant l'effet le plus défavorable. Les combinaisons de charges retenues pour les calculs sont présentées ci-après[13] :

– A l'ELU : $1,35G + 1,5Q$

– A l'ELS : $G + Q$

3.2 Evaluation des charges appliquées à l'ouvrage

3.2.1 Charges permanentes

Les charges permanentes agissant sur l'ouvrage comprennent principalement le poids propre de la structure ainsi que les poussées exercées par les terres environnantes.

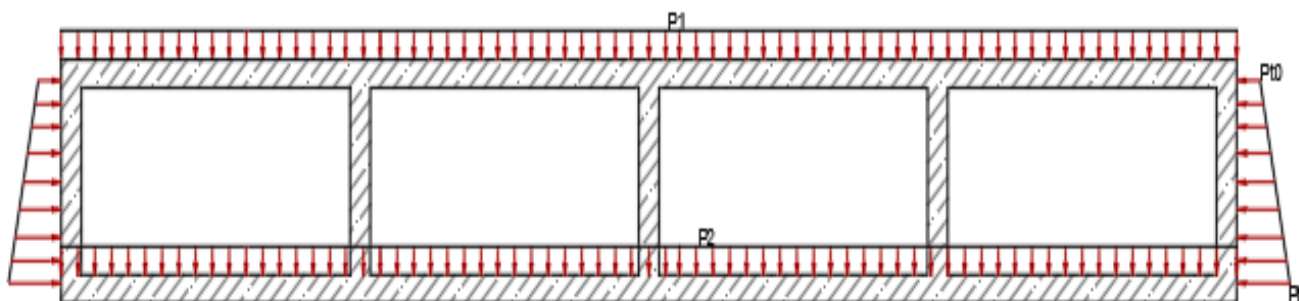


Figure 11: Application des charges permanentes sur l'ouvrage

Tableau 23 : Récapitulatif des charges permanentes

Charges permanentes	Méthode	Résultat	Unité
Charge du tablier P_1	$\sum P = P_p + P_{guid} + P_{rem} + P_{Rev}$	66,45	KN/m
Charge du radier P_2	$\sum P = P_1 + P_{Voile} + P_{rad}$	135,2	KN/m
Poussée de terre (P_{t1}) en h_1	$K_a \times \gamma_r \times h_1 \times b_1$	4,125	KN/ml
Poussée de terre (P_{t2}) en h_2	$K_a \times \gamma_r \times h_2 \times b_1$	18,975	KN/ml

3.2.2 Charges d'exploitation

Les charges routières à prendre en compte dans le calcul des dalots comprennent notamment le système A, les systèmes B (Bc, Bt, Br), ainsi que les systèmes de charges militaires[13]. Ces sollicitations sont essentielles pour évaluer la résistance de l'ouvrage face aux surcharges d'exploitation. Le tableau ci-après présente une synthèse des charges routières agissantes sur l'ouvrage hydraulique.

Tableau 24 : Récapitulatif des surcharges routières

Désignation	Tablier		Radier	
	ELS (KN/m ²)	ELU (KN/m ²)	ELS (KN/m ²)	ELU (KN/m ²)
Système A(l)	20,56	27,42	20,56	27,42
Système Bt*	153,378	204,504	149,198	198,931
Système Bc	56,939	75,918	56,890	75,853
Système Bc Niger	59,566	79,421	57,94	77,26
Système Mc80	55,851	74,468	55,1064	73,4752
Système Mc120	80,062	106,749	78,8100	105,0800
Cas défavorable	153,3777177	204,5036236	149,1982815	198,931042

3.2.3 Calcul des sollicitations

La méthode des rotations des nœuds a été adoptée pour le calcul des sollicitations agissant sur l'ouvrage. Le modèle utilisé repose sur la méthode des éléments finis, avec des éléments triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnelle, permettant de prendre en compte la

résistance à l'effort tranchant. Chaque élément est constitué de six nœuds, positionnés aux sommets et aux milieux des arêtes, chacun disposant de six degrés de liberté. Le maillage du pont-cadre est établi en fonction de ses dimensions géométriques, notamment l'épaisseur et la portée. À chaque nœud, une analyse élastique et linéaire permet d'obtenir huit efforts internes, à partir desquels sont dimensionnées et vérifiées les sections de béton ainsi que les armatures nécessaires. Les déplacements obtenus permettent ensuite de vérifier des paramètres essentiels tels que la flèche, les pressions exercées sur le sol, ou encore le risque de soulèvement du radier. Pour la suite de l'étude, le logiciel de calcul PYBAR est utilisé afin de déterminer avec précision les efforts internes agissant sur l'ouvrage (voir **Annexe II**).

Tableau 25 : Récapitulatif des sollicitations

Elément de l'ouvrage	Sollicitations en KN.m et KN		Charges G	Système Bt
Tablier	Moment sur appui (KN)	N6=N10	28,6	46,9
		N7=N8=N9	28,6	46,9
	Moment en travée (KN.m)	B10=B13	14,3	23,4
		B1=B4	14,3	23,4
	Réaction d'appui (KN)	R6=R10	78,2	121,98
		R7=R8=R9	152,3	249,9
Radier	Moment sur appui (KN)	N1=N5	51,5	44,9
		N2=N3=N4	51,5	44,9
	Moment en travée (KN.m)	B1=B4	25,8	22,5
		B2=B3	25,8	22,5
	Réaction d'appui (KN)	R1=R5	137,3	122
		R2=R3=R4	274,7	239,5
Piédroits	Effort en N1 et N5	N1 à N5	137,33	119,8
	Effort en N6 et N10	N6 à N10	76,2	125
	Moment maximal	B5=B9	9,3	48,86

3.2.4 Résultats des calculs des sections d'acier

Le calcul des armatures est réalisé conformément aux règles techniques de conception et de dimensionnement des ouvrages en béton armé, selon la méthode des états limites, plus précisément les règles B.A.E.L 91 révisées en 1999[12]. Pour les parois dont l'épaisseur est supérieure ou égale à 15 cm, les armatures sont disposées en double nappe, conformément aux prescriptions constructives. Cette configuration implique une répartition des aciers sur chaque face de la paroi, en veillant à assurer un équilibrage des sections d'armatures sur l'ensemble des parois de l'ouvrage, afin de garantir une répartition homogène des efforts et une bonne tenue structurelle.

Tableau 26 : Récapitulatif des sections d'acier du dalot 4X400X200

Eléments de l'ouvrage		Dimension		Sections d'acier			Esp (cm)	Acier de répartition
		B (Cm)	H (Cm)	Ath (Cm²)	Choix d'acier	As (Cm²)		
Tablier	Travée	100	30	6,348	6HA12	6,348	20	5HA10, e=20
				2x 3,17				
	Appui	100	30	12,768	1er lit : 6HA12 Renf : 6HA12	12,768	20	5HA10, e=20
				2x 6,38				
Radier	Travée	100	30	8,1	8HA12	8,1	15	5HA10, e=20
				2x 4,05				
	Appui	100	30	16,1	1er lit : 8HA14 Renf : 8HA12	16,1	15	5HA10, e=20
				2x 8,05				
Piédroit de rive		100	30	8,365	8HA12	8,365	15	5HA10, e=20
				2x 4,18				
Piédroit Intermédiaire		100	30	10,4	7HA10	10,4	20	5HA10, e=20
				2x 5,2				
Mur en Aile		100	30	2x 5,23	Int : 8HA12	7,981	15	5HA10, e=20
					Ext : 8HA10	3,99	15	5HA10, e=20

Le dimensionnement du mur en aile et du dalot 4x400x200 sont donnés dans l'annexe II.

4. Dimensionnement manuel des caniveaux

4.1 Normes et règlement de calcul

- Fascicule 61 titre II du cahier des prescriptions communes (CPC)
- Sollicitations déterminées par la méthode des tranches

- Le ferrailage se fera suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé de la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91 modifié en 99.

4.2 Caractéristiques des matériaux

4.2.1 Béton

- Dosage 350 Kg/m³
- Béton B25 de poids volumique $\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Résistance à la compression à 28jours $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul du béton en compression à l'ELU
- Contrainte limite du béton en compression à l'ELS $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$
- Facteur d'équivalence contrainte acier/contraintes béton $n=15$
- Enrobage $e = 3 \text{ cm}$ et la fissuration est jugée préjudiciable (ouvrage enterré)

4.2.2 Acier

- Nuance : Acier haute adhérence HA FeE400
- Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul de l'acier $\sigma_{st} = \gamma_s = 348 \text{ MPa}$ avec $\gamma_s = 1,152$
- Contrainte de calcul du béton en compression à ELU $\sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa}$ avec $\theta=1$ et $\gamma=1,5$
- Contrainte limite de l'acier $\bar{\sigma}_{st} = \min [f_e ; \max (0,5 f_e ; 110 \sqrt{n f_{t28}})]$, $\bar{\sigma}_{st} = 216 \text{ MPa}$ avec $\eta=1,6$ car acier haute adhérence

4.2.3 Remblai

Nous supposons que le remblai d'accès est un graveleux latéritique naturel.

- Poids spécifique du remblai $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Coefficient de poussé de terres $K = 0,33$
- Angle de frottement $\varphi = 30^\circ$

4.3 Définition des charges appliquées

- Les charges permanentes
 - Poids propre de l'ouvrage
 - Poussée des terres sur les voiles

– Surcharge routière sur dalle : Le dimensionnement peut être réalisé en considérant une roue isolée de 6 tonnes. Toutefois, dans le cas présent, la dalle est directement sollicitée par la roue isolée, sans structure intermédiaire. Il est donc plus rigoureux de la dimensionner en prenant en compte une charge routière de type Br équivalente à 10 tonnes, afin de garantir la sécurité et la résistance de l'élément sous les sollicitations les plus défavorables.

– Les épaisseurs des dalles, des radiers et des piédroits sont redimensionnées à l'aide de la formule suivante, permettant d'assurer leur résistance et leur stabilité en fonction des sollicitations auxquelles ils sont soumis :

$$e = \frac{L}{32} + 0.125$$

De manière générale, les calculs sont réalisés par bande de 1 mètre linéaire.

4.4 Calcul des sollicitations

Les sollicitations sont déterminées conformément aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé, selon la méthode des états limites, plus précisément les règles B.A.E.L 91, révisées en 1999. Cette approche permet de garantir la sécurité et la performance structurelle des éléments soumis aux différentes actions.

Tableau 27 : Récapitulatif des sollicitations de caniveau 150X150

Caniveaux 150x150							
Désignation	Mu	Mser	Nu	Nser	Ast	Asc	Ar
Unités	KN.ml	KN.ml	KN	KN	Cm ²	Cm ²	Cm ²
Dalette	64,19	42,88	-	-	8,394	0	4,197
Piédroit	68,64	46,57	85,13	57,5	8,57	0	4,285
Radier	45,75	40,78	-	-	10,16	0	5,08

Tableau 28 : Récapitulatif des sollicitations de caniveau 150X120

Caniveaux 150x120							
Désignation	Mu	Mser	Nu	Nser	Ast	Asc	Ar
Unités	KN.ml	KN.ml	KN	KN	Cm ²	Cm ²	Cm ²
Dalette	64,19	42,88	-	-	8,394	0	4,197
Piédroit	44,15	29,88	85,13	57,5	8,57	0	4,285
Radier	42,94	38,82	-	-	10,16	0	5,08

Tableau 29 : Récapitulatif des sollicitations de caniveau 100X100

Caniveaux 100x100							
Désignation	Mu	Mser	Nu	Nser	Ast	Asc	Ar
Unités	KN.ml	KN.ml	KN	KN	Cm ²	Cm ²	Cm ²
Dallette	42,91	28,65	-	-	8,394	0	4,197
Piédroit	28,04	18,98	85,44	56,25	8,57	0	4,285
Radier	24,38	22,71	-	-	10,16	0	5,08

4.5 Résultats des calculs des sections d'aciers

Le ferrailage est dimensionné conformément aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé[13], selon la méthode des états limites, plus précisément les règles B.A.E.L 91, modifiées en 1999.

4.6 Le ferrailage

Les calculs pour le dimensionnement du caniveau sont en annexe. Le ferrailage obtenu est le suivant :

Tableau 30 : Ferrailage des caniveaux

Eléments de l'ouvrage	Disposition	Caniveau 150x150	Caniveau 150x120	Caniveau 100x100
Dallette	Supérieur	9HA10 Esp = 15 cm	6HA10 Esp = 20 cm	5HA10 Esp = 20 cm
	Inférieur	9HA10 Esp = 15 cm	6HA10 Esp = 20 cm	5HA10 Esp = 20 cm
	Répartition	5HA8 Esp = 20 cm	5HA8 Esp = 20 cm	5HA8 Esp = 20 cm
Piédroit	Principale	7HA10 Esp = 15 cm	7HA10 Esp = 15 cm	5HA10 Esp = 20 cm
	Transversale	5HA8 Esp = 20 cm	5HA8 Esp = 20 cm	5HA8 Esp = 20 cm
Radier	Supérieur	9HA10 Esp = 15 cm	9HA10 Esp = 15 cm	7HA10 Esp = 15 cm
	Inférieur	9HA10 Esp = 15 cm	9HA10 Esp = 15 cm	7HA10 Esp = 15 cm
	Répartition	5HA8 Esp = 20 cm	5HA8 Esp = 20 cm	5HA8 Esp = 20 cm

5. Conclusion partielle

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

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

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

CHAPITRE IV : SIGNALISATION, SECURITE ROUTIÈRE ET ECLAIRAGE

La sécurité des usagers constitue une priorité majeure dans la conception, la réalisation et l'exploitation des infrastructures routières. Elle repose sur un ensemble de dispositifs techniques et réglementaires visant à prévenir les accidents, à assurer une circulation fluide et à protéger les intervenants sur la voie publique. Parmi ces dispositifs, la signalisation routière et les équipements de sécurité (éclairage public, glissières de sécurité, dispositifs de retenue, etc.) jouent un rôle fondamental. Ce chapitre présente une analyse détaillée des différentes formes de signalisation ainsi que des équipements complémentaires indispensables à la sécurité routière.

1. La Signalisation Routière

La signalisation routière regroupe l'ensemble des moyens visuels destinés à transmettre des informations, des prescriptions ou des avertissements aux usagers de la route. Elle se décline en plusieurs catégories selon sa durée d'implantation (temporaire ou définitive) et sa forme (verticale ou horizontale[14]).

1.1 La Signalisation Temporaire

La signalisation temporaire est un dispositif provisoire mis en place dans des contextes particuliers tels que les travaux routiers, les accidents ou les événements exceptionnels perturbant la circulation. Elle vise à sécuriser les zones de chantier, à informer et alerter les usagers, à organiser les déviations et à maintenir la lisibilité du réseau malgré les perturbations. Elle se compose de plusieurs éléments spécifiques : panneaux de danger temporaires, balises de chantier, feux tricolores mobiles, dispositifs de guidage lumineux et barrières de sécurité provisoires, tous conçus pour assurer une signalisation claire et efficace. La mise en œuvre de cette signalisation doit respecter les prescriptions du Guide Technique de la Signalisation Temporaire (GTST) ainsi que les exigences de la norme NF P98-440, garantissant la cohérence et la sécurité des dispositifs utilisés. Son implantation doit assurer une visibilité optimale de jour comme de nuit, grâce à l'utilisation de matériaux rétro réfléchissants ou lumineux, et respecter des distances réglementaires adaptées à la vitesse autorisée sur la section concernée.



Figure 12: Déviation temporaire / Signal de fin de chantier / Cône de signalisation / Route barrée / Attention travaux

1.2 La Signalisation Définitive

La signalisation définitive constitue un dispositif permanent mis en place pour réguler la circulation, informer les usagers et prévenir les risques sur le réseau routier. Elle remplit plusieurs fonctions essentielles, telles que la régulation du trafic, l'orientation directionnelle et la sécurisation des déplacements. Ses principaux composants incluent les panneaux de signalisation, les feux tricolores et les marquages au sol, qui doivent être conçus pour assurer une visibilité optimale et une compréhension immédiate par les conducteurs. [15] La conception de ces éléments repose sur des critères stricts de durabilité, de lisibilité et de conformité aux normes en vigueur, notamment les normes NF P98-520 et NF EN 12899-1, qui encadrent respectivement les caractéristiques des marquages et des dispositifs verticaux. Afin de garantir leur efficacité dans le temps, une maintenance régulière est indispensable, incluant des inspections périodiques et le remplacement des éléments dégradés ou devenus non conformes.

2. Typologie de la Signalisation

2.1 La Signalisation Verticale

La signalisation verticale regroupe l'ensemble des panneaux implantés sur des supports verticaux, en bordure ou en surplomb de la chaussée, et constitue un élément fondamental de la régulation du trafic et de la sécurité routière. [15] Elle se décline en trois grandes catégories :

- Les panneaux de danger, de forme triangulaire, qui signalent la présence d'un risque potentiel sur la voie ;
- Les panneaux de prescription, circulaires, qui imposent ou interdisent un comportement (limitations de vitesse, interdictions, obligations) ;
- Les panneaux d'indication, généralement rectangulaires ou carrés, qui fournissent des informations utiles à la conduite (directions, services, particularités de la route).

L'implantation de ces panneaux obéit à des règles strictes définies par les normes techniques, notamment en ce qui concerne les distances d'approche, les hauteurs d'installation et les angles de visibilité, afin de garantir leur lisibilité et leur efficacité.

Les matériaux utilisés pour leur fabrication sont principalement l'aluminium, l'acier galvanisé ou des composites techniques, avec un revêtement rétro réfléchissant de classe 1 à 3, assurant une visibilité optimale de jour comme de nuit.

FORMES	COULEURS	
 danger	 Permanent	 Temporaire
 ordre	 Interdiction	 Obligation
	 Fin d'interdiction	 Fin d'obligation
 indication	 pour la conduite	 installations et aménagements
	Localisation	
	 nom d'un lieu	 itinéraire touristique
 direction	 locale	 autoroutière
	 ville importante	 temporaire

Figure 13: Les formes et couleurs des panneaux de signalisation verticale

2.2 La Signalisation Horizontale

La signalisation horizontale regroupe l'ensemble des marquages au sol réalisés à l'aide de peintures, de résines ou de bandes thermoplastiques, et constitue un élément essentiel de la sécurité et de l'organisation du trafic routier. Elle remplit plusieurs fonctions, notamment la délimitation des voies de circulation, l'indication des zones de stationnement et l'avertissement des usagers en présence de dangers potentiels. On distingue différents types de marquages :

- Les lignes longitudinales, continues ou discontinues, qui organisent la circulation dans le sens de la voie ;
- Les lignes transversales, telles que les lignes de stop, de cédez-le-passage ou les passages piétons ;
- Les symboles et inscriptions au sol, comme les flèches directionnelles ou les pictogrammes spécifiques. Sur le plan technique, ces marquages doivent répondre à des exigences strictes en matière de résistance à l'usure, de rétro-réflexion pour la visibilité nocturne, d'adhérence pour la sécurité des usagers, et de conformité à la norme NF P98-300, qui encadre les caractéristiques et les performances des produits utilisés.

FORME	COULEUR	ANNONCÉ À	SIGNIFIE
	Rouge et blanc	50 m en agglomération, 150 m en dehors	Danger
	Rouge et blanc	À l'endroit	Ordre, interdiction ou prescription
	Bleu foncé et blanc	À l'endroit	Obligation
	Bleu foncé et blanc	À l'endroit ou avant en fonction des besoins	Indication
	Blanc	À l'endroit	Localisation
	Vert ou bleu	À l'endroit où il faut changer de direction	Direction

Figure 14: Les formes et couleurs des panneaux de signalisation horizontale

3. Les Dispositifs de Sécurité Complémentaires

3.1 L'Éclairage Public Routier

L'éclairage public constitue un élément fondamental de la sécurité routière, en particulier dans les zones urbaines et périurbaines où la densité de circulation et la présence de piétons exigent une visibilité optimale[16]. Ses objectifs principaux sont d'améliorer la visibilité nocturne, de réduire les risques d'accidents et de renforcer le confort ainsi que le sentiment de sécurité des usagers. L'étude d'éclairage repose sur plusieurs paramètres techniques, notamment la détermination du niveau d'éclairement requis selon la classification de la voie, conformément à la norme EN 13201(classe M1), le choix des candélabres (hauteur, type de luminaire, température de couleur), ainsi qu'une implantation optimisée visant à éviter les zones d'ombre et à limiter l'éblouissement. Les technologies actuelles privilégient l'utilisation de luminaires LED, reconnus pour leur efficacité énergétique et leur durabilité, ainsi que l'intégration de systèmes intelligents de gestion, tels que la détection de présence ou la variation automatique de l'intensité lumineuse en fonction des conditions de circulation.

4. Autres Équipements de Sécurité

Outre la signalisation conventionnelle et l'éclairage public, plusieurs dispositifs techniques sont mis en œuvre pour renforcer la sécurité des infrastructures routières et protéger les usagers. Parmi ceux-ci, les glissières de sécurité, qu'elles soient métalliques ou en béton, jouent un rôle essentiel en limitant les risques de sortie de chaussée, notamment dans les zones à fort dénivelé ou à proximité d'obstacles fixes. Les dispositifs de retenue, tels que les atténuateurs de chocs, les bornes anti-intrusion ou encore les barrières de protection piétonne, sont conçus pour absorber l'énergie des impacts et réduire la gravité des accidents. Les miroirs routiers, quant à eux, sont installés dans les zones à faible visibilité comme les intersections ou les virages serrés afin d'élargir le champ de vision des conducteurs. Par ailleurs, l'intégration de radars et de capteurs permet une surveillance active du trafic, notamment pour le contrôle de la vitesse, la détection des infractions et la gestion dynamique de la circulation. Enfin, la signalisation dynamique, à travers les panneaux à messages variables (PMV), les feux tricolores intelligents et les capteurs de trafic, permet d'adapter en temps réel les informations transmises aux usagers en fonction des conditions de circulation, contribuant ainsi à une meilleure fluidité et à une sécurité accrue sur le réseau routier. Le détail est présenté en **annexe III**.

5. Conclusion partielle

La signalisation routière et les dispositifs de sécurité constituent des éléments incontournables dans la conception et l'exploitation des infrastructures routières. Leur mise en œuvre rigoureuse, conforme aux normes techniques et adaptée aux spécificités du site, permet de garantir la sécurité des usagers, la fluidité du trafic et la durabilité des ouvrages. Dans le cadre d'un projet routier, une attention particulière doit être portée à la planification, à la qualité des matériaux, à l'ergonomie visuelle et à l'intégration harmonieuse de ces dispositifs dans l'environnement routier.

CHAPITRE V : APERÇU ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Dans le cadre du projet d'élargissement de la RN4, il est primordial d'analyser les impacts environnementaux et sociaux associés à sa réalisation. Ce chapitre a pour objectif d'identifier les effets potentiels du projet sur le milieu naturel et les populations, d'évaluer leur importance et leur étendue, et de proposer des mesures de prévention ou d'atténuation adaptées. L'approche adoptée vise à garantir un aménagement durable, respectueux des écosystèmes et des ressources naturelles, tout en maximisant les bénéfices pour les communautés locales.

1. Présentation du cadre institutionnel, législatif et réglementaire

Le Burkina Faso s'est doté d'un ensemble cohérent d'instruments politiques, institutionnels et juridiques, ainsi que de programmes et de stratégies adaptés à la gestion du foncier, des ressources naturelles et de l'environnement. En outre, le pays est partie prenante de plusieurs accords et conventions, tant régionaux qu'internationaux, portant sur la protection de l'environnement et le respect des normes sociales[17].

Dans ce contexte, la réalisation du projet d'élargissement de la sortie Est de Ouagadougou, sur la Route Nationale n°4 (RN4), ainsi que l'aménagement des voiries connexes, sera conduite en stricte conformité avec ces instruments et engagements.

2. Politique environnementale et sociale du Burkina Faso

La Politique Nationale en matière d'Environnement, Adoptée par le Gouvernement en janvier 2007, cette stratégie a pour objectif de définir un cadre de référence visant à intégrer les enjeux environnementaux dans les politiques et stratégies de développement. Parmi les principales orientations à prendre en compte dans le cadre de ce projet, on retrouve :

- La gestion durable des ressources naturelles ;
- La garantie d'un environnement de qualité pour les populations, afin de leur offrir 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 de l'étude nationale prospective 2025 dans le plan spatial. Elle repose sur trois axes principaux :

- Le développement harmonieux et intégré des activités économiques sur l'ensemble du territoire ;
- L'intégration sociale, en s'appuyant sur les fondements culturels pour construire une société moderne ;
- La gestion durable de l'environnement, axée sur la sécurité foncière, la réhabilitation des ressources naturelles dégradées et l'amélioration du cadre de vie.

La Politique Nationale de l'Eau, adoptée en 1998, la politique nationale de l'eau vise à favoriser le développement durable en apportant des solutions aux problèmes liés à l'eau, afin

qu'elle ne constitue pas un obstacle au développement socio-économique. Elle repose sur quatre objectifs spécifiques :

- Assurer la satisfaction durable des besoins en eau,
- Protéger contre les actions agressives de l'eau,
- Améliorer les finances publiques,
- Prévenir les tensions liées à la gestion des eaux partagées.

3. Cadre législatif et réglementaire du Burkina Faso

❖ Constitution du 02 juin 1991 et ses modifications

La législation environnementale du Burkina Faso prend appui sur la constitution qui dispose à son préambule que : “le peuple souverain du Burkina Faso est conscient de la nécessité absolue de protéger l'environnement”.

Selon l'Article 14, les richesses et ressources naturelles appartiennent au peuple et doivent être utilisées pour améliorer ses conditions de vie dans le respect du développement durable. L'Article 29 reconnaît le droit à un environnement sain, affirmant que la protection et la promotion de l'environnement sont un devoir pour tous. Enfin, l'Article 15 garantit le droit de propriété, précisant que celui-ci ne peut être exercé de manière nuisible à l'utilité sociale ou aux droits d'autrui, et qu'une indemnisation juste doit être versée en cas d'expropriation pour cause d'utilité publique.

❖ Loi N°006-2013/AN du 02 Avril 2013 portant code de l'environnement au Burkina Faso

L'Article 25 de cette loi stipule que les activités pouvant avoir un impact significatif sur l'environnement doivent obtenir l'avis préalable du Ministre chargé de l'environnement. Cet avis est fondé sur une Évaluation Environnementale Stratégique (EES), une Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE) ou une Notice d'Impact sur l'Environnement (NIE)[17]. Ces outils servent à évaluer la faisabilité des projets, tout comme les études 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 stipule que les aménagements hydrauliques, ainsi que les installations, ouvrages, travaux et activités réalisés par toute personne (publique ou privée), nécessitent une autorisation ou une déclaration lorsqu'ils entraînent :

- Des prélèvements d'eau, qu'ils soient superficiels ou souterrains, qu'ils soient restitués ou non ;
- Une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux ;
- Des déversements, écoulements, rejets ou dépôts, qu'ils soient chroniques ou épisodiques, même non polluant.

4. Définitions des principaux mots clés

4.1 Environnement

Ensemble des éléments naturels, biologiques, physiques, socio-économiques et culturels qui entourent un projet ou une activité. Il comprend l'air, l'eau, le sol, la faune, la flore, mais aussi les populations humaines et leurs conditions de vie.

4.2 Evaluation environnementale

Processus d'analyse permettant d'identifier, de prédire et d'apprécier les impacts potentiels qu'un projet peut avoir sur l'environnement et les communautés humaines. Elle vise également à proposer des mesures pour prévenir, réduire ou compenser les effets négatifs.

4.3 Impact positif environnemental

Effet bénéfique généré par un projet sur l'environnement ou sur les conditions de vie des populations. Il peut s'agir d'améliorations écologiques, économiques ou sociales (ex : amélioration de la sécurité routière, création d'emplois, réduction de poussière après bitumage).

4.4 Impact négatif environnemental

Effet nuisible, dégradant ou perturbateur produit par un projet sur un ou plusieurs éléments de l'environnement. Ces impacts nécessitent généralement des mesures d'atténuation ou de compensation (ex : pollution, perte de végétation, nuisances sonores, risques d'accident).

4.5 Risque environnemental

Probabilité qu'un événement dommageable survienne durant les activités du projet, pouvant avoir des conséquences sur les personnes, les biens ou l'environnement. Le risque prend en compte la probabilité d'occurrence et la gravité potentielle de l'impact.

4.6 Composante environnementale

Les composantes environnementales désignent l'ensemble des éléments du milieu naturel et humain susceptibles d'être influencés par un projet. Elles regroupent généralement :

- Le milieu physique : climat, air, eau, sol, sous-sol, bruit, paysage, etc...
- Le milieu biologique : faune, flore, habitats naturels, écosystèmes.
- Le milieu humain : populations, activités socio-économiques, infrastructures, patrimoine culturel, santé et sécurité, emploi, circulation et transport, etc.

5. Plan des gestions d'environnementale et sociale

Le plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) est un document pratique qui a pour objectifs de dérouler de façon concrète les activités de prise en compte de l'environnement dans l'exécution du projet de construction. Il doit être réactualisé de façon régulière dès le début de la période des travaux, puis pendant l'exploitation de l'ouvrage.

En générale, ce plan regroupe toutes les activités et dispositions qui doivent être entreprises par le promoteur afin de contrôler et de surveiller l'environnement, de suivre l'efficacité des mesures d'atténuation du projet, d'assurer le maintien des relations avec toutes les parties concernées (autorités, populations, ONG, etc.) ainsi que de prévenir et gérer les accidents potentiels. Le PGES apporte des réponses aux impacts négatifs soulevés dans la NIES du projet.

Le but est d'assurer une insertion réussie du projet dans l'environnement récepteur, selon la réglementation en vigueur au Burkina Faso et les exigences environnementales et sociales de la Banque mondiale, notamment les politiques opérationnelles de la Banque mondiale. Le PGES se subdivise en plusieurs programmes à savoir :

- un programme de mise en œuvre des mesures d'atténuation et de compensation des impacts du projet ;
- un programme de suivi-surveillance environnemental ;
- un programme de renforcement des capacités.

6. Les principaux impacts potentiels et risques du projet

Tableau 31: Impacts potentiels du projet

Phase	Composantes de l'environnement	Impacts potentiels	Nature
Préparation et Construction	Atmosphère / Climat	- Vibrations et nuisances sonores dues au mouvement des engins sur le chantier ; - Dégradation de la qualité de l'air : Envol de poussières et émissions gazeuses (CO ₂ , SO _x , NO _x) du au circulation des engins de véhicules de chantier/terrassement.	Négatif
	Paysage	- Modification du paysage par la présence des infrastructures (Dépôt de matériaux)	Négatif
		- Amélioration de l'esthétique du paysage à travers le style architectural de l'infrastructure	Positif
		Perte potentielle de 257 pieds d'arbres dû à l'abattage des arbres dans l'emprise des travaux.	
	Flore et faune	- Perturbation de la quiétude de la faune due aux vibrations et à la destruction de la végétation -Reboisement de 1285 arbres en compensation de ceux abattu et amélioration du contexte végétal de la zone (le long des tronçons de route et dans les espaces disponibles en collaboration avec les autorités de la commune de Saaba)	Négatif/Positif
	Sols	- Modification et fragilisation de la structure et de la texture des sols due aux excavation et décapages, etc... - Pollution des sols par les déchets solides et liquides issus du chantier	Négatif

Phase	Composantes de l'environnement	Impacts potentiels	Nature
Construction	Eaux de surface et eaux souterraines	- Pollution des eaux souterraines par les déchets liquides issue de chantier ; - Pollutions des eaux de surface par les déchets solides et liquides issus du chantier.	Négatif
Construction	Us et coutumes locaux	Risque de conflit du au non-respect de us et coutumes locaux.	Négatif
Construction	Activités économiques	-Développement des petites activités économiques et génératrice de revenu (restaurations, approvisionnement en eau potable du personnel etc...) lors des travaux.	Positif
		-Perte définitive des activités économiques dans les emprises des tronçons des routes ; -Perturbation temporaire des activités économiques le long des tronçons des routes.	Négatif
Exploitation	Activités économiques	Développement d'activités économiques et génératrice de revenu des femmes le long des tronçons routes aménagées.	Positif
Construction	Emplois	Création d'emploi due au recrutement de la main d'œuvre pour les travaux.	Positif
Exploitation	Emplois	-Création d'emploi due au développement de petites activités tout au long des tronçons des routes aménagées ; -Création d'emploi lors des entretiens courants et périodiques.	Positif
Construction	Santé et sécurité	- Risque de contamination ou de propagation des IST et du VIH/SIDA, de grossesses non désirées due aux comportements à risque du personnel ; - Accidents de circulation dû à la circulation des engins et véhicules sur le chantier, à l'absence de mesure de sécurité sur le chantier et au non-respect des consignes sécuritaires (Non-respect de code de la route) ; - Risques de VBG, EAS/HS ; - Risques d'accidents de travail du au non-respect des consignes de sécuritaires (non port des EPI) ; - Risques d'infections respiratoires du au soulèvement de poussière lors de la circulation des engins et véhicules du chantier, terrassement, décapage.	Négatif
Exploitation	Santé et sécurité	-Amélioration de la sécurité routière surtout la nuit dû à l'éclairage des tronçons des routes ; -Réduction des accidents de circulation dû à l'existence de tronçons de routes et des carrefours mieux aménagés.	Positif
		Accident de circulation due aux non-respects du code de la route et aux excès de vitesse.	Négatif
Construction	Circulation et transport	-Augmentation du trafic par la circulation accrue de camion, engins lourds et véhicules de chantier ; -Risque de congestion sur les axes existants.	Négatif

Phase	Composantes de l'environnement	Impacts potentiels	Nature
		-Perturbation temporaire de la circulation sur les tronçons de routes du projet, les accès aux services (écoles, marchés, centres de santé) et domiciles des riverains ; -Risques d'accidents de circulation dû à l'absence ou aux non respects des consignes sécuritaires.	
Exploitation	Circulation et transport	-Amélioration de la mobilité et de l'accessibilité (Réduction du temps de trajet, facilitation du transport des personnes et des marchandises) ; -Développement possible de nouveaux pôles d'activité économique.	Positif
		Accident de circulation due aux non-respects du code de la route et aux excès de vitesse.	Négatif
Construction	Biens des populations	-Déplacement temporaire d'infrastructures présentes dans les emprises de tronçons des routes ; -Réduction d'accessibilité aux boutiques, restaurants, etc. -Perte temporaire de revenus pour les riverains ; -Risques de conflits si les indemnisations sont mal gérées ; -Perturbation temporaire du réseau des concessionnaires.	Négatif
Exploitation	Biens des populations	-Hausse du prix des terrains et des habitations le long des tronçons de routes aménagées ; -Aménagement d'infrastructures socio-économiques de meilleur standing le long de tronçons des routes.	Négatif
Exploitation	Conditions et cadre de vie des populations	-Amélioration du cadre de vie des populations du au bitumage des tronçons des routes, à l'aménagement des ouvrages d'assainissements au retombée économique du projet etc... -Accroissement des recettes des commerçants de la zone du projet.	Positif
Travaux/ Construction		-Vibrations et nuisances sonores du au mouvement des engins sur le chantier ; -Risques d'infections respiratoires du au soulèvement de poussière lors de la circulation des engins et véhicules du chantier, terrassement, décapage.	Négatif

VBG, EAS/HS : Violence Basée sur le Genre/ Exploitation et Abus Sexuelle/Harcèlement Sexuel

7. Principales Mesures Environnementales Et Sociales

Tableau 32 : Mesures Environnementales et Sociales

Composante environnementales et sociales	Impacts potentiels	Mesure environnementales et sociales	Responsables	
			Exécution	Contrôle
Atmosphère / Climat	<ul style="list-style-type: none"> -Vibrations et nuisances sonores du au mouvement des engins et véhicules sur le chantier ; -Dégradation de la qualité de l'air : Envol de poussières et émissions gazeuses (CO₂, SO_x, NO_x) du au circulation des engins de véhicules de chantier/terrassement. 	<ul style="list-style-type: none"> -Limiter les travaux nocturnes, respect des heures de repos de la population riveraine. -Contrôle mécanique de tous les engins et véhicules mécaniques du chantier. -Arroser régulièrement les voies de déviations, les voies d'accès aux zones d'emprunts, bâcher les camions transportant les matériaux 	Entreprise	Mission de contrôle /Maitre d'ouvrage
Paysage	Modification du paysage par la présence des infrastructures (Dépôt de matériaux)	Eviter les dépôts anarchiques des matériaux.	Entreprise	Maitre d'ouvrage
Flore et faune	<ul style="list-style-type: none"> - Perturbation de la quiétude de la faune due aux vibrations et à la destruction de la végétation ; -Reboisement de 1285 arbres en compensation de ceux abattu et amélioration du contexte végétal de la zone (le long des tronçons de route et dans les espaces disponibles en collaboration avec les autorités de la commune de Saaba) 	<ul style="list-style-type: none"> -Réaliser la plantation de 1285 arbres en compensation des 257 arbres abattu en saison pluvieuse ; -Suivre régulièrement la plantation d'arbre ; -Sensibiliser les ouvriers sur l'interdiction de prélever la viande sauvage. 	Entreprise	Maitre d'ouvrage
Sols	<ul style="list-style-type: none"> - Modification et fragilisation de la structure et de la texture des sols due aux excavation et décapages, etc... - Pollution des sols par les déchets solides et liquides issus du chantier. 	<ul style="list-style-type: none"> -Collecter les déchets solides et liquides du chantier ; -Etablir un contrat d'enlèvement des déchets avec des services agréés. 	Entreprise	
Eaux de surface et eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution des eaux souterraines par les déchets liquides issue de chantier ; - pollutions des eaux de surface par les déchets 	<ul style="list-style-type: none"> -Collecter les déchets solides et liquides du chantier. Etablir un contrat d'enlèvement des déchets avec des services agréés ; 	Entreprise	Maitre d'ouvrage

Composante environnementales et sociales	Impacts potentiels	Mesure environnementales et sociales	Responsables	
			Exécution	Contrôle
	solides et liquides issus du chantier.	-Entretien et ravitaillement du chantier sur des aires bétonnées.		
Us et coutumes locaux	Risque de conflit du au non-respect de us et coutumes locaux.	-Réaliser les séances de sensibilisation du personnel de chantier ; -Mettre en place un mécanisme de médiation et de gestion des plaintes pour résoudre rapidement tout différend.	Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage
Activités économiques	-Développement des petites activités économiques et génératrice de revenu (restaurations, approvisionnement en eau potable du personnel etc...) lors des travaux.	Réaliser une séance d'éducation environnementale sur la protection des caniveaux aménagés.	Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage
	-Perte définitive des activités économiques dans les emprises des tronçons des routes ; -Perturbation temporaire des activités économiques le long des tronçons des routes.	-Indemnisation juste et transparente des propriétaires des biens affectés conformément aux lois nationales ; -Faciliter les accès aux activités économiques le long de tronçons des routes ; -Indemniser les biens détruits accidentellement.	Maitre d'ouvrage (Indemnisation) ; Entreprise	Mission de contrôle
Santé et sécurité	- Risque de contamination ou de propagation des IST et du VIH/SIDA, de grossesses non désirées due aux comportements à risque du personnel ; - Accidents de circulation dû à la circulation des engins et véhicules sur le chantier, à l'absence de mesure de sécurité sur le chantier et au non-respect des consignes sécuritaires (Non-respect de code de la route) ; - Risques de VBG, EAS/HS ;	-Sensibiliser le personnel du chantier et la population riveraine sur les IST, VIH/SIDA et sur les grossesses non désirées ; -Mise en place d'une unité de mini santé dans la base de l'entreprise pour la prise en charge des premiers soins ; -Mise en place d'un plan adéquate de circulation par l'entreprise ; -Sensibiliser le personnel du chantier sur les risques d'accidents de travail, sur la nécessité de respecter les mesures de sécurités ;	Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage

Composante environnementales et sociales	Impacts potentiels	Mesure environnementales et sociales	Responsables	
			Exécution	Contrôle
	<ul style="list-style-type: none"> - Risques d'accidents de travail du au non-respect des consignes de sécuritaires (non port des EPI). -Risques d'infections respiratoires du au soulèvement de poussière lors de la circulation des engins et véhicules du chantier, terrassement, décapage. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibiliser le personnel et la population riveraine sur les VBG EAS/HS. -Doter la main d'œuvre d'EPI adaptés (casque, gilet réfléchissant, chaussures, gants...) ; -Réaliser de quart/heure sécurité pour tous les employés. -Réglementer la circulation par des porteurs de drapeaux aux milieux des zones sensibles (écoles, marché etc...) ; -Afficher des mesures de sécurités sur le chantier. 		
Santé et sécurité	Accident de circulation due aux non-respects du code de la route et aux excès de vitesse.	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibiliser le personnel de chantier et la population riveraine sur le code de la route ; -Installer des ralentisseurs (dos d'âne, bandes rugueuses) dans les zones sensibles (écoles, marchés, hôpitaux etc...). 	Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage
Circulation et transport	Accident de circulation due aux non-respects du code de la route et aux excès de vitesse.	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibiliser le personnel de chantier et la population riveraine sur le code de la route ; -Installer des ralentisseurs (dos d'âne, bandes rugueuses) dans les zones sensibles (écoles, marchés, hôpitaux etc...). 	Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage
Infrastructures et biens des populations	<ul style="list-style-type: none"> -Déplacement temporaire d'infrastructures commerciales présentes dans les emprises de tronçons des routes ; -Réduction d'accessibilité aux boutiques, restaurants, habitations et services riverains etc. -Perte temporaire de revenus pour les 	<ul style="list-style-type: none"> -Relocaliser et réinstaller les commerçants sur un site identifié de commun accord ; -Maintenir l'accès aux l'activités commerciales, aux habitations et aux services riverains ; -Trouver des mesures d'accompagnement aux commerçants perdant temporairement leurs revenus ; 	Maitre d'ouvrage/ Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage

Composante environnementales et sociales	Impacts potentiels	Mesure environnementales et sociales	Responsables	
			Exécution	Contrôle
	commerçants installés dans l'emprise des travaux ; -Risques de conflits si les indemnités sont mal gérées ; -Perturbation temporaire du réseau des concessionnaires.	-Réaliser des indemnités claires et transparentes ; Respect de l'emprise utile définie pour les travaux ;		
Conditions et cadre de vie des populations	-Vibrations et nuisances sonores du au mouvement des engins sur le chantier ; -Risques d'infections respiratoires du au soulèvement de poussière lors de la circulation des engins et véhicules du chantier, terrassement, décapage.	- Limiter les horaires de travail -Arroser régulièrement des déviations, voies d'accès aux zones d'emprunts, de l'emprise des travaux en cas de soulèvement des poussières ; -Limiter la vitesse des engins sur le chantier pour réduire le soulèvement de poussière ; -Réaliser un dimensionnement adéquat des ouvrages d'assainissement afin d'éviter les risques d'inondation des riverains.	Entreprise	Mission de contrôle/ Maitre d'ouvrage

8. Recommandation

Il est recommandé que l'entreprise chargée des travaux adopte des pratiques respectueuses de l'environnement, respecte leur contrat du marché en mettant effectivement à l'œuvre les mesures environnementales et sociales. Aussi il est recommandé à l'entreprise de maintenir un dialogue constant avec les populations locales afin de garantir leur adhésion et minimiser les impacts négatifs du projet.

9. Conclusion partielle

L'analyse des impacts environnementaux et sociaux liés au projet a permis de mettre en évidence plusieurs enjeux majeurs, notamment la perturbation des écosystèmes locaux, la modification du cadre de vie des populations riveraines, ainsi que les risques de pollution liés aux activités de chantier. Bien que le projet vise à améliorer la mobilité et la sécurité routière, sa mise en œuvre peut engendrer des effets négatifs si des mesures adéquates ne sont pas rigoureusement intégrées. Il apparaît donc essentiel d'adopter une approche de développement durable, conciliant les objectifs techniques du projet avec la préservation de l'environnement et le respect des droits des communautés locales.

CHAPITRE VI : AVANT METRE ET ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET

Dans le cadre de la planification et de l'analyse technico-économique d'un projet routier, l'estimation du coût prévisionnel de réalisation constitue une étape fondamentale. Elle permet de juger de la faisabilité financière de l'opération et d'orienter les choix techniques. Cette estimation débute par l'élaboration d'un métré quantitatif détaillé, visant à recenser l'ensemble des volumes et unités d'ouvrages à exécuter. Ce métré constitue un préalable indispensable à l'établissement du devis estimatif, en fournissant les bases nécessaires à l'évaluation précise des besoins en matériaux, en main-d'œuvre et en équipements.

1. Avant-métré

Il est primordial, dès les premières phases d'un projet routier, de procéder à une quantification préliminaire des travaux à réaliser. Cette étape consiste à estimer, sur la base des plans d'exécution et des études techniques disponibles, les quantités approximatives des principaux éléments d'ouvrages à mettre en œuvre comme :

- Terrassements ;
- Structures de chaussée ;
- Ouvrages d'art ;
- Dispositifs d'assainissement ;
- Signalisation horizontale et verticale ;
- Mesures environnementale et sociale etc...

L'objectif est de fournir une base technique fiable pour la planification opérationnelle et l'élaboration du chiffrage prévisionnel. Le détail est présenté en **annexe IV**.

2. Devis estimatif

Le devis estimatif traduit l'évaluation économique des travaux à réaliser, fondée sur les quantités issues du métré quantitatif. Il est établi en multipliant les quantités unitaires de chaque poste d'ouvrage par les prix unitaires de référence, extraits du bordereau des prix applicable au projet. Cette méthode permet de ventiler les coûts par nature d'ouvrages, facilitant ainsi l'estimation du coût global prévisionnel de l'infrastructure.

Dans le cadre de cette étude, les prix unitaires ont été déterminés à partir de la mercuriale des prix de la ville de Ouagadougou, édition 2025. Les valeurs moyennes ont été retenues afin de refléter fidèlement les conditions économiques locales. Le tableau 33 présente la synthèse des coûts par poste, tandis que les détails chiffrés sont disponibles en **annexe IV**.

Tableau 33 : Récapitulatif du devis estimatif du projet

N° de prix	Désignations	Montant HT
100	Installation de chantier	435 631 803
200	Travaux préparatoires	327 772 934
300	Terrassements	1 356 201 651
400	Construction de la chaussée	9 205 853 317
500	Ouvrages d'assainissement et de drainage	2 229 093 019
600	Signalisation, sécurité et éclairage public	747 340 012
700	Mesures environnementales et sociales	45 382 500
I	Montant total HTVA	14 347 275 236
II	TVA (18%)	2 582 509 543
III	Montant total TTC	16 929 784 779
IV	Coût moyen par kilomètre (HTVA)	1 564 929 672
V	Coût moyen par kilomètre (TTC)	1 846 617 013

Le montant total toutes taxes comprises (TTC) du projet d'aménagement et de bitumage de la route s'élève à **16 929 784 779** francs CFA, soit seize milliards neuf cent vingt-neuf millions sept cent quatre-vingt-quatre mille sept cent soixante-dix-neuf francs CFA. Ce montant correspond à un coût moyen par kilomètre de **1 846 617 013** francs CFA TTC (Un milliard huit cent quarante-six millions six cent dix-sept mille treize francs CFA).

L'avant métré des ouvrages hydrauliques, matériaux de chaussée et terrassement, dispositifs d'éclairage ainsi que le devis des travaux sont donnés dans l'annexe IV.

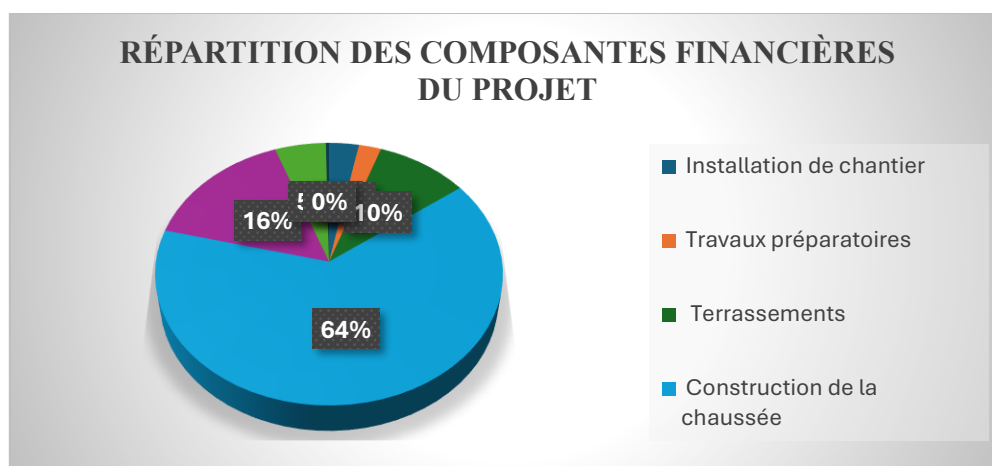


Figure 15: Répartition des composantes financières du projet

CONCLUSION GENERALE

Cette étude centrée sur « l'étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de 9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO », où il était question de proposer une solution technique détaillée pour l'élargissement, le dimensionnement de la chaussée ainsi que des ouvrages de drainage associés en intégrant les contraintes de durabilité, de sécurité, de coûts et d'impacts environnementaux et sociaux. A cet effet, nous avons tout d'abord fait un état des lieux et un diagnostic des ouvrages hydrauliques existants.

Sur l'aspect de la conception routière, la solution technique retenue comprend la réalisation d'une chaussée de type 2x2 voies, de catégorie R60 et une chaussée de type 2x2 voies d'une voirie de catégorie U60. Celle de RN4 se compose de 5 cm de béton bitumineux (BB) en couche de roulement, 10 cm de grave bitume (GB) en couche de base, 20 cm de grave naturelle améliorée au ciment (Gla) en couche de fondation et 20 cm de graveleux latéritique naturel en couche de forme. Pour la voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA, elle se compose d'une couche de roulement en béton bitumineux (5cm), une couche de base en grave naturelle améliorée au ciment (15cm), une couche de fondation en graveleux latéritique naturel (25cm).

Pour ce qui concerne les ouvrages d'assainissement, l'étude prévoit la mise en place de six types de dalots ($1 \times 150 \times 150 \text{ cm}^2$ / $3 \times 200 \times 100 \text{ cm}^2$ / $1 \times 400 \times 200 \text{ cm}^2$ / $4 \times 400 \times 200 \text{ cm}^2$ / $2 \times 150 \times 150 \text{ cm}^2$ / $1 \times 100 \times 100 \text{ cm}^2$) ainsi que trois types de caniveaux ($100 \times 100 \text{ cm}^2$, $150 \times 120 \text{ cm}^2$ et $150 \times 150 \text{ cm}^2$);

Par ailleurs, un calcul de structure des ouvrages en béton armé a été effectué pour garantir leur résistance mécanique et leur durabilité. Aussi, un aperçu de l'EIES a été fait dans le but de cerner les impacts potentiels du projet. Cela a permis de proposer des mesures environnementales conformes à la réglementation en vigueur.

En complément, des études de signalisation et de sécurité routière ont été menées afin d'assurer une circulation fluide et sécurisée des usagers. Ces études ont permis de définir les dispositifs de signalisation verticale et horizontale adaptés (panneaux, marquages au sol, dispositifs de ralentissement), ainsi que les aménagements spécifiques aux zones sensibles (abords d'écoles, intersections, passages piétons). L'objectif est de réduire les risques d'accidents, particulièrement dans les zones à forte fréquentation.

Enfin, les quantités des matériaux ont été estimées, ce qui a permis de procéder à une évaluation financière basée sur les prix unitaires du mercurel 2025. Le coût global du projet est ainsi estimé à **16 929 784 779 F CFA** toutes taxes comprises TTC.

RECOMMANDATIONS

Afin de garantir la pérennité et le bon fonctionnement de la route dans le temps, plusieurs recommandations doivent être prises en compte dès la phase de réalisation du projet. Il convient notamment de :

- Contrôler rigoureusement la qualité des matériaux en laboratoire avant leur mise en œuvre, afin de s'assurer de leur conformité aux spécifications techniques ;
- Assurer un suivi rigoureux de l'exécution des travaux, complété par un entretien régulier des ouvrages hydrauliques et de la chaussée, pour prévenir toute dégradation prématurée;
- Mettre en place des dispositifs de sécurité routière conformes aux normes en vigueur, afin de garantir la sécurité des usagers ;
- Favoriser l'implication des populations locales dans la mise en œuvre du projet, tant pour renforcer l'appropriation des infrastructures que pour encourager leur préservation.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes). *Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans*. Bagneux : Sétra, 1998. 128 p. Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/16375/amenagement-des-carrefours-interurbains-sur-les-routes-principales-carrefours-plans> (consulté le 14 novembre 2025).
- [2] CEBTP. *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux et désertiques*. Paris : CEBTP, 1984. 155 p. Disponible sur : <https://www.piar.org/fr/bibliotheque/guide-pratique-dimensionnement-chaussees-pour-pays-tropicaux-desertiques> (consulté le 23 Août 2025).
- [3] SETRA ; LCPC. *Conception et dimensionnement des structures de chaussée : guide technique*. Bron : Cerema, 1994. 246 p. Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/15924/conception-et-dimensionnement-des-structures-de-chaussee-guide-technique> (consulté le 23 Août 2025).
- [4] *Fiche méthode de dimensionnement des structures bitumineuses - Méthode Alizé* (France-Sénégal). Document technique [PDF]. [S.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/935184935/Fiche-Methode-Str-Bitum-FranceSenegal> (consulté le 29 septembre 2025).
- [5] AGERROUTE Sénégal. *Catalogue de dimensionnement des chaussées au Sénégal* (réf. CC1/0351/AGR), version provisoire V2. Dakar : AGERROUTE, avril 2015. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/468461519/CATALOGUE-V2> (consulté le 27 Août 2025).
- [6] CERTU. *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU)*. Lyon : CERTU, 2009. 82 p. Disponible sur : <https://dtrf.cerema.fr/pdf/pj/Dtrf/0000/Dtrf-0000221/DT5581.pdf> (consulté le 24 décembre 2025).
- [7] LAHAYE, J.-P. Étude statistique des pluies en Afrique subsaharienne : modélisation pluie-durée-fréquence. *La Houille Blanche*, 1984, n°5, p. 363-370. Disponible sur : <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1984/05/lhb1984047.pdf> (consulté le 14 novembre 2025).
- [8] DUBREUIL, P. (coord.). *Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*. Paris : ORSTOM ; FAO, 1974. 290 p. (Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol. XI, n°3-4). Disponible sur : https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-09/010006138.pdf (consulté le 14 novembre 2025).
- [9] CRUETTE, J. *Formule de Caquot adaptée aux régions intertropicales* [PDF]. Montpellier : ORSTOM, 1978. Disponible sur : https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010042350.pdf (consulté le 11 Août 2025).
- [10] LAWANI, Mounirou Adjadi. *Essentiel d'hydraulique à surface libre*. Support de cours Master Génie Civil. Ouagadougou : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [s.d.]. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/371170514/Essentiel-d-hydraulique-a-surface-libre-Mounirou> (consulté le 29 Août 2025).

- [11] NGUYEN VAN TUU, H. ; LEMOINE, B. ; POUPARD, J. *Hydraulique routière*. Paris : Ministère de la Coopération et du Développement ; BCEOM, 1981. Disponible sur : https://www.ritimo.fr/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=48064 (consulté le 11 Août 2025).
- [12] FRANCE. Ministère de l'Équipement. *Cahier des clauses techniques générales (CCTG) : Fascicule 62, titre I, section I - Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites (BAEL 91)*. Paris : Imprimerie nationale, 1992. Disponible sur : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/11/bael_91_fascicule_62_titre_i_section_i_cctg_0.pdf (consulté le 10 décembre 2025).
- [13] FRANCE. Ministère de l'Équipement. *Cahier des prescriptions communes (CPC) : Fascicule 61, titre II - Programme des charges et conditions d'application (ouvrages d'art)*. Paris : Imprimerie nationale, 1971. Disponible sur : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/11/cpc_fascicule_61_titre_ii_programme_des_charges_et_conditions_dapplication_ouvrages_dart_0.pdf (consulté le 27 novembre 2025).
- [14] SETRA. *Signalisation temporaire : manuel du chef de chantier. Volume 1 : Routes bidirectionnelles*. Bagneux : Sétra, 2000. 128 p. Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/24983/signalisation-temporaire-manuel-du-chef-de-chantier-volume-1-routes-bidirectionnelles> (consulté le 10 décembre 2025).
- [15] SETRA. *Signalisation temporaire : guide technique. Volume 5 : Conception et mise en œuvre des déviations*. Bagneux : Sétra, 1994. 96 p. Disponible sur : <https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/03/guide-deviations.pdf> (consulté le 10 décembre 2025).
- [16] TUNISIE. Ministère de l'Industrie, de l'Énergie et des Petites et Moyennes Entreprises. *Arrêté du 14 février 2006 fixant les spécifications techniques des équipements utilisés dans les réseaux d'éclairage public*. Journal officiel de la République tunisienne, 2006. Disponible sur : <https://faolex.fao.org/docs/pdf/tun135225.pdf> (consulté le 10 décembre 2025).
- [17] BURKINA FASO. Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement. Arrêté n°2022-0061/MEEA/SG du 16 août 2022 portant grilles et barèmes d'indemnisation applicables aux arbres et aux plantes ornementales lors des opérations d'expropriation pour cause d'utilité publique et d'intérêt général au Burkina Faso. Ouagadougou le 30 Janvier 2023. *Journal Officiel du Burkina Faso*, 12 p. Disponible sur : <https://dgi.bf/wp-content/uploads/2023/10/ARRETE1.pdf> (consulté le 17 novembre 2025).

ANNEXE

ANNEXE I : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	1
ANNEXE II : ETUDE D'ASSAINISSEMENT ROUTIER	16
ANNEXE III : SIGNALISATION ROUTIERE	87
ANNEXE IV : AVANT METRE ET ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET	90

ANNEXE I : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

I. CARACTERISTIQUES DES CHAUSSEES SELON TDR

Tableau 1 : récapitulatif des caractéristiques des chaussées du projet

Tronçon RN4	Voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA
<ul style="list-style-type: none"> – Route nationale 2x2voies; – Largeur de plateforme: 25,5m; – Largeur de la chaussée: 15m (soit 7,5m par voie); – Piste cyclable 3,5m de part et d'autre; – TPC 3,5m au centre; – Trottoir: 2 m de part et d'autre; – Vitesse de référence: 60 Km/h; – Durée de vie: 15 ans. 	<ul style="list-style-type: none"> – Voirie 2x2voies – Largeur de plateforme: 21m – Largeur de la chaussée: 15m (soit 7,5m par voie) – TPC 2m au centre; – Trottoir: 2 m de part et d'autre – Vitesse de référence: 60 Km/h – Durée de vie: 15 ans
– Choix du type de Route: R60	– Choix du type de Route: U60

a. Profil en travers

Tableau 2 : récapitulatif des caractéristiques des profils en travers du projet

Tronçon RN4	Voie d'accès à l'Université Thomas SANKARA
<ul style="list-style-type: none"> – Route nationale 2x2voies; – Largeur de plateforme: 25,5m; – Largeur de la chaussée: 15m (soit 7,5m par voies) – TPC: 3,5m au centre – Plateforme variable de 20 à 40m – Pente transversale de la chaussée et de la plateforme 2,5% – Pente des accotements 2,5% – Pente se talus en remblais 2/3 – Pente de talus en déblais 2/3 – Caniveau rectangulaire en béton armé de chaque côté des voies. 	<ul style="list-style-type: none"> – Voirie 2x2voies; – Largeur de plateforme: 21m; – Largeur de la chaussée: 15m (soit 7,5m par voies) – TPC: 2m au centre – Plateforme variable de 20 à 40m – Pente transversale de la chaussée et de la plateforme 2,5% – Pente des accotements 2,5% – Pente se talus en remblais 2/3 – Pente de talus en déblais 2/3 – Caniveau rectangulaire en béton armé de chaque côté des voies

II. DONNEES STRUCTURALES ET FONCTIONNELLES DE LA CHAUSSEE

II.1 TRONÇON RN4

Tableau 3 : Les paramètres d'entrées pour le dimensionnement

Année de comptage du trafic	2021
Comptage considéré	Par jour et par sens de circulation
Année de mise en service de la route	2027
Trafic moyen journalier annuel (TMJA)	1094 Poids Lourds
Durée de vie du projet	15 ans
Type d'infrastructure routière	Voirie réseau non structurant (VRNS)
Taux de croissance du trafic	6%
Classe de portance du sol	Classe S4

Source : Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvre (AGEIM-IC)

1. Dimensionnement structurel de la chaussée

Dans ce projet deux méthodes de dimensionnement sont utilisées :

- Méthode Empirique
- Méthode Rationnelle

1.1 Dimensionnement par méthode Empirique

a. Estimation du trafic

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

$$T_{2027} = T_{2021} \times \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$$

- T_{2027} : Trafic moyen journalier à l'année de mise en service ;
- T_{2021} : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i : taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : nombre d'années.

$$AN : T_{2027} = T_{2021} \times \frac{(1+0,06)^{15-1}}{0,06}$$

Le trafic cumulé pendant la durée de vie théorique de la chaussée s'obtient par :

$$NPL = 365 \times T_{2027} \times \frac{(1+0,06)^{15-1}}{0,06}$$

- T_{2021} : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i : taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : durée de service.

$$AN: NPL = 365 \times T_{2027} \times \frac{(1+0,06)^{15-1}}{0,06}$$

$$T_{2027}=1552PL/jrs$$

$$NPL= 13185331,88 PL$$

Nombre d'essieux équivalent cumulé NE

$$NPL \times CRT \times CAM$$

$$AN : 13185331,88 \times 0,5 \times 1$$

$$NE= 6592665,916 PL \text{ soit } 6,59.10^6$$

Ce résultat permet de situer le trafic dans la catégorie, selon la méthode empirique.

b. Classe de Trafic

Tableau 4 : Classification du trafic

Classe de trafic	Trafic cumulé en nombre de poids lourds
T1	$NE < 5.10^5$
T2	$5.10^5 < NE < 1,5.10^6$
T3	$1,5.10^6 < NE < 4.10^6$
T4	$4.10^6 < NE < 10^7$
T5	$10^7 < NE < 2.0^7$

Source : Guide de renforcement des chaussées souple en zone tropicale (CEBTP).

Conformément à la classification du trafic définie par la méthode empirique, un trafic de **6592665,916** poids lourds correspond à la classe de trafic **T4**.

c. Proposition des variantes de chaussée

Tableau 5 : variantes des chaussées souples

N°	Couches de chaussée	Matériaux constitutifs de la couche	Epaisseurs des couches(cm)
1	Revêtement	Béton bitumineux	5 cm
	Base	Graveleux latéritique naturel	20 cm
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	15 cm
	Plateforme support	S4	
2	Revêtement	Béton bitumineux	5 cm
	Base	Grave bitume	15 cm
	Fondation	Graveleux naturel ou concassé 0/d	20 cm
	Plateforme support	S4	
3	Revêtement	Béton bitumineux	7 cm
	Base	Grave naturel amélioré au ciment	20 cm
	Fondation	Grave naturel	20 cm
	Plateforme support	S4	

d. Choix définitif et justifications

Le choix de la variante 01 s'explique par l'utilisation de matériaux locaux facilement disponibles au Burkina Faso, ce qui permet de réduire les coûts du projet

e. Dimensionnement par méthode rationnelle

Il consiste à analyser les efforts internes de la structure notamment les contraintes, les déformations et la déflexion. Dans le cadre de ce projet, le logiciel de calcul ALIZE-LCPC assistera les calculs.

• Détermination du module statique

Pour une étude spécifique des matériaux dans le contexte géotechnique, nous utiliserons cette relation selon :

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

CBR : Californian Bearing ratio pris égal à 22 pour une plateforme S4 dans le cas du présent projet .

$$E \text{ (MPa)} = 110$$

Tableau 6 : Classe de plateforme

Module en MPa	20		50	120	200	
Plateforme	PF0	PF1	PF2	PF3	PF4	

Soit une plateforme de classe : **PF3**

D'après les matériaux en couche de fondation et couche de base doivent avoir un CBR au moins égal à 30 et 80 respectivement. Ainsi les valeurs de module statique par couche sont :

- Couche de base ; E= 360 MPa avec un CBR=80
- Couche de fondation ; E= 150 MPa avec un CBR = 30
- Plateforme PF3 ; E= 110 MPa avec un CBR= 22

• **Calcul des contraintes et déformations verticales**

Pour les matériaux non traités et le sol, la déformation verticale relative admissible s'obtient par la formule :

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

Avec : $NE = NPL \times CAM$

A= 16000 et 12000 respectivement pour un trafic faible et fort. Le CAM est pris égal à 1
Ce pendant dans le présent projet, le trafic est désigné comme un trafic fort car **NE > 250000**

$$AN : \varepsilon_{adm} = 12000 \times (6592665,916)^{-0,222}$$

$$\varepsilon_{adm} = 367,58 \mu\text{def}$$

2. Vérification assistée avec le logiciel alizé

a. Hypothèse de calcul

- Durée de service : 15ans
- Moyenne journalière annuelle : 1094 PL/jr
- Croissance du trafic : 6%
- Risque de calcul : 5% (NF P 98-086 p53)
- CAM : 1

b. Paramètres des charges

- Essieu de roue jumelées supportant une charge de 130KN
- Pression verticale de 0,6620 MPa
- Rayon de contact 0,125 m
- Entraxe jumelage de 0,375 m

c. Qualité des matériaux

- La classe de plateforme définie par le projet est S4 c'est-à-dire PF3 avec un module statique E égal à 110 MPa pour un CBR de 22 à l'OPM ;
- Béton Bitumineux avec valeur de module fournie par le LCPC/SETRA pour une température de référence de 30°C ;
- Les valeurs de module statique de la couche de base et de fondation sont définies ci avant ;
- Un coefficient pour les couches liées $\nu=0,35$ est recommandé par.

Tableau 7 : Valeur du Coefficient de poisson

Matériaux	E(MPa)	Coefficient de poisson
Béton Bitumineux (BB)	1300	0,35
Couche de base en Gb3	2700	0,35
Couche fondation en GLa ciment	800	0,35
Couche de forme en GL2	330	0,35
Plateforme	110	0,35

Source : Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal. (2015)

d. Nature des interfaces des couches

Tableau 8 : Nature des interfaces

Type d'interface	Nature d'interface
BB/GNT ou GL ou GB ou EME	Collée
BB/GLa ou GC ou SC ou BQc	Collée
Base / Fondation des structures souples ou Bitumineuse	Collée
Base / Fondation des structures semi rigide	Semi-collée
BC5/BC2	Glissante
Fondation/plateforme	Collée

Source : Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal. (2015)

3. Structure de chaussée

L'épaisseur cumulée des différentes couches de matériaux dépasse 12 cm, ce qui classe la structure dans la catégorie des chaussées souples. Pour évaluer la conformité du dimensionnement, la norme NF P 98-086 ainsi que le Guide Sénégal 2015 sont utilisés. Toutefois, étant donné que la norme française repose sur les propriétés des matériaux disponibles en France, les critères de vérification issus de la fiche méthode du Guide Sénégal 2015 sont privilégiés pour l'évaluation. Les critères de vérification du dimensionnement d'une chaussée souple sont les suivants :

- La déformation et à la base des couches bitumineuses doit rester inférieure à la déformation admissible ϵ_{adm} ;
- La déformation mesurée au niveau de la plateforme support, dans l'ensemble de la structure de chaussée, doit être inférieure à la valeur admissible correspondante.

3.1 Résultats et interprétation du dimensionnement

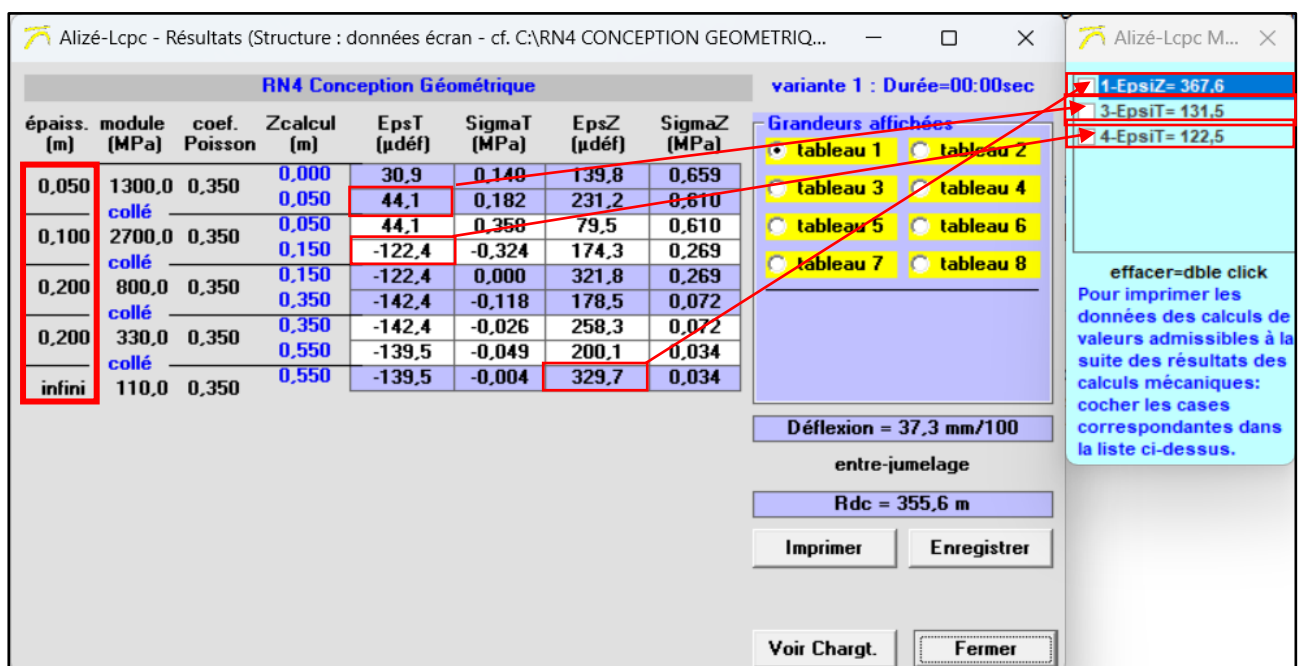


Figure 16 : Résultat de la structure de chaussée

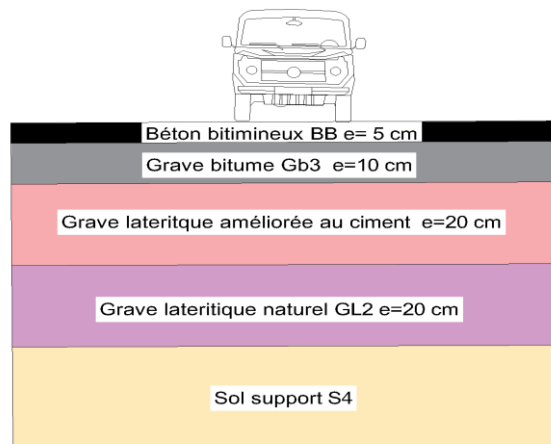


Figure 17 : Structure de chaussée définitive du projet

II.2 VOIE D'ACCES A L'UNIVERSITE THOMAS SANKARA

Tableau 9 : Les paramètres d'entrées pour le dimensionnement

Année de comptage du trafic	2021
Comptage considéré	Par jour et par sens de circulation
Année de mise en service de la route	2027
Trafic moyen journalier annuel (TMJA)	240 Poids Lourds
Durée de vie du projet	15 ans
Type d'infrastructure routière	Voirie réseau non structurant (VRNS)
Taux de croissance du trafic	6%
Classe de portance du sol	Classe S4

Source : Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvre (AGEIM-IC_2025)

1. Dimensionnement structurel de la chaussée

Dans ce projet deux méthodes de dimensionnement sont utilisées :

- Méthode Empirique
- Méthode Rationnelle

1.1 Dimensionnement par méthode Empirique

a. Estimation du trafic

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

$$T_{2027} = T_{2021} \times \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$$

- T_{2027} : Trafic moyen journalier à l'année de mise en service ;
- T_{2021} : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i : taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : nombre d'années.

$$AN : T_{2027} = T_{2021} \times \frac{(1+0,06)^{15-1}}{0,06}$$

Le trafic cumulé pendant la durée de vie théorique de la chaussée s'obtient par :

$$NPL = 365 \times T_{2027} \times \frac{(1+0,06)^{15-1}}{0,06}$$

- T_{2021} : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;
- i : taux d'accroissement annuel du trafic ;
- n : durée de service.

$$AN: NPL = 365 \times T_{2021} \times \frac{(1+0,06)^{15-1}}{0,06}$$

$$T_{2027} = 240PL / jrs$$

$$NPL = 2038968,84 PL$$

Nombre d'essieux équivalent cumulé NE

$$NPL \times CRT \times CAM$$

$$AN : 2038968,84 \times 0,5 \times 1$$

$$NE = 1019484,42 PL \text{ soit } 1,0195.10^6.$$

Ce résultat permet de situer le trafic dans la catégorie, selon la méthode empirique.

b. Classe de Trafic

Tableau 10 : Classification du trafic

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

Source : Guide de renforcement des chaussées souple en zone tropicale (CEBTP_1984).

Conformément à la classification du trafic définie par la méthode empirique, un trafic de **1019484,42** poids lourds correspond à la classe de trafic **T2**.

c. Proposition des variantes de chaussée

Tableau 11 : variantes des chaussées souples

N°	Couches de chaussée	Matériaux constitutifs de la couche	Epaisseurs des couches(cm)
1	Revêtement	Béton bitumineux	4 cm
	Base	Graveleux latéritique naturel	15 cm
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	20 cm
	Plateforme support	S4	
2	Revêtement	Béton bitumineux	4 cm
	Base	Graveleux naturelle amélioré au ciment	15 cm
	Fondation	Graveleux naturel 0/D	20 cm
	Plateforme support	S4	
3	Revêtement	Béton bitumineux	4 cm
	Base	Béton de sol (graveleux latéritique +0/D ou d/D concassé)	20 cm
	Fondation	Graveleux latéritique	20 cm
	Plateforme support	S4	

d. Choix définitif et justifications

Le choix de la variante 01 s'explique par l'utilisation de matériaux locaux facilement disponibles au Burkina Faso, ce qui permet de réduire les coûts du projet

e. Dimensionnement par méthode rationnelle

Il consiste à analyser les efforts internes de la structure notamment les contraintes, les déformations et la déflexion. Dans le cadre de ce projet, le logiciel de calcul ALIZE-LCPC assistera les calculs.

• Détermination du module statique

A défaut d'étude spécifique des matériaux dans le contexte géotechnique, on retiendra la relation selon :

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

CBR : Californian Bearing ratio pris égal à 22 pour une plateforme S4 dans le cas du présent projet ;

$$E(\text{MPa}) = 110$$

Tableau 12 : Classe de plateforme

Module en MPa	20		50		120		200
Plateforme	PF0	PF1	PF2	PF3	PF4		

Soit une plateforme de classe : **PF3**

D'après les matériaux en couche de fondation et couche de base doivent avoir un CBR au moins égal à 30 et 80 respectivement. Ainsi les valeurs de module statique par couche sont :

- Couche de base ; E= 360 MPa avec un CBR=80
- Couche de fondation ; E= 150 MPa avec un CBR = 30
- Plateforme PF3 ; E= 110 MPa avec un CBR=15

- **Calcul des contraintes et déformations verticales**

Pour les matériaux non traités et le sol, la déformation verticale relative admissible s'obtient par la formule [9] : $\epsilon_{adm} = A * NE^{-0,22}$

$$\text{Avec : } NE = NPL \times CAM$$

A= 16000 et 12000 respectivement pour un trafic faible et fort. Le CAM est pris égal à 1

Ce pendant dans le présent projet, le trafic est désigné comme un trafic fort car $NE > 250000$

$$AN : \epsilon_{adm} = 12000 \times (1019484,42)^{-0,222}$$

$$\epsilon_{adm} = 556,31 \mu\text{def}$$

2. Vérification assistée avec le logiciel alizé

a. Hypothèse de calcul

- Durée de service : 15ans
- Moyenne journalière annuelle : 240 PL/jr
- Croissance du trafic : 6%
- Risque de calcul : 5% (NF P 98-086 p53)
- CAM : 1

b. Paramètres des charges

- Essieu de roue jumelées supportant une charge de 130KN
- Pression verticale de 0,6620 MPa
- Rayon de contact 0,125 m
- Entraxe jumelage de 0,375 m

c. Qualité des matériaux

- La classe de plateforme définie par le projet est S4 c'est-à-dire PF3 avec un module statique E égal à 110 MPa pour un CBR de 22 à l'OPM ;
- Béton Bitumineux avec valeur de module fournie par le LCPC/SETRA pour une température de référence de 30°C ;
- Les valeurs de module statique de la couche de base et de fondation sont définies ci avant ;
- Un coefficient pour les couches liées $\nu=0,35$ est recommandé par [8].

Tableau 13 : Valeur du Coefficient de poisson

Matériaux	E(MPa)	Coefficient de poisson
Béton Bitumineux (BB)	1300	0,35
Couche de base en Gb3	2700	0,35
Couche fondation en GLa ciment	800	0,35
Couche de forme en GL2	330	0,35
Plateforme	110	0,35

Source : Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal. (2015)

3. Nature des interfaces des couches

Tableau 14 : Nature des interfaces

Type d'interface	Nature d'interface
BB/GNT ou GL ou GB ou EME	Collée
BB/GLa ou GC ou SC ou BQc	Collée
Base / Fondation des structures souples ou Bitumineuse	Collée
Base / Fondation des structures semi rigide	Semi-collée
BC5/BC2	Glissante
Fondation/plateforme	Collée

Source : Guide de dimensionnement des chaussées du Sénégal. (2015)

4. Structure de chaussée

L'épaisseur cumulée des différentes couches de matériaux dépasse 12 cm, ce qui classe la structure dans la catégorie des chaussées souples. Pour évaluer la conformité du dimensionnement, la norme NF P 98-086 ainsi que le Guide Sénégal 2015 sont utilisés. Toutefois, étant donné que la norme française repose sur les propriétés des matériaux disponibles en France, les critères de vérification issus de la fiche méthode du Guide Sénégal 2015 sont privilégiés pour l'évaluation. Les critères de vérification du dimensionnement d'une chaussée souple sont les suivants :

- La déformation et à la base des couches bitumineuses doit rester inférieure à la déformation admissible ϵ_{adm} ;
- La déformation mesurée au niveau de la plateforme support, dans l'ensemble de la structure de chaussée, doit être inférieure à la valeur admissible correspondante.

5. Résultats et interprétation du dimensionnement

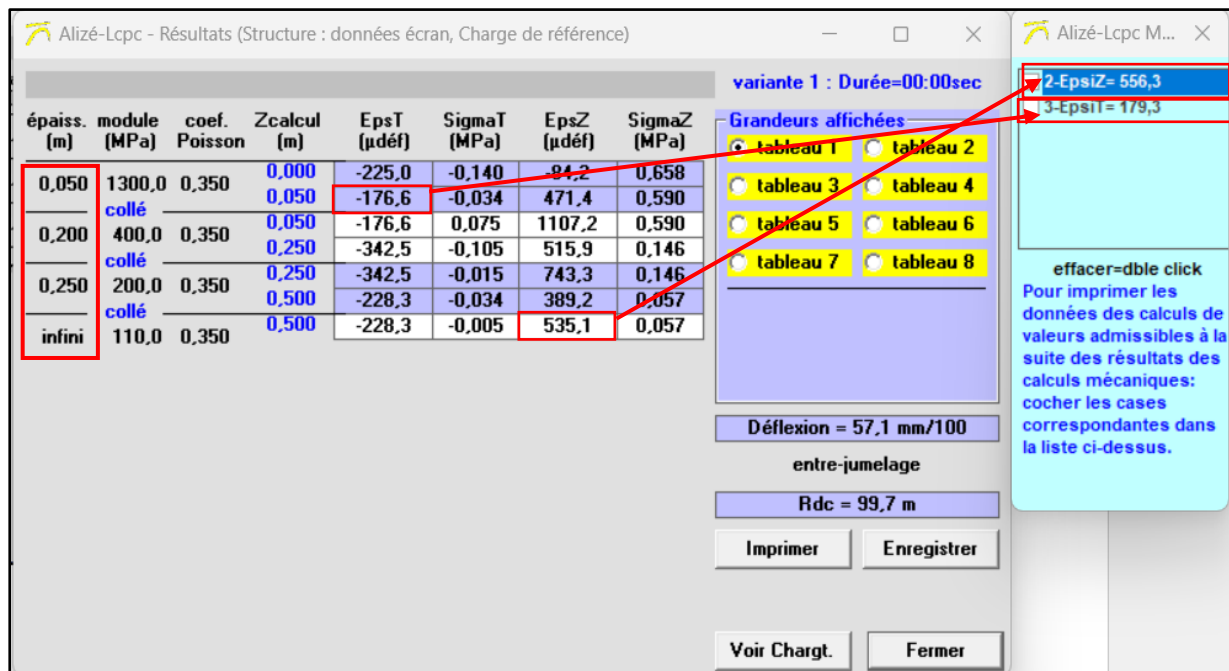


Figure 18 : Résultat de la structure de chaussée définitive

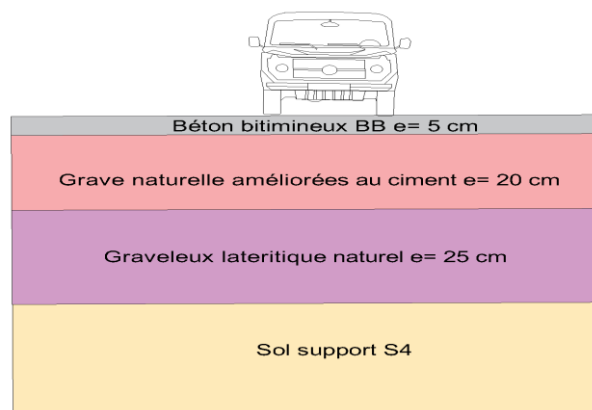


Figure 19 : Structure de chaussée définitive du projet

PLANS GEOMETRIQUES DU PROJET

- PROFIL EN TRAVERS TYPE
- PROFIL EN TRAVERS COURANT
- PROFIL EN LONG
- TRACE COMBINÉ

ANNEXE II : ETUDE D'ASSAINISSEMENT ROUTIER

I. ETUDE HYDROLOGIQUE

1. Délimitation des bassins versants

Tableau 15 : Caractéristiques des bassins versants et sous bassins

BV	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Pente (%)	Zmax (m)	Zmin (m)	Longueur d'écoulement (km)	Méthode choisie
BV1	3,229	9,247	3,57	335	290	6,195	OSTROM/CIEH
SBV1-3	0,2608	2,309	2,67	297	291	1,547	Caquot
SBV1-2	0,0748	1,196	2,11	295	291	0,801	Caquot
BV2	1,552	6,384	2,71	309	287	4,277	OSTROM/CIEH
BV3	1,552	6,384	2,71	309	287	4,277	OSTROM/CIEH
SBV3-1	1,008	6,902	2,78	308	284	4,624	Caquot
SBV3-2	0,2275	2,919	2,95	292	283	1,956	Caquot
BV4	2,691	9,4	2,65	302	282	6,298	OSTROM/CIEH
SBV4-1	0,617	3,394	1,44	302	290	2,274	Caquot
SBV4-2	0,586	3,189	1,41	298	289	2,137	Caquot
SBV4-3	0,3209	2,987	1,57	293	282	2,001	Caquot
SBV4-4	0,3612	2,601	2,44	291	283	1,743	Caquot

– BV: Bassin versant

– SBV: Sous bassin versant

2. Méthodes de calcul des débits

Le calcul des débits au niveau à l'exutoire de chaque bassin versant est effectué grâce à des méthodes de calcul hydrologiques à savoir :

- La méthode d'Ostrom, applicable à des bassins projet des bassins versants dont la superficie va de 4 à 200 Km² ;
- La méthode CIEH, applicable à des bassins versants dont la superficie est située entre 10km² et 2500km² en zone sahélienne et aux bassins inférieurs à 1500km² en zone tropicale sèche ;
- La méthode rationnelle applicable à des bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4Km² ;

- La méthode de caquot dérive de la méthode rationnelle et applicable à des bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4Km² pour assainissement des agglomérations.

Tableau 16 : Les paramètres physiques du bassin

Paramètres physiques	Unité	Formules
L'indice de compacité ou indice de forme Ic	-	$I_{comp} = 0,282 \times \frac{P}{S^2}$
Rectangle équivalent L	Km	$L = S^{1/2} \times \left(\frac{I_{comp}}{1,128} \right) \times \left[1 + \left(1 - \left(\frac{1,128}{I_{comp}} \right)^2 \right)^{1/2} \right]$
Dénivelée D	M	Alt5% - Alt95%
Indice global Ig	M/km	D/L
Moyenne des hauteurs pluviométriques annuelles (Pan)	Mm	Moyenne des pluies
Hauteur d'averse décennale ponctuelle (P10)	Mm	Déterminée par Loi de Gumel
Coefficient de ruissèlement (Kr70)	%	$Kr70 \text{ ou } K100 = \frac{a}{S + b} + c$
Coefficient de ruissèlements (Kr100)		
Coefficient de ruissèlements (Kr10)	%	Interpolation entre Kr70 et K100
Coefficient d'Abattement (A)	-	$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042P_{an})}{1000} \times \log S \right]$
Temps de base (Tb)	Min	$T_{b10} = a \times S^{0,36} + b$
Coefficient de Montana (a et b)	-	Valeurs définies dans la méthodologie
Coefficient de pointe Alpha	-	2,6 cas général
Précipitation décennale (Pm10)	Mm	$T_{m10} = P_{10} \times A$
Temps de concentration (Tc)	Min	$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{p^{0,38}}$
Intensité moyenne (I)	Mm/h	$I = a \times T_c^{(-b)}$

a. Méthode ORSTOM

La méthode s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km². Ce qui concerne tous les bassins versants de notre projet.

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times S / Tb_{10}$$

- A Coefficient d'abattement
- P₁₀ Hauteur de pluie journalière décennale
- Kr₁₀ Coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale
- α₁₀ Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale, pris à 2,6
- S superficie du bassin versant
- T_{b10} Temps de base correspondant à la crue décennale

Tableau 17 : Données pluviométrique de la zone du projet

Année	P _{jmax}	Année	Pan
1961	72,1	1952	810
1962	93,6	1953	884
1963	58,4	1954	950
1964	57,3	1955	1040
1965	62,4	1956	1102
1966	42,7	1957	993
1967	56,1	1958	766
1968	40,2	1959	990
1969	102,7	1960	804
1970	89,6	1961	750
1971	89,8	1962	1183
1972	59,9	1963	657
1973	59,0	1964	1145
1974	60,5	1965	852
1975	65,6	1966	648
1976	76,7	1967	764
1977	89,3	1968	774
1978	67,5	1969	1045
1979	46,5	1970	729
1980	45,7	1971	726
1981	61,5	1972	1060
1982	37,1	1973	746
1983	63,3	1974	924
1984	42,8	1975	756
1985	50,4	1976	1106
1986	47,2	1977	569
1987	75,6	1978	764

1988	64,2	1979	731
1989	74,9	1980	593
1990	55,0	1981	714
1991	105,2	1982	635
1992	53,9	1983	675
1993	54	1984	571
1994	58,2	1985	674
1995	73,1	1986	794
1996	70,3	1987	785
1997	45,2	1988	735
1998	72,4	1989	798
1999	66,0	1990	676
2000	58,6	1991	901
2001	49,8	1992	699
2002	58,1	1993	751
2003	62,1	1994	728
2004	55,1	1995	700
2005	75,7	1996	677
2006	51,5	1997	588
2007	116,7	1998	669
2008	58,4	1999	801
2010	70,4	2000	594
2011	43,8	2001	518
2012	67,8	2002	656
2013	67,3	2003	847
2014	57,2	2004	792
2015	115	2005	839
		2006	597
		2007	713
		2008	808
		2009	923
		2010	850
		2011	689
		2012	991
		2013	795
		2014	844
		2015	897
		2016	788
		2017	692

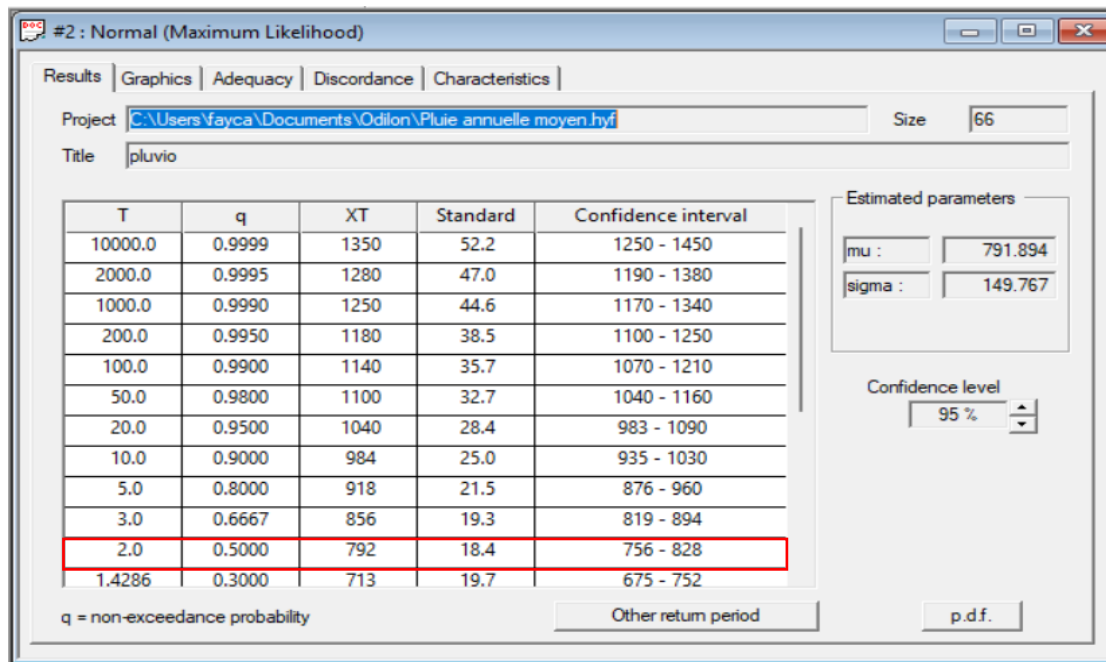


Figure 20 : Résultat de l'analyse statistique des pluies journalières et annuelles par la loi de Normal.

$$P_{an} = 792 \text{ mm}$$

Les données disponibles indiquent une précipitation annuelle moyenne de 792 mm.

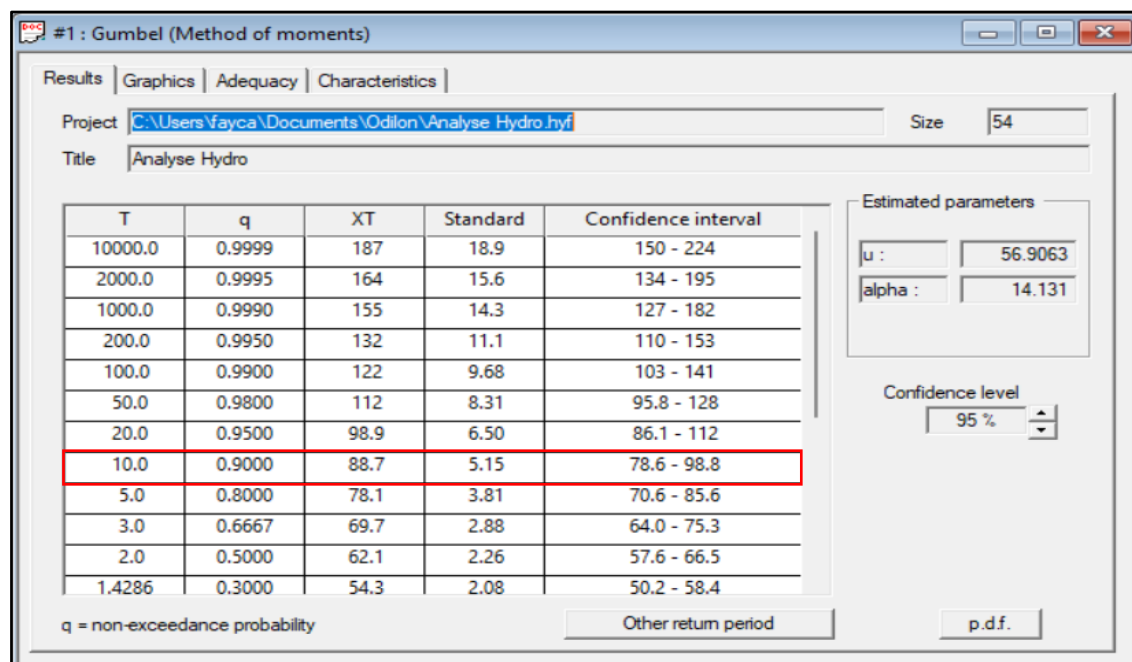


Figure 21 : Résultat de l'analyse statistique des pluies journalières et annuelles par la loi de Gumbel.

$$P_{10} = 104 \text{ mm}$$

La hauteur décennale d'averse P_{10} est déterminée par la loi de Gumbel par des ajustements statistiques grâce au logiciel Hyfran Plus.

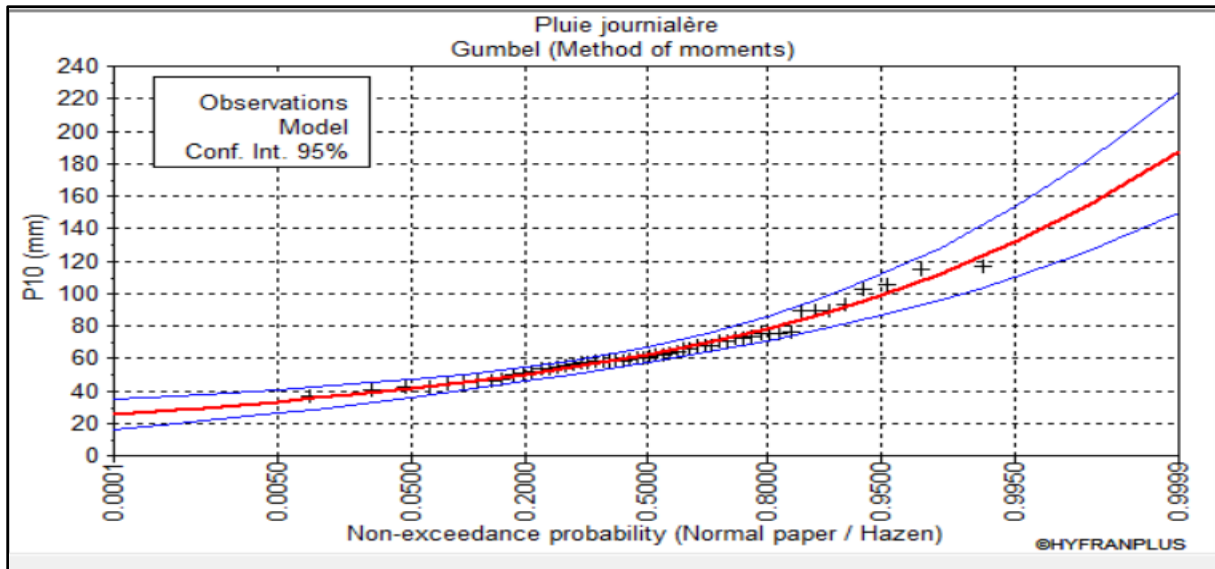


Figure 22 : Ajustement des pluies journalières et annuelles par la loi de Gumbel

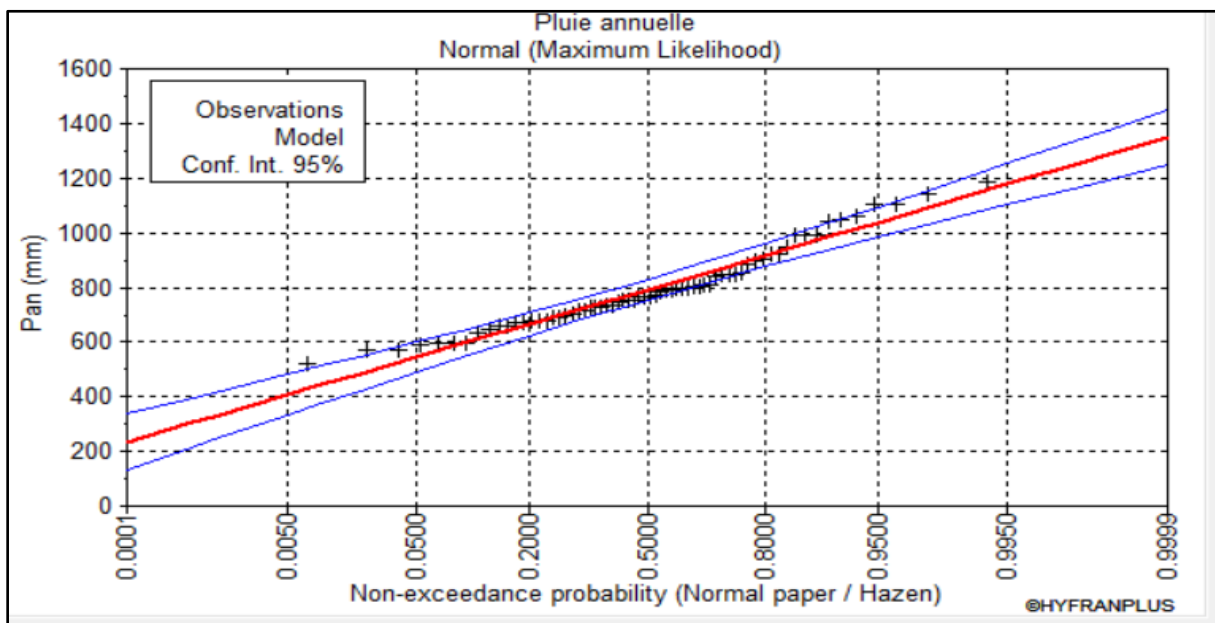


Figure 23 : Ajustement des pluies journalières et annuelles par la loi normale

❖ Paramètres de formes des Bassins Versants

Cas du Bassin versant (BV1)

• Indice de compacité

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

$$I_{comp} = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}} \rightarrow I_{comp} = 0,282 \times \frac{9,247}{\sqrt{3,229}} \rightarrow I_{comp} = 1,45$$

• Détermination de la longueur du rectangle équivalent L_{eq}

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

$$L_{eq} = \sqrt{S} \times \left(\frac{I_{comp}}{1,128} \right) \times \sqrt{1 + \left(1 - \frac{1,128}{I_{comp}} \right)^2}$$

$$L_{eq} = \sqrt{3,229} \times \left(\frac{1,45}{1,128} \right) \times \sqrt{1 + \left(1 - \frac{1,128}{1,45} \right)^2}$$

$$L_{eq} = 3,77 \text{ km}$$

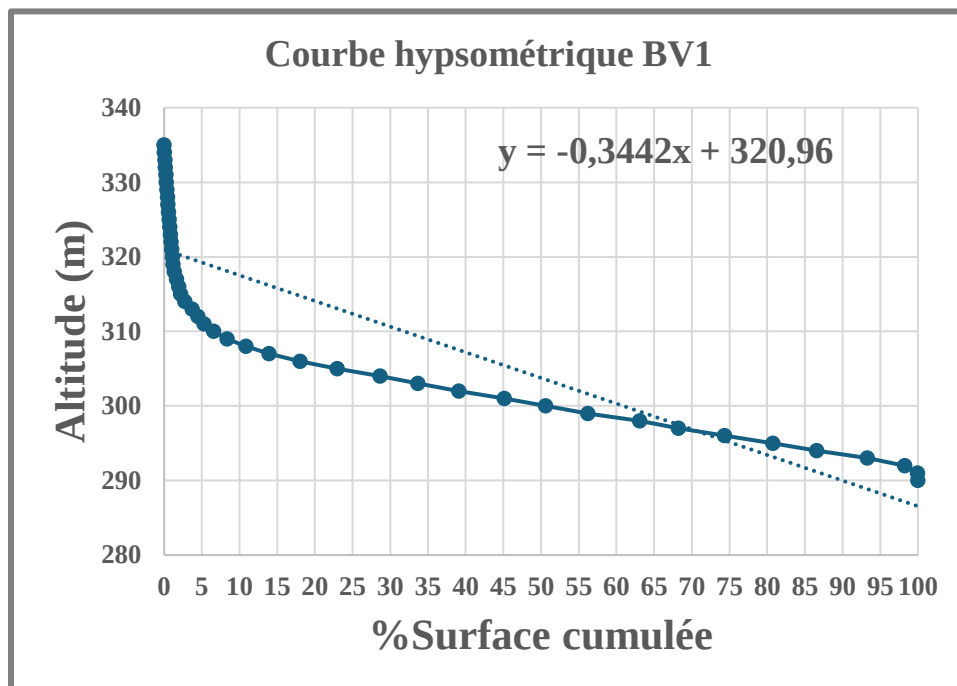
• Détermination de l'indice global de pente

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

$$I_g = \frac{D}{L_{eq}}$$

- D représente la dénivelée, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles ;

Ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique correspondant.



Alt 5%	Alt 95%
319,239	288,261

Figure 24 : Courbes hypsométriques du bassin versant

- Détermination des paramètres a, b et c pour calcul des coefficient Kr

Le projet étant dans une région tropicale sèche avec une in filtrabilité des bassins relativement imperméable (RI).

Coefficients de ruissellement (Kr70)				
BV_1	Ig	a'	b'	c'
	7	200	20	18,5
	15	250	20	21,7
	8,23	207,66	20,00	18,99
		Kr10	27,93	

Coefficients de ruissellement (kr 100)				
BV_1	Ig	a'	b'	c'
	7	240	30	22
	15	325	30	26
	8,23	253,03	30	22,61
		Kr10	30,23	

• Détermination des paramètres a et b pour calcul des temps de base

Les paramètres a et b varient en fonction de l'indice de pente et déterminés par interpolation linéaire à partir des formules suivantes :

Temps de base (Tb)			
BV_1	Ig	a	b
	7	163	142
	10	95	80
	8,23	135,21	116,66

Tableau 18 : Résultats des débits par la méthode ORSTOM

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Pan (mm)	P10 (mm)	Pm10	Kr (10%)	Tb10 (mn)	Débit Q10 (m ³ /s)
BV1	3,229	792	88,7	82,491	25,75	19371,46	9,53

b. Méthode CIEH

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q10 est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_r^k \times D_d^d$$

- S est la surface du bassin (km²)
- Ig est l'indice global de pente (m/km)
- Pan est la pluie annuelle moyenne (mm)
- Kr10 est le coefficient de ruissellement décennal (%)
- Dd est la densité de drainage (km⁻¹)

D'autres paramètres sont aussi à déterminer :

- A : le coefficient d'abattement ; $A = 1 - \left[\frac{(161 - 0.042 \cdot Pan)}{1000} \cdot \log S \right]$
- P10 : la hauteur de pluie journalière décennale est de 88.7 mm
- Pm10 : la pluie journalière moyenne ; $Pm10 = A \times P10$

a, s, p, i, k, d , sont des coefficients qui sont donnés en fonction du pays dans lequel est effectué le projet et en fonction de l'équation de calcul du débit.

Pour le Burkina Faso il s'agira des équations 39,40,41,42,43,44 et 45 qui seront utilisées pour

les calculs de débits.

Tableau 19 : coefficients de a,s,i,k, et d

Equations	a	s	i	k	p
39	0,41	0,425		0,923	-
40	0,254	0,462	0,101	0,976	-
41	0,407	0,532		0,941	-
42	0,0912	0,643	0,399	1,019	-
43	35600	0,342	-	-	-1,808
44	203	0,459	-	0,813	-1,301
45	22400	0,363	0,059	-	-1,748

Tableau 20 : Résultat du calcul de débit par méthode CIEH

Paramètres	Symbole	Unité	BV 1
Superficie BV	S	km ²	3,229
Indice globale de pente	%	m/km	8,23
Pluie decennale	P10	mm	88,7
Pluie journalière moyenne	Pm10	mm	82,491
Coefficient de ruissellement	Kr10	%	25,75
Coefficient d'abattement	A	-	0,93
Eq 39 : S Kr10			13,5296064
Eq 40 : S Kr10 Ig			14,05307392
Eq 42 : S Kr10 Ig			12,3069979
Eq 44 : S Kr10 Pm10			15,66300966
Débit (Q10)			13,88817197

c. Méthode Caquot

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

$$Q_{brut} = K^{1/u} \times I^{v/u} \times C^{1/u} \times A^{w/u}$$

- A est la surface du bassin en km²
- I l'intensité de l'averse exprimée en mm/h

- C le coefficient de ruissellement
- K, u, v, w sont des coefficients d'ajustement

Tableau 21 : Formules des coefficients d'ajustement pour la méthode de Caquot

K	U	V	W	M	m	μ
$\frac{0,5^b \times a}{6,6}$	$1 + 0,287b$	$-0,41b$	$0,95 + 0,507b$	$\frac{L}{\sqrt{A}}$	$\left(\frac{M}{2}\right)^\mu$	$\frac{0,84b}{1 + 0,287b}$

- a et b sont les coefficients de Montana
- M est l'allongement des bassins versants
- m est facteur correctif en fonction de la morphologie des Bassins versant.

Avant l'application de la formule de Caquot quelques conditions sont à vérifier :

- ✓ Pour $M \neq 2$, il faut nécessairement corriger le Débit par la formule :

$$Q_{cor} = m \times Q_{brut}$$

- ✓ Pour $M < 0,8$ les résultats ne sont pas satisfaisants. Donc, 0,8 constitue la limite inférieure de M. Si $M < 0,8$ alors on prendra $M = 0,8$

- Coefficient de ruissellement

Dans le cas d'un assemblage en série des sous bassins versant, la formule

suivante est appliquée : $C_{eq} = \frac{\sum C_j \times A_j}{\sum A_j}$

- Indice de Pente : $I_{eq} = \frac{(\sum L_j)^2}{\left(\sum \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}\right)^2}$

- Surface équivalente A_{eq} et allongement équivalent M_{eq} : $A_{eq} = \sum A_j$ et $M_{eq} = \frac{\sum L_j}{\sqrt{\sum A_j}}$

Tableau 22 : Résultats du calcul de débit d'assemblage des sous bassins versants par méthode de caquot

					a	7,29				
						7,37				
					b	-0,5				
Bassins Versants		Assemblage	Superficie Aj (ha)	Superficie cumulée Aeq = $\sum A_j$ (ha)	Coefficient de ruissellement ©	Chemin hydraulique Lj (hm)	Qj (m3/s)	$\sum Q_j$ (m3/s)	Qeq (m3/s)	Qp (m3/s)
Série 1	SBV1-1	SBVeq1 = SBV1-1	26,08	26,08	0,65	15,47	3,51	3,51	3,51	3,51
	SBV1-2	SBVeq2 = SBV1-2 + SBV1-1	7,48	33,56	0,65	8,01	1,34	4,85	4,06	3,42
Série 2	SBV3-1	SBVeq1 = SBV3-1	100,8	100,8	0,65	46,24	8,63	8,63	8,63	8,63
	SBV3-2	SBVeq2 = SBV3-2 + SBV3-1	22,75	123,55	0,65	19,56	2,68	11,31	9,33	7,77
Série 3	SBV4-1	SBVeq1 = SBV4-1	61,7	61,7	0,65	17,43	5,37	5,37	5,37	5,37
	SBV4-2	SBVeq2 = SBV4-2	58,6	58,6	0,65	22,74	6,47	6,47	6,479	6,47
	SBV4-3	SBVeq1=SBV4-3	32,09	32,09	0,65	21,37	3,85	3,85	3,85	3,85
	SBV4-4	SBVeq2 = SBV4-4	36,12	36,12	0,65	20,01	3,01	3,01	3,01	3,01

II. ETUDE HYDRAULIQUE

Après l'évaluation des débits caractéristiques des bassins et sous-bassins versants, l'étude hydraulique vise à dimensionner les sections hydrauliques aptes à évacuer efficacement les débits ainsi estimés. Afin de contextualiser cette analyse, un diagnostic de l'état initial de la zone d'étude a été réalisé. Celui-ci a permis de recenser les ouvrages hydrauliques existants implantés le long de l'ancienne chaussée, constituant ainsi une base de référence pour l'évaluation des capacités hydrauliques actuelles et la proposition d'éventuelles améliorations.

Tableau 23 : Récapitulatif des Ouvrages hydrauliques

Ouvrages	Dimensions(cm)	Latitude	Longitudes	Points Kilométriques
Dalots				
OH1	3x200x100	11°50'59.91"N	2°58'25.56"O	Pk 11 + 700
OH2	2x200x100	11°51'20.94"N	2°58'26.39"O	Pk 11 + 963
OH3	1x150x150	11°51'21.63"N	2°58'27.19"O	Pk 12 + 058
OH4	1x400x200	11°52'20.57"N	2°58'31.78"O	Pk 12 + 641
OH5	4x200x120	11°52'30.61"N	2°58'31.92"O	Pk 13 + 904
OH6	1x400x200	11°52'40.81"N	2°58'32.05"O	Pk 13 + 937
OH7	2x150x150	11°53'57.81"N	2°58'45.46"O	Pk 17 + 975
OH8	1x150x150	11°53'64.81"N	2°58'53.46"O	Pk1 + 023
OH9	1x150x150	11°53'64.81"N	2°58'53.46"O	Pk 1 + 485
OH10	1x100x100	11°53'64.81"N	2°58'53.46"O	Pk 1 + 964
OH11	1x100x100	11°53'64.81"N	2°58'53.46"O	Pk 2 + 326

1. Principe de dimensionnement

Pour dimensionner un ouvrage hydraulique, il faut connaître la condition de fonctionnement dont on distingue deux types selon :

- La sortie noyée : le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage (càd $H_2 > D$) ;
- La sortie dénoyée : pour les zones non inondables ou l'écoulement est à surface libre ou à pleine section (càd $H_2 \leq D$)

La discussion du type d'écoulement dans ce cas est fonction de la hauteur d'eau en amont H_1 .

- Si $H1/D < 1,25$: c'est un écoulement à surface libre
- Si $H1/D > 1,25$: c'est un écoulement à pleine section

Avec : $H1$ est la hauteur d'eau en amont, $H2$ est la hauteur de l'eau dans la partie aval et D est le diamètre de la buse ou la hauteur du dalot ;

Pour ce présent projet, la sortie dénoyée est priorisée car l'objectif est de mettre la chaussée hors portée des eaux.

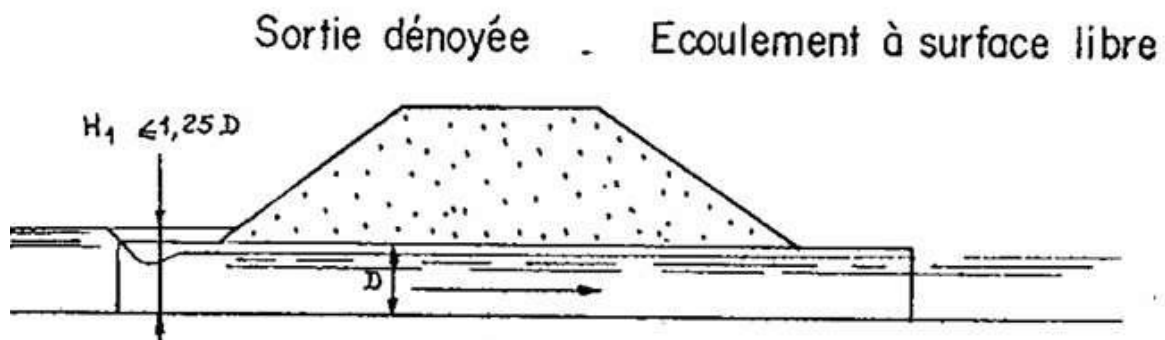


Figure 25 : écoulement à surface libre

2. Données nécessaires pour le dimensionnement hydraulique

- Débit de crue du projet: Q (m^3/s)
- La côte de la ligne rouge au droit du franchissement H (m)
- La cote du fond du talwegs $hmin(m)$
- La côte max d l'eau $hmax$ (m)
- La largeur de la plateforme
- Nature de la buse (métal ou béton)
- La vitesse maximale d'écoulement des eaux $Vmax$ (m/s)

3. Dimensionnement pour sortie libre

Les abaques sont nécessaires pour la sortie dénoyée car elles facilitent le calcul. Le dimensionnement se fait en trois étapes :

a. Détermination de $H1$ amont

- $H1^* = H1/D \Rightarrow H1 = D \times H1^*$

Or $HI^* = f(Q^*)$ avec HI^* est la hauteur réduite en amont et Q^* est le débit de projet réduit

$$- Q^* = \frac{Q}{A\sqrt{(2gD)}} \text{ pour un dalot}$$

b. Détermination de la pente longitudinale critique I_c

– $I_c^* = f(Q^*)$ avec I_c^* est la pente critique réduite.

$$- I_c^* = I_c \times \frac{(k^2 \times B^{\frac{1}{3}})}{g} \Rightarrow I_c = \frac{g \times I_c^*}{(k^2 \times B^{\frac{1}{3}})} \text{ pour un dalot}$$

$$- Q^* = \frac{Q}{\sqrt{(g \times B^5)}} \text{ pour un dalot}$$

c. Détermination de la vitesse d'écoulement V_{max}

– $V^* = f(Q^*)$ avec V^* est la vitesse maximale réduite.

$$- V^* = \frac{V}{(K \times B^{\frac{2}{3}}) \sqrt{I_c}} \times V^* \text{ pour un dalot}$$

$$- Q^* = \frac{Q}{(K \times B^{\frac{8}{3}}) \times \sqrt{I_c}} \text{ pour un dalot}$$

4. Application du principe de dimensionnement hydraulique

Les débits finals de dimensionnement pour chaque bassin versant, obtenus par les méthodes d'OSTROM et CIEH, sont déterminés en faisant la moyenne des deux résultats. L'objectif est d'éviter tout risque de sous-dimensionnement ou de surdimensionnement les sections hydrauliques.

$$Q_{10} = 0,5 \times (Q_{ostrom} + Q_{CIEH})$$

Après cette opération, une répartition théorique du débit est effectuée afin d'attribuer des pourcentages qui correspondent aux sections des ouvrages hydrauliques existants à l'exutoire considéré. Cette démarche permet des vérifications et si nécessaire, optimiser les ouvertures de l'ouvrage

Tableau 24 : Résultat du dimensionnement des sections des ouvrages hydrauliques

Etude hydraulique											
Bassin versant	BV_1	BV_2	BV_3					BV_4			
Débit de projet Q10 (m³/s)	11,71	6,25	38,97					7,73			
Débit de projet Q10 (m3/s)/ouvrage	11,71	6,25	1,60	5,69	22,78	5,69	3,20	3,31	2,21	2,21	
Type d'ouvrage existant	Nouveau	Dalot 3×200×100	Dalot 1x150x150	Dalot 1x400x200	Dalot 4x400x200	Dalot 1x400x200	Dalot 2x150x150	Buse ø 100	Buse ø 100	Dalot 1x100x100	Dalot 1x100x100
Propositions des nouveaux ouvrages	Dalot 3×200×100	Dalot 2×200×100	Dalot 1×150×150	Dalot 1×400×200	Dalot 4×400×200	Dalot 1×400×200	Dalot 2×150×150	Dalot 1×150×100	Dalot 1×100×100	Dalot 1×100×100	
Hauteur du dalot D	1,00	1,00	1,50	2,00	1,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	
Largeur de la cellule B	2,00	2,00	1,50	4,00	4,00	4,00	1,50	1,50	1,00	1,00	
Vitesse admissible (m/s)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
Nombre de cellule	3	2	1	1	4	1	2	1	1	1	
Débit par cellule	3,90	3,13	1,60	5,69	5,69	5,69	1,60	3,31	2,21	2,21	
Pésanteur g	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	
Débit réel de l'ouvrage	18,00	12,00	6,75	24,00	48,00	12,00	13,50	4,50	3,00	3,00	
Calcul de la Profondeur d'eau en amont											
Débits reduit Q*	0,441	0,353	0,131	0,114	0,321	0,321	0,131	0,499	0,499	0,499	
Hauteur reduite H* (abaque 77 BCEOM)	0,92	0,84	0,74	0,53	0,80	0,82	0,53	0,70	0,54	0,68	
Profondeur d'eau en amont H1	0,92	0,84	1,11	1,06	0,8	0,82	0,795	0,70	0,54	0,68	
Vérification H*/D ≤ 1,25	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	
Revanche D-H1(m)	0,1	0,2	0,4	0,9	0,2	0,2	0,7	0,3	0	0,3	
Calcul de la pente critique											
Débits reduit Q**	0,0249	0,0199	0,0430	0,0011	0,0011	0,0011	0,0430	0,0889	0,4504	0,4504	

Pente critique Ic* réduit abaque 82 BCEOM	2,65	2,75	3	3,8	2,9	2,9	2,7	3,3	3,8	3
Coefficient de rugosité du béton (k)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Pente critique Ic	0,0053	0,0055	0,0052	0,0060	0,0058	0,0058	0,0047	0,0066	0,0076	0,0060
Détermination de la vitesse de sortie										
Débits réduit Q***	0,1206	0,0948	0,1072	0,0260	0,0265	0,0265	0,1129	0,1975	0,3618	0,4072
Vitesse v* (abaque 84 BCEOM)	0,35	0,36	0,39	0,21	0,21	0,21	0,35	0,32	0,25	0,27
Vitesse de sortie V	2,82	2,95	2,58	2,85	2,80	2,80	2,20	2,38	1,53	1,46
Vsortie ≤ Vmax	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Section retenue	3x200x100	2x200x100	1x150x150	3x400x200	4x400x200	1x400x200	2x150x150	1x150x100	1x100x100	1x100x100

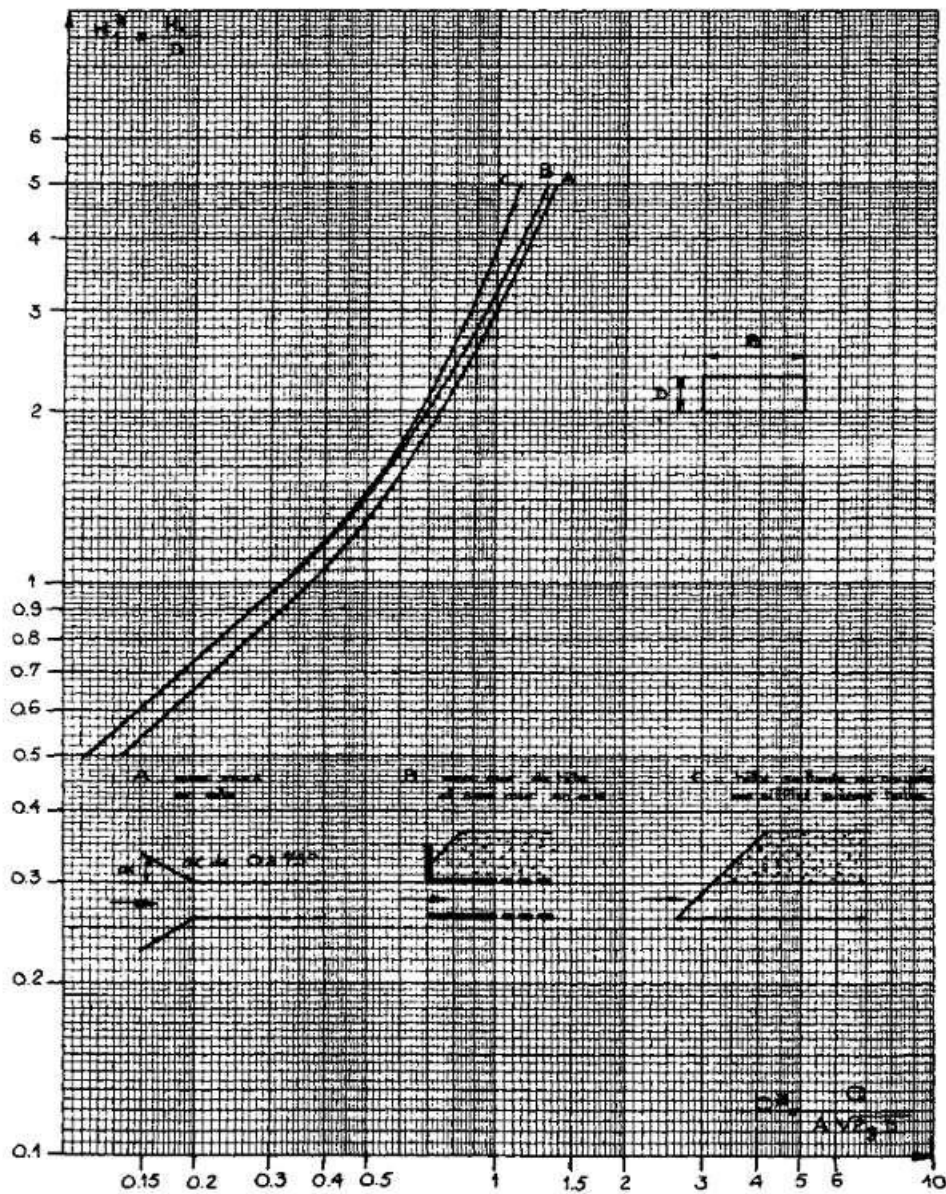


Figure 47 : Abaque de calcul de la Valeur adimensionnelle de la hauteur réduite H^* .

Figure 26 : Abaque de calcul de la valeur adimensionnelle de la hauteur réduite H^*

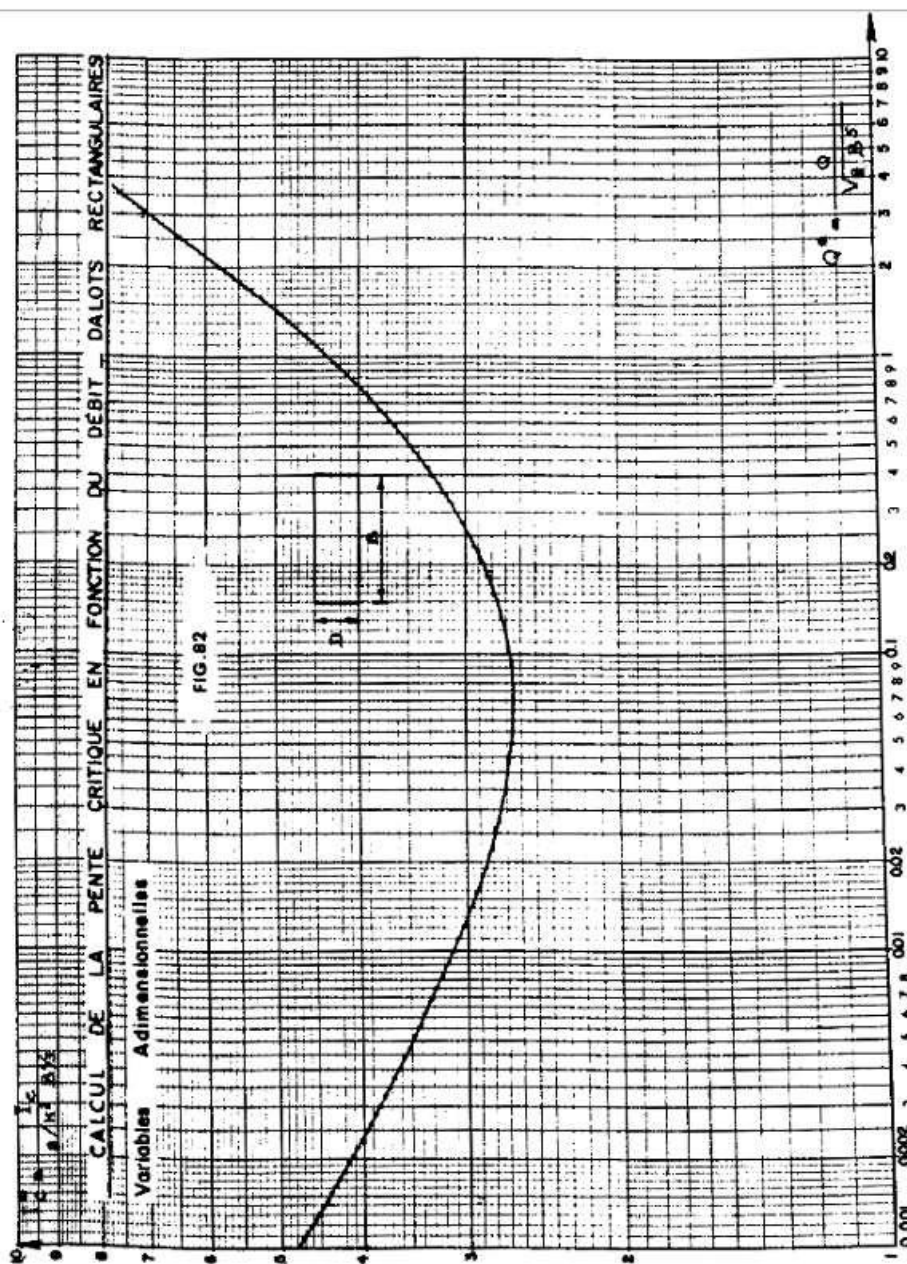


Fig. 82. Calcul de la pente critique en fonction du débit. Dalots rectangulaires.

Figure 27 : Abaque de calcul de la pente critique I_c

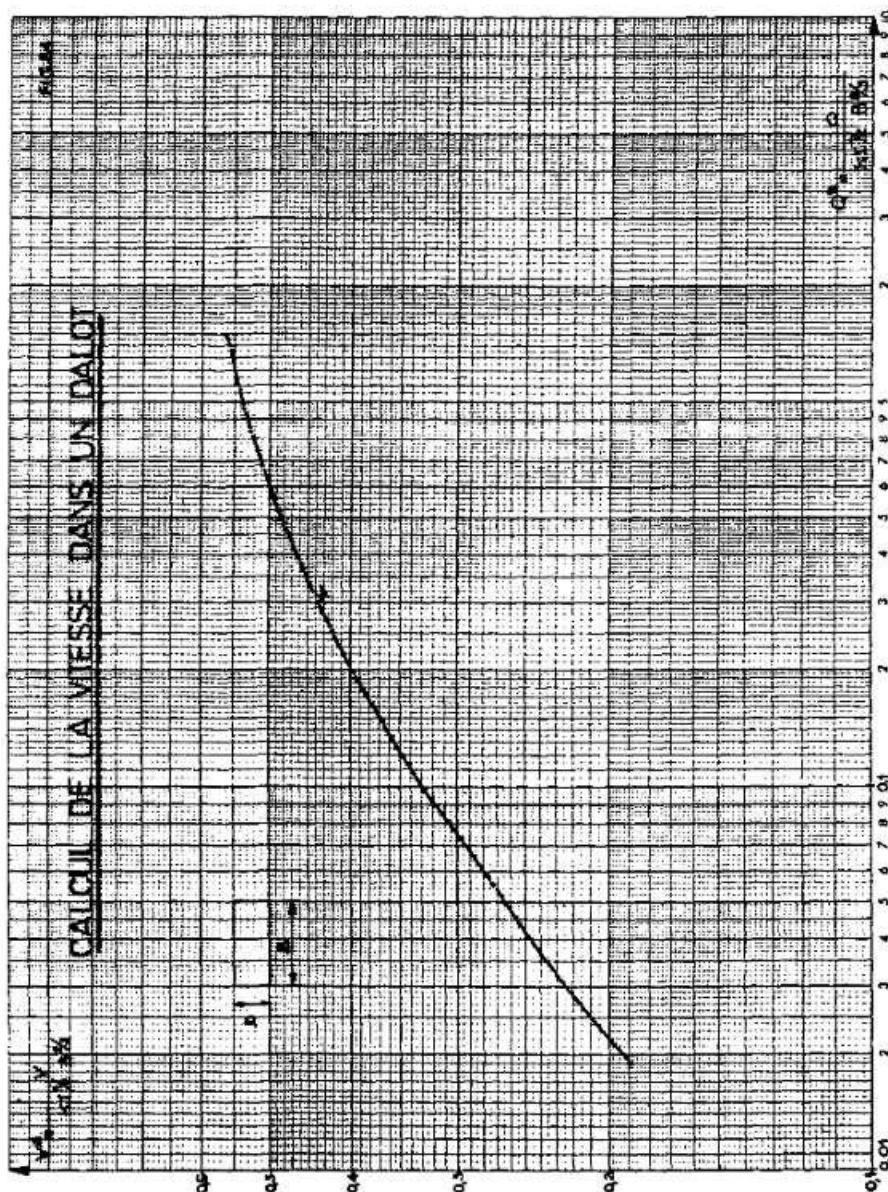


Fig. 84. Calcul de la vitesse dans un dalot.

Figure 28 : Abaque de calcul de la vitesse dans un dalot.

5. Dimensionnement des sections hydraulique des caniveaux

Le dimensionnement hydraulique des caniveaux se fait en se basant sur le principe de l'écoulement uniforme. La forme de Manning Strickler donné par :

$$Q = V \times S \text{ avec } V = K_s \times R^{2/3} \times \sqrt{I}$$

- V la vitesse dans le canal
- Q le débit s'écoulant dans le canal
- K_s le coefficient de rugosité pris à 67 pour le béton
- R le rayon hydraulique égale à Section mouillée sur Périmètre mouillée (S_m/P_m)
- I la pente du canal fixé à 1%
- S la section mouillée ($B \times Y$)
- P le Périmètre mouillé (m) égale à $B + 2xh(1+m^2)^{0,5}$
- m: fruit des talus, $m = 0$, pour les sections rectangulaires

Pour les ouvrages en béton, on fixe $V_{max} = 3 \text{ m/s}$ et $V_{min} = 0,5 \text{ m/s}$.

a. Principe du dimensionnement

La détermination des sections des caniveaux consiste généralement à fixer la base et à calculer le tirant d'eau ou inversement. On compare ensuite le débit de crue des sous bassins versants avec celui transitant dans le caniveau par approximations successives. Cela se fait en jouant sur la hauteur et la largeur du caniveau jusqu'à trouver la plus petite différence possible entre les deux crues. Une fois cet écart réduit au minimum, les dimensions ainsi trouvées sont retenues en ajoutant au tirant d'eau une revanche d'eau de 15 cm fixée pour ce projet.

La pente est prise égale à 1% car choix permet un bon écoulement en évitant une grande vitesse d'écoulement pouvant causer l'érosion du fond de caniveau.

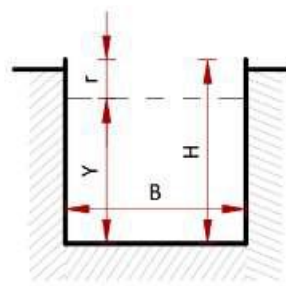


Figure 29 : Géométrie de caniveau ordinaire à section rectangulaire.

Tableau 25 : Résultat du dimensionnement des sections des caniveaux

Dimensionnement Hydraulique des Caniveaux : Méthode de la Débitance																	
Assemblage	$Q_p = K_s \times S \times R H^{2/3} \times I^{1/2}$							Q (m ³ /s)	D = $K_s \times S \times R^{2/3}$	Q/I ^(1/2)	K = D- Q/I ^(1/2)	Sections adoptés (m)			Revanche (m)	Vitesse (m/s)	Vérification
	K _s	B	Y	S (m ²)	P(m)	RH (m)	I					B	H				
SBVeq1 = SBV1-1	70	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,01	3,51	33,65	35,10	-1,44751	1,00	1,15	0,38	0,15	3,05	Vérifiée
SBVeq2 = SBV1-2 + SBV1-1	70	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,01	3,42	33,65	34,20	-0,54751	1,00	1,15	0,37	0,15	2,97	Vérifiée
SBVeq1 = SBV3-1	70	1,50	1,50	2,25	4,50	0,50	0,01	8,63	99,22	86,30	12,91878	1,50	1,65	0,63	0,15	3,49	Vérifiée
SBVeq2 = SBV3-2 + SBV3-2	70	1,50	1,50	2,25	4,50	0,50	0,01	7,77	99,22	77,70	21,51878	1,50	1,65	0,59	0,15	3,14	Vérifiée
SBVeq1 = SBV4-1	70	1,50	1,20	1,80	3,90	0,46	0,01	5,37	75,25	53,70	21,55046	1,50	1,35	0,47	0,15	2,65	Vérifiée
SBVeq2 = SBV4-2	70	1,50	1,20	1,80	3,90	0,46	0,01	6,47	75,25	64,70	10,55046	1,50	1,35	0,52	0,15	3,20	Vérifiée
SBVeq1=SBV4-3	70	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,01	3,85	33,65	38,50	-4,84751	1,00	1,15	0,39	0,15	3,35	Vérifiée
SBVeq2 = SBV4-4	70	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,01	3,01	33,65	30,10	3,55249	1,00	1,15	0,35	0,15	2,62	Vérifiée

III.2 CALCULS STRUCTURAL DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Cette étape du projet consiste à déterminer les sections de béton et d'aciers nécessaires pour garantir la résistance, la stabilité et la durabilité de l'ouvrage. Le dimensionnement manuel sera d'abord appliqué au dalot présentant la plus grande section hydraulique. Ensuite, le logiciel CYPE – version 2017 sera utilisé pour le dimensionnement classé selon sa capacité hydraulique. Enfin, une note de calcul complète sera établie pour l'ensemble des sections de caniveaux.

1. DIMENSIONNEMENT DE DALOT

1.1 Note de calcul pour dalot 4x400x200

a. Prédimensionnement de l'ouvrage

On désigne par e_t , e_p , e_r les épaisseurs respectives du tablier, des piédroits et du radier du dalot à pré dimensionner.

$$e = \frac{B}{32} + 0,125, \text{ avec } B \text{ la largeur maximale de la section hydraulique du dalot.}$$

$$\text{Application numérique : } e = \frac{4}{32} + 0,125 = 0.25 \text{ m}$$

b. Description de l'ouvrage

- Epaisseur du tablier $e_t = 30 \text{ cm}$
- Epaisseur du radier $e_r = 30 \text{ cm}$
- Epaisseur des piédroits $e_p = 30 \text{ cm}$
- Largeur roulable $LR = 11 \text{ m}$
- Largeur chargeable $L = 11 \text{ m}$
- Nombre de voies $n = 3 \text{ voies}$
- Guide roue en béton $h = 1,1 \text{ m}$
- Classe du pont: classe I car la largeur roulable est supérieure à 7 m.

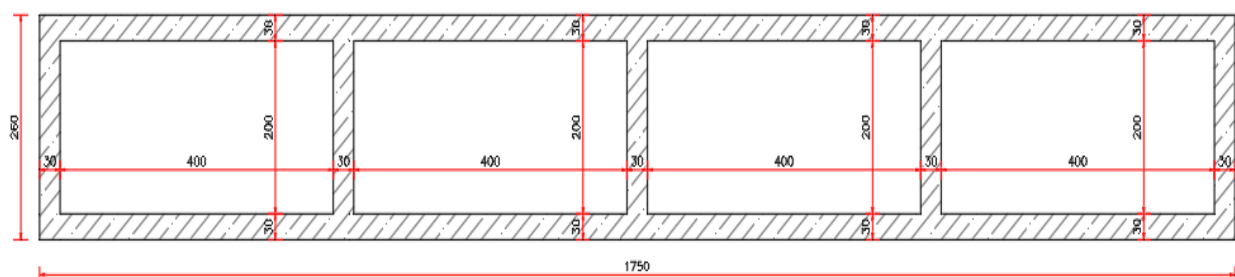


Figure 30 : Coupe transversale du dalot

2. Hypothèse des calculs

2.1 Règlements et instructions

Le ferrailage sera réalisé conformément aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé, selon la méthode des états limites, plus précisément les règles B.A.E.L 91 révisées en 1999.

Les prescriptions appliquées s'appuient également sur le fascicule n°61 relatifs aux charges d'exploitation, à la conception, au calcul et aux épreuves des ouvrages d'art (Cahier des Prescriptions Communes – CPC), ainsi que sur le fascicule 85-A du CCTG et son additif, portant sur l'exécution des ouvrages en génie civil en béton armé ou précontraint.

Enfin, le Guide de conception des ponts-cadre et portiques édité par le SETRA constitue également une référence technique pour le dimensionnement et la mise en œuvre des armatures.

2.2 Caractéristiques des matériaux

a. Béton

- Dosage 400 Kg/m³
- Béton B30 de poids volumique $\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Résistance à la compression à 28jours $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,4 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul du béton en compression à ELU $\sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 30}{1 \times 1,5} = 17,00 \text{ MPa}$
avec $\theta=1$ et $\gamma=1,5$

- Contrainte limite de l'acier $\bar{\sigma}_{st} = \min [f_e ; \max (0,5 f_e ; 110 \sqrt{n f_{t28}})]$, $\bar{\sigma}_{st} = 216 \text{ MPa}$ avec

$\eta = 1,6$ car acier haute adhérence

b. Remblai

Nous supposons que le remblai d'accès est un graveleux latéritique naturel.

- Poids spécifique du remblai $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Coefficient de poussée des terres $K = 0,33$
- Angle de frottement $\varphi = 30^\circ$

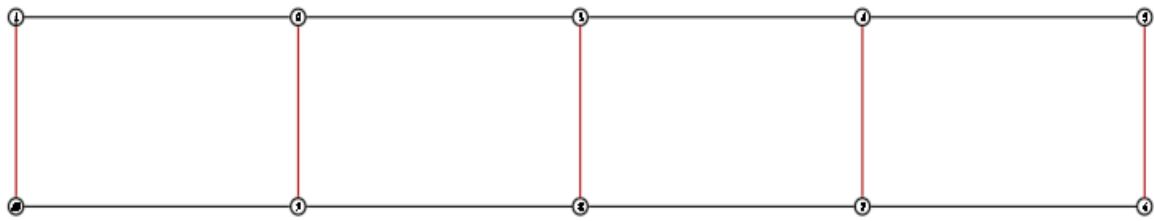


Figure 31 : schéma statique de l'ouvrage hydraulique

2.3 Evaluation des charges permanentes

a. Charges permanente sur le tablier

Tableau 12 : Charge permanente sur tablier

Sollicitations	Méthode	Résultat	Unité
Le poids propre du tablier P_p	$et \times \gamma_{\text{beton}} \times b1$	7,5	KN/ml
Le poids guide roues en béton P_g	$eg \times \gamma_{\text{beton}} \times hg$	40	KN/ml
Le poids du remblai au-dessus du tablier P_r	$eb+f \times \gamma_{\text{remblais}}$	13,6	KN/ml
Le poids du revêtement au-dessus du tablier P_R	$ebitume \times \gamma_{\text{bitume}}$	1,68	KN/ml
Calcul de charge permanente P1		62,78	KN/ml

Tableau 26 : Charge permanente sur radier

Sollicitations	Méthode	Résultat	Unité
Charge permanente du tablier G_t	P1	62,78	KN/ml
Poids propre des piédroits P_v	$n \times ev \times H \times \gamma_{\text{beton}}$	60	KN/ml
Poids propre du radier P_{rd}	$et \times \gamma_{\text{beton}}$	7,5	KN/ml
Calcul de charge permanente P2		130,28	KN/ml

b. Charge de remblai sur les piédroits

La poussée des terres est exercée uniquement sur les piédroits extrêmes donc le calcul de la charge est fait sur l'un des piédroits et uniformiser sur l'autre. Cette charge est calculée suivant la hauteur du point considéré par rapport à la ligne moyenne de la fibre neutre du tablier et du radier.

– Niveau de référence du tablier

$$h_1 = h_r + \frac{e_t}{2} = 0,68 + \frac{0,30}{2}$$

$$h_1 = 0,83 \text{ m}$$

– Niveau de référence du Radier

$$h_2 = h_r + e_t + H_{in} + \frac{e_r}{2} = 0,68 + 0,30 + 2 + \frac{0,30}{2}$$

$$h_2 = 3,13 \text{ m}$$

Tableau 27 : Poussée de terre permanente sur les piédroits de rive

Charges	Méthode	Résultats	Unité
Poussée de terre (P_{t1}) en h_1	$K_a \times \gamma_t \times h_1 \times b_1$	6,468	KN/ml
Poussée de terre (P_{t2}) en h_2	$K_a \times \gamma_t \times h_2 \times b_1$	13,926	KN/ml

Les charges permanentes sur le dalot sont présentées sur la figure suivante :

2.4 Evaluation des charges d'exploitation routière

Les charges d'exploitations routières à considérer dans les calculs sont notamment :

- Les systèmes de charge A ;
- Les systèmes de B (Bc, Bt, Br) ;
- Les systèmes de charge Militaire (M80 et M120).

a. Système A

Il est composé des charges uniformément réparties d'intensité variable suivant la longueur surchargée et qui correspondent à une ou plusieurs files de véhicule à l'arrêt

sur le pont. Ce système représente les embouteillages ou un flot de véhicule composé de voiture légère et poids lourds.

La valeur de ce chargement est :

$$Q_{A(l)} = \gamma_q \times a_2 \times q(l)$$

$$q(l) = \sup \left\{ \frac{a_1 \times A(l)}{4 - 0,002 \times l} ; A(l) = 2,3 + \frac{360}{l+12} \text{ et } a_2 = \frac{V_0}{V} \right.$$

Avec :

- γ_q : coefficient de pondération à l'ELS égal à 1,2 et à l'ELU égal à 1,6 ;
- a_1 : coefficient de dégression transversal lu en fonction de la classe du pont et du nombre de voie ;
- a_2 : coefficient calculé ;
- V_0 : largeur dépendant de la classe du pont (m) ;
- V : largeur d'une voie (m) ;
- $A(l)$: charge fonction de largeur de voie chargée (kN/m²) ;
- $q(l)$: densité de charge effectif ou charge résultant du maxima (kN/m²) ;
- l : largeur chargée (m).

Tableau 28 : Valeur de a_1 pour système A

Classe du pont			Nombre de voies chargées (a_1)				
	Largeur roulable	V_0	1	2	3	4	5
I	≥ 7 m	3,5 m	1	1	0,95	0,75	0,75
II	$5,5 \text{ m} < L_r < 7 \text{ m}$	3,0 m	1	0,9	-	-	-
III	$\leq 5,5$ m	2,75 m	0,9	0,8	-	-	-

L'ouvrage est de classe I avec une chaussée de 3 voies, alors l'application donne :

- $a_1=0,95$ $a_2= 1,17$ $A(L) = 17,95$ $q(l)=17,05$ KN/m² ;
- Le chargement $Q_{A(l)} = 23,87$ KN/m² à l'ELS et $Q_{A(l)} = 32,03$ KN/m² à l'ELU.

b. Système B

Le système B est composé de quatre sous-systèmes B_c , $B_c \text{ Niger}$, B_t et B_r . La surcharge routière à caractère normal que renferme le système B à considérer pour le calcul des efforts internes de la structure est :

$$Q_{Bi} = \gamma_q \times \delta_i \times b_i \times B_i \quad \text{Avec} = 1 + \frac{4}{1+0,2 \times L} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{G}{S}}$$

Avec :

- γ_q : coefficient de pondération à l'ELS à 1,2 et à l'ELU égal à 1,6 ;
- δ_i : coefficient de majoration dynamique ;
- b_i : coefficient de pondération dû à la dégressivité transversale ;
- B_i : densité de charge effectif du système résultant de la surface d'impact du convoi ;
- G : poids total des charges permanentes que supporte le tablier ;
- S : poids total des charges des essieux du système
- $t_x \times t_y$: surface d'impact du convoi

3. Système sous charge Bc

Dans le cadre du calcul relatif au système Bc, notre analyse portera essentiellement sur le sous-système Bc (Niger). Ce choix s'explique par le fait qu'il représente le cas défavorable du sous-système Bc dans un dimensionnement de pont. Au sein de la zone de l'UEMOA, le sous-système Bc est standardisé par le sous-système Bc Niger (13 tonnes). Ce véhicule de référence, propre au système Bc, est constitué de trois essieux. Chacun de ces essieux est équipé de roues simples avec pneumatiques, conformément aux spécifications techniques établies :

- Masse totale : 32 tonnes ;
- Masse totale portée par chacun des essieux arrière : 13 tonnes ;
- Masse portée par l'essieu avant : 6 tonnes ;
- Longueur d'encombrement : 10.5m ;
- Largeur d'encombrement : 2.5m ;
- Distance entre deux essieux arrière : 1.5m ;
- Distance de l'essieu avant au premier essieu arrière : 4.5m ;
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu : 2m ;
- Surface d'impact d'une roue arrière : carré de 0.30m de côté ;
- Surface d'impact d'une roue avant : carré de 0.25m de côté.

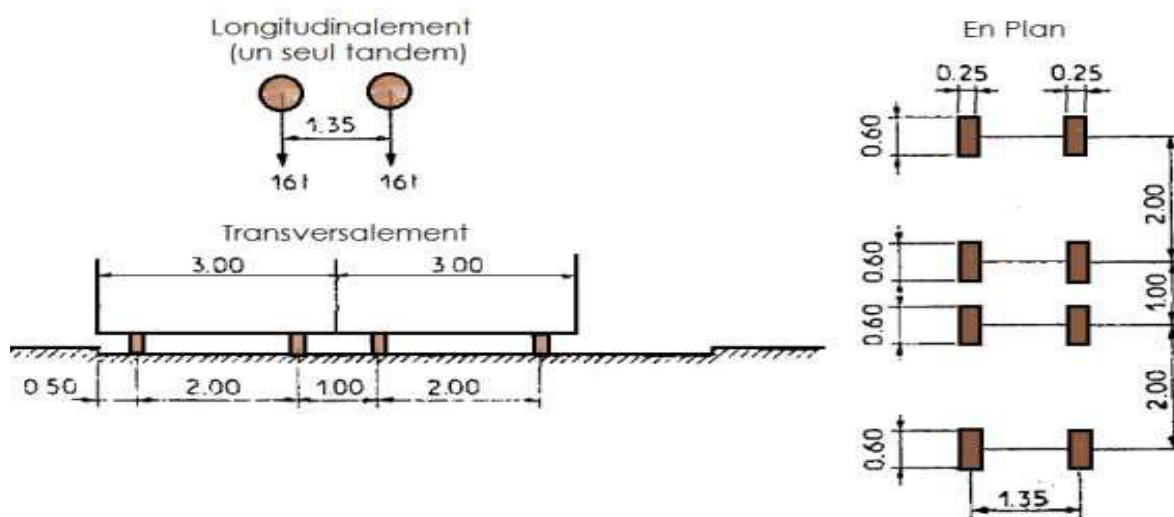


Figure 32 : Représentation du système Bt

- Coefficient Bt égal à 1 pour les ponts de classe I
- Charge par Essieu égale à 16 tonnes
- Position défavorable du système $Q = 2 \times 2 \times 160 \times 1 = 640 \text{ KN}$
- Largeur d'influence suivant l'axe X égale 1,6 m
- Largeur d'influence suivant l'axe Y égale à 5,6 m
- Surface d'encombrement $Sc = 1,6 \times 5,6 = 8,96\text{m}^2$
- Charge surfacique $P = Q/Sc = 71,43 \text{ KN/m}^2$

4. Système sous charge Br

C'est une roue isolée disposée normalement à l'axe longitudinal de la chaussée. Le rectangle de la roue peut être placé n'importe où sur la largeur rouable de manière à produire l'effet le plus défavorable. Du point de vue intensité, les effets défavorables du système Br sont relativement inférieurs à ceux du système Bt et Bc donc pas besoin d'étudier ce système.

5. Systèmes de charge militaire

Les charges militaires sont de deux classes : les M80 et les M120. Chaque classe se compose de deux systèmes distincts :

- Mc : véhicule type à chenilles
- Me : groupe de deux essieux

Ainsi on distingue les systèmes Mc80, Mc120, Me80 et Me120.

Du point de vue intensité, les effets défavorables des systèmes Me sont relativement inférieur à ceux du système Mc ; donc pas besoin d'étudier le cas des systèmes Me. Cette hypothèse est prise en compte dans le cadre d'un pont à cadre fermé (cas du présent projet). Cependant dans le cas d'un pont à poutre, toutes les charges doivent être calculer avant de chercher les systèmes le plus défavorable.

a. Système Mc120

Le système Mc120 se compose de véhicules type à chenilles. Il comporte deux chenilles et le rectangle d'impact de chacune d'elle est supposé uniformément chargé.

La charge dû à ce système est donnée par la relation : $Q_{MC120} = \delta_{MC120} \times B_{MC120}$

Les caractéristiques du système Mc120 sont représentées dans la figure ci-dessous.

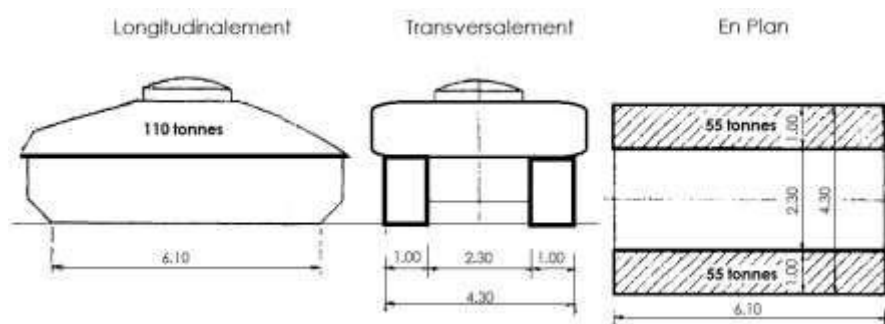


Figure 33 : Représentation du système Mc120

- Charge par chenille égale à 55 tonnes
- Position défavorable du système $Q = 2 \times 550 = 1100$ KN
- Largeur d'influence suivant l'axe X égale 6,10 m
- Largeur d'influence suivant l'axe Y égale à 4,30 m
- Surface d'encombrement $S_c = 6,1 \times 4,30 = 26,23$ m²
- Charge surfacique $P = Q/S_c = 41,94$ KN/m²

Tableau 29 : Application du sous-système Mc120

Charge permanente du tablier G (KN/ml)	$P_1 \times l_c \times (B + 2 \times e_v)$	1583,78
Coefficient de majoration dynamique δ_{bc}	$1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{S}}$	1,1254
Calcul de la surcharge routière sur tablier	ELS	ELU

Le coefficient de majoration dynamique δ_{bc}	1,1254	1,1254
Coefficient de pondération γ_q	1,2	1,6
Charge d'exploitation Q_{bt} (KN/ml)	75,467	101,252
Charge permanente G (KN/ml)	$P_2 \times l_c \times (B + 2 \times e_v)$	5758,28
Le coefficient de majoration dynamique δ_{bc}	$1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{S}}$	1,1254
Calcul de la surcharge routière sur le radier	ELS	ELU
Le coefficient de majoration dynamique δ_{bc}	1,128	1,128
Coefficient de pondération γ_q	1,2	1,6
Charge d'exploitation Q_{bt} (KN/ml)	73,097	98,072

Tableau 30 : Récapitulatif des surcharges routières des systèmes

Désignation	Tablier		Radier	
	ELS (KN/ml)	ELU (KN/ml)	ELS (KN/ml)	ELU (KN/ml)
Système A(l)	23,876	32,034	23,876	32,034
Système Bt*	131,992	177,090	126,573	169,819
Système Bc	29,407	39,454	28,200	37,834
Système Bc Niger	39,720	53,291	38,089	51,103
Système Mc80	70,974	95,224	69,345	93,038
Système Mc120	75,467	101,252	73,097	98,072
Cas défavorable	131,992	177,090	126,573	169,819

Ce tableau montre les résultats de chaque système de charge. Il permet de constater que le système Bt représente la charge la plus défavorable parmi celles des systèmes M, Systèmes A et les sous- systèmes notamment Br, Bc et Bc Niger. Par conséquent, dans la suite des calculs, seul les charges du système Bt sera pris en compte.

6. Calcul des sollicitations

La démarche adoptée pour calculer les sollicitations est la méthode des rotations des nœuds. Pour la suite de l'étude, le logiciel de calcul PYBAR est utilisé afin de déterminer les efforts

internes agissants sur l'ouvrage.

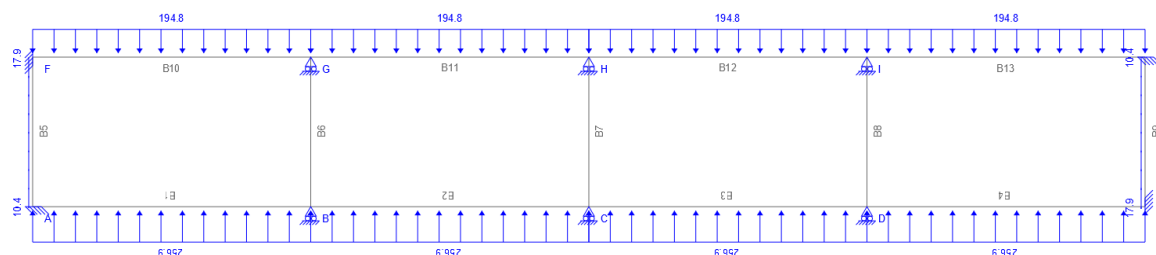


Figure 34 : Répartition des charges permanentes sur la structure

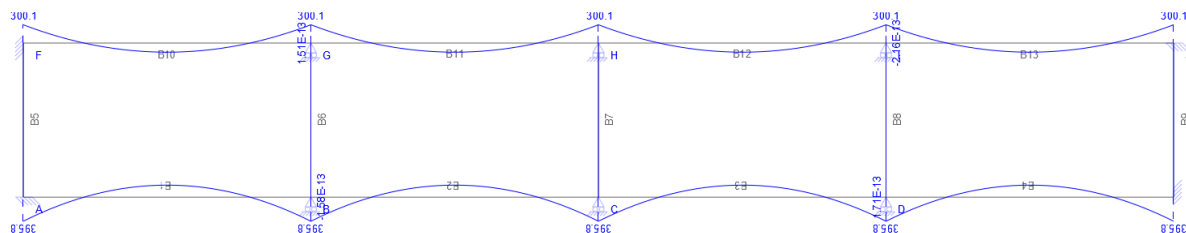


Figure 35 : Diagramme des moments dû aux charges permanentes

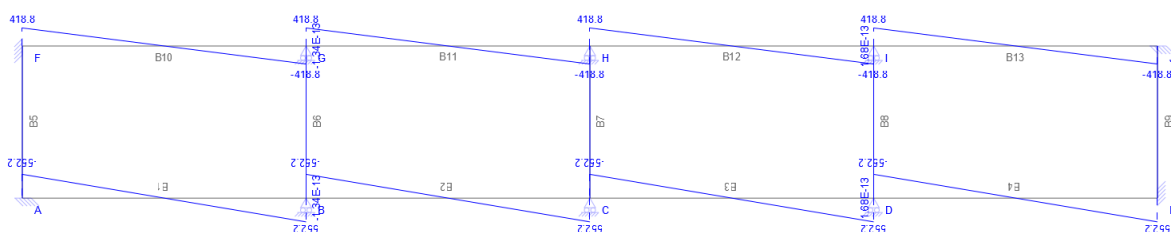


Figure 36 : Diagramme des efforts tranchants dû aux charges permanentes

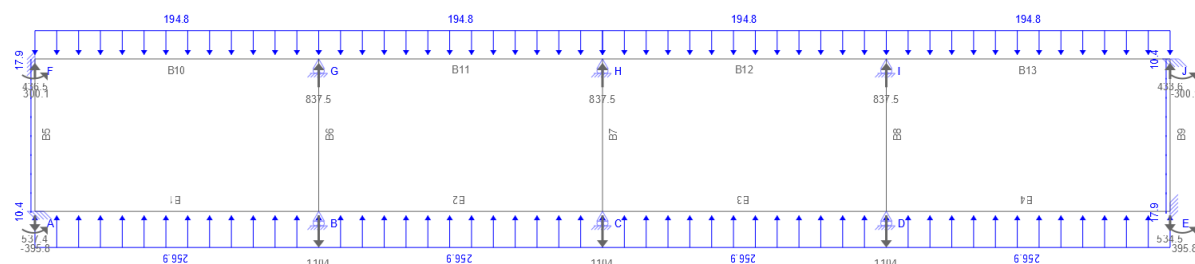


Figure 37 : Réaction aux appuis dû aux charges permanentes

Tableau 31 : Récapitulatif des sollicitations

Elément de l'ouvrage	Sollicitations en KN.m et KN		Charges G	Système Bt
Tablier	Moment sur appui (KN)	N6=N10	28,6	46,9
		N7=N8=N9	28,6	46,9
	Moment en travée (KN.m)	B10=B13	14,3	23,4
		B1=B4	14,3	23,4
	Réaction d'appui (KN)	R6=R10	78,2	121,98
		R7=R8=R9	152,3	249,9
Radier	Moment sur appui (KN)	N1=N5	51,5	44,9
		N2=N3=N4	51,5	44,9
	Moment en travée (KN.m)	B1=B4	25,8	22,5
		B2=B3	25,8	22,5
	Réaction d'appui (KN)	R1=R5	137,3	122
		R2=R3=R4	274,7	239,5
Piédroits	Effort en N1 et N5	N1 à N5	137,33	119,8
	Effort en N6 et N10	N6 à N10	76,2	125
	Moment maximal	B5=B9	9,3	48,86

7. Calcul des sections d'armatures

Tableau 32 : Dimensionnement structural du tablier à l'ELS

Elément 01: TABLIER	Formules	Résultats	
Largeur du Tablier	-	B (m)	11
Longueur de dimensionnement	-	b (m)	1
Epaisseur du tablier	-	e_t (m)	0,30
Hauteur utile	$0,9 \times e_t$	d (m)	0,27

Enrobage du tablier	-	e (m)	0,03
Calcul des armatures		Armature sur Appui	Armature en Travée
Moment à l'ELS Mser (KN.m)	-	99,4	49,7
Calcul de α	$\frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	0,513	0,513
Moment Mserb (KN.m)	$\frac{1}{2} b d^2 \cdot \sigma_{bc} \cdot \alpha \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)$	232,563	232,563
Vérification des Aciers comprimés	Mser < Mserb	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés
Calcul de bras de levier Z (m)	$d \times \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)$	0,224	0,224
Section d'acier As (cm ² /ml)	$\frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}}$	12,768	6,384
Condition de non fragilité As.min(cm ² /ml)	$0,23 \times \frac{b \times d \times f_{tj}}{f_e}$	3,260	3,260
Vérification	Amin < As	Condition vérifiée	Condition vérifiée
Section retenue As (cm ² /ml)	-	12,768	6,384
Vérification de la Contrainte tangentielle			
Contrainte de tangentielle T_u (MPa)	$\frac{V_u}{b d}$	0,93111	0,4494
Contrainte tangentielle limite T_{lim} (MPa)	$\min \left(0,2 \times \frac{f_{c28}}{\phi}; 5\right)$	4	4
Vérification	$T_u < T_{lim}$	Condition vérifiée	Condition vérifiée
Choix des armatures			
Armatures type HA	-	6HA12 + 6HA12	6HA12
Section commerciale (cm ²)	-	6,79	3,93

Espacement Esp1 (cm)	$\min \left(\frac{100 - (1 - n)(2 \times e)}{n - 1}; 20 \right)$	15	15
Acier de répartition Ar (cm ²)	$\max \left(\frac{A_{st}}{3}; 10mm \right)$	6,384	3,192
Armatures réparties type HA	-	6HA12	6HA10
Espacement des aciers repartis Esp2 (cm)	$\left(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1} \right)$	20	20

Tableau 33 : Dimensionnement structural du radier à l'ELS

Elément 02: RADIER	Formules	Résultats	
Largeur du Radier	-	B (m)	11
Longueur de dimensionnement	-	b(m)	1
Epaisseur du radier	-	e_t (m)	0,30
Hauteur utile	$0,9 \times e_t$	d (m)	0,27
Enrobage du radier	-	e (m)	0,03
Calcul des armatures		Armature sur Appui	Armature en Travée
Moment à l'ELS Mser (KN.m)	-	124,7	62,4
Calcul de α	$\frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}}$	0,513	0,513
Moment Mserb (KN.m)	$\frac{1}{2} b d^2 \cdot \sigma_{bc} \cdot \alpha \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right)$	232,563	232,563
Vérification des Aciers comprimés	Mser < Mserb	Pas d'aciers comprimés	Pas d'aciers comprimés
Calcul de bras de levier Z (m)	$d \times \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right)$	0,138	0,138
Section d'acier As (cm ² /ml)	$\frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}}$	16,017	8,015
Condition de non fragilité As.min(cm ² /ml)	$0,23 \times \frac{b \times d \times f_{tj}}{f_e}$	3,260	3,260
Vérification	Amin < As	Condition vérifiée	Condition vérifiée
Section retenue As (cm ² /ml)	-	16,017	8,015
Vérification de la Contrainte tangentielle			

Contrainte de tangentielle T_u (MPa)	$\frac{V_u}{bd}$	1,190	0,595
Contrainte tangentielle limite T_{lim} (MPa)	$\min (0,2 \times \frac{f_{c28}}{\phi}; 5)$	4	4
Vérification	$T_u < T_{lim}$	Condition vérifiée	Condition vérifiée
Choix des armatures			
Armatures type HA	-	8HA16	8HA12
Section commerciale (cm ²)	-	9,05	4,71
Espacement Esp1 (cm)	$(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1})$	12	17
Acier de répartition Ar (cm ²)	$\max (\frac{A_{st}}{3}; 10mm)$	8,008	4,007
Armatures reparties type HA	-	8HA12	8HA10
Espacement des aciers repartis Esp2 (cm)	$(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1})$	20	20

Le calcul des aciers des piédroits intermédiaires est effectué par mètre linéaire, en les considérant comme des poteaux de section 100 x 30 cm²

Tableau 34 : Dimensionnement structural du piédroit intermédiaire

Elément 03: Piédroit intérieur	Formules		Résultats
Hauteur de voile	H (m)	-	2,3
Longueur de dimensionnement	B (m)	-	1
Epaisseur du voile	e_p (m)	-	0,3
Enrobage du voile	E (m)	-	0,03
Longueur de Flambement	Lf (m)	$0,7 \times l_0$	1,26
Elancement	λ	-	1,732
Calcul de α	$(\lambda < 50)$	$\frac{0,85}{\left[1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2\right]}$	0,826
Section réduite	Br	$(B - E) \times (e_p - E)$	0,3
Coefficient k	k	1/2 de charge avant 90jours	0,751
Effort du poteau	Nu (KN)	$1,35G_t + 1,5 Q(l)$	237,6

Effort d'équilibre du béton	Nb (KN)	$\frac{B_r \times f_{bu}}{0,9}$	4030,89
Effort d'équilibre de l'acier	Ns (KN)	$\frac{k \times \left(\frac{\alpha}{0,85}\right) \times (N_u - N_s)}{0,85}$	-153,877
Vérification	Nb < 0	Béton est surabondant, donc nous avons besoin d'acier minimal seulement.	
Périmètre du voile	U (m)	$2 \times (B + e_p)$	2,6
Aire du béton	S (m ²)	$B \times e_p$	0,3
Calcul de l'acier minimal	A_{min} (cm ²)	$\max(4U; \frac{0,2B}{100})$	10,4
Calcul d'Acier maximal	A_{max} (cm ²)	5%B	150
Vérification	-	$A_{min} < A_{max}$	Condition vérifiée
Choix d'Armatures	-	Tableau des armatures	10HA12
Section commerciale	cm ²	-	5,5
Espacement des aciers tendus	Es(cm)	$\min(a + 10cm; 40cm)$	14
Acier de répartition	Ar(cm ²)	$\frac{1}{3} \Phi I \leq \Phi t \leq \Phi I$	8HA10
Espacement des aciers transversaux	Er(cm)	$\min(15\Phi t; a + 10cm; 40cm)$	15

Les piédroits de rives travaillent en flexion composé donc les sollicitations seront calculées comme suit :

Tableau 35 : Dimensionnement structural du piédroit de rive

Elément 04: Piédroit de rive	Formules		Résultats
Largeur du voile	B (m)	-	2,3
Longueur de dimensionnement	b(m)	-	1
Epaisseur du tablier	Epi (m)	-	0,3
Hauteur utile	d (m)	-	0,27

Enrobage du tablier	e (m)	-	0,03
Moment maximal de calcul	Mu (KN.m)	-	10,806
Moment maximal à l'ELS	Mser (KN.m)	-	7,43
Effort Normal à l'ELU	Nu (KN)	-	217.882
Effort Normal à l'ELS	Nser(KN)	-	147,85
Calcul à l'ELU			
Calcul de paramètre de déformation	α	$\frac{M_u}{M_u + M_{ser}}$	0,568
Calcul de l'excentricité additionnel	e_a (m)	$Max(0,2; \frac{L}{250})$	0,02
Calcul de l'excentricité	e_1 (m)	$\frac{M_u}{M_u} + e_a$	0,441
Chargement excentrique	-	Lf/h	5,36
		$Max(15; 20; \frac{E1}{h})$	29,391
Vérification de la condition	-	$\frac{Lf}{h} < Max(15; 20; \frac{E1}{h})$	Condition vérifiée
Calcul de l'excentricité second	e_2 (m)	$\frac{3 \times Lf}{10^4 \times h} \times (2 + a\phi)$	0,057
Calcul de l'excentricité Eo (m)	e_0 (m)	$e_1 + e_2$	0,00345
Moment de calcul corrigé	Mugo (KN.m/ml)	$N_u \times e_0$	30,067
Calcul de l'excentricité additionnelle	Ea	$e_0 + (d - \frac{h}{2})$	0,123
Calcul de Moment central	Mua (KN.m/ml)	$N_u \times e_A$	33,962
Moment de référence	μ_{bc}	$0,8 \times \frac{h}{d} \times (1 - 0,4 \times \frac{h}{d})$	0,4938
Moment réduit ultime μ_{ua}	μ_{ua}	$\frac{M_{ua}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}}$	0,0865

Vérification de l'état de section	-	$\mu_{ua} < \mu_{bc}$	SPT
Calcul des armatures à l'ELS			
Calcul de l'excentricité	e_{0ser} (m)	$\frac{M_u}{N_u}$	0,00345
Calcul de l'excentricité additionnelle	e_a (m)	$e_{0ser} + (d - \frac{h}{2})$	0,123453
Calcul de Moment central	Msera (KN.m/ml)	$N_{ser} \times e_A$	33,962
Calcul du coefficient gamma	γ_m	$\frac{M_{uA}}{M_{serA}}$	0,0497
Moment réduit limite	μ_{lim}		0,0865
Vérification des aciers comprimés	-	$\mu_{ua} < \mu_{lim}$	Pas d'aciers comprimés
Calcul de paramètres de déformations	α	$1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu})$	0,575
Calcul de bras de levier	Z (m)	$d \times (1 - \frac{\alpha}{3})$	0,1690
Calcul de section fictive	Asu (cm ² /ml)	$\frac{M_{ser}}{Z \times \sigma_{st}}$	7,103
Calcul de section tendues	Ast (cm ² /ml)	$A_{su} - \frac{N_u}{\sigma_{st}}$	6,810
Condition de non fragilité	As.min(cm ² /ml)	$0,23 \times \frac{b \times d \times f_{tj}}{f_e}$	3,105
Vérification de condition	-	As. min < Ast	Condition vérifiée
Section retenue	As (cm ² /ml)	-	8,365
Acier de répartition	Ar (cm ² /ml)	$\max(\frac{A_{st}}{3}; 10mm)$	3,105
Armatures tendues	Haute adhérence	HA	8HA12
Section commerciale	cm ²	-	5,65

Espacement	Es (cm)	$\left(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1} \right)$	15
Acier de répartition	Ar (cm ² /ml)	HA	8HA10
Espacement des aciers repartis	Er(cm)	$\left(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1} \right)$	20

a. Calcul de aciers du mur en aile

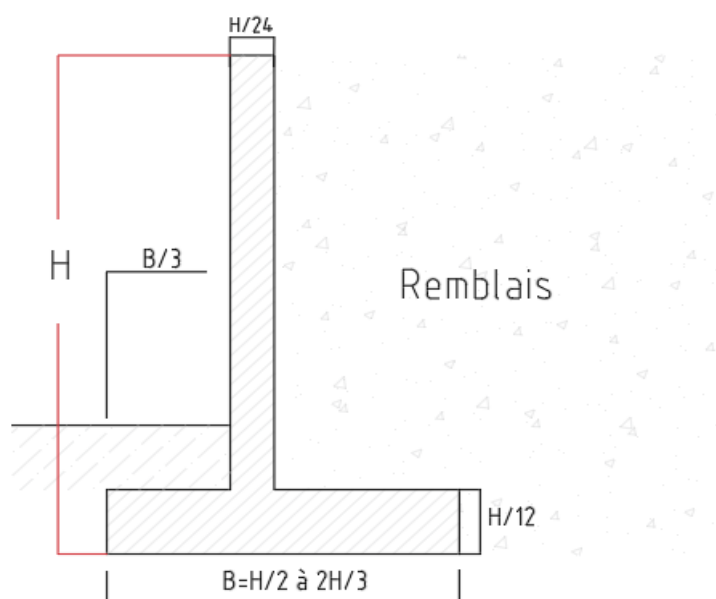


Figure 38 : Schéma du mur en aile

b. Prédimensionnement du mur en aile

Tableau 36 : Prédimensionnement du mur en aile

Géométrie	Formules		Résultats
Hauteur maximal	$H_{\max}$ (m)	$R + H + T + G$	2,60
Epaisseur tête et base du mur	E_{tb} (m)	$\geq \frac{H_{\max}}{24}$	0,30
Largeur de semelle	b_s (m)	$\frac{H}{2} \leq B \leq \frac{2H}{3}$	1,05
Epaisseur de semelle	E_s (m)	$\geq \frac{H_{\max}}{24}$	0,5
Enrobage pour semelle	e_s (m)	-	0,05
Enrobage pour Mur	e_m (m)	-	0,03

c. Définition des paramètres de calcul et sollicitations

- Pour le remblai
 - Cohésion C égale à 0
 - Poids volumiques des terres
 - Angle de frottement interne $\Phi = 30^\circ$
 - Poussée passive nulle sur l'avant du patin
 - Terre-plein horizontale chargé à 40cm
 - Coefficient de Poussée horizontale $Kah = \tan^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right) = 0,33$
 - Coefficient de Poussée verticale $Kav = 0$
 - Hauteur de surcharge de remblai $h = 0,5$ m
- Pour le sol de fondation considéré compacté
 - Contrainte de sol $\sigma_{sol} = 130$ KN/m²
 - Cohésion $C' = 0$

Tableau 37 : Calcul des sollicitations du mur en aile

Cas des Charges	Forces	Nu m	Eléments agissants	Actions horizontales Rh=Pp ou Pq (KN/ml)	Actions verticales Rv=G ou Q (KN/ml)	Bras de levier Z(m)	Moment (KN.m/ml)
Charges permanentes G	Poids du Mur et des Remblais	1	Voile	-	27	1,2	-32,4
			Semelle	-	20,25	0,525	-10,63125
			Mur	-	47,25	-	-43,03125
	Poussée active	2	Poussée des terres	29,7	-	1,00	29,7
Charges d'exploitati on Q	Charges d'exploitation	3	Surcharges d'exploitation	-	-5	1,2	6
	Poussée dû à la surcharge d'exploitation	4	Poussée des terres dû à la surcharge	9,9	-	1,5	14,85

Les combinaisons d'action à ELS :

- Combinaison 1 : (1) + (2) + (3) + (4)
- Combinaison 2 : (1) + (2) + (4)
- Combinaison 3 : (1) + (2)

Tableau 38 : Calcul des combinaisons des sollicitations

Combinaison	Operations	Résultats
Sous combinaison 1		
M/A(KN.m/ml)	-46,18-82,305-8,82+32,77	7,51875
RV(KN/ml)	50,25+55,8+5,6+9	42,25
RH(KN/ml)	31,713+10,23	39,6
Sous combinaison 2		
M/A(KN.m/ml)	-46,18-82,305+32,77-13,275+15,85	-95,715
RV(KN/ml)	50,25+55,8+9	115,05
RH(KN/ml)	31,713+10,23	39,6
Sous combinaison 3		
M/A(KN.m/ml)	-46,18-82,305+32,77	-95,715
RV(KN/ml)	50,25+55,8	106,05
RH(KN/ml)	31,73	31,73

– **Vérification de la stabilité du Mur**

D'une manière générale, le mur de soutènement est soumis à une force de poussée P et de butée B.

– **Le renversement du Mur**

Il s'agit de vérifier la stabilité de l'ouvrage face aux forces agissantes. Elle est définie comme le rapport des moments des forces stabilisatrices sur les moments des forces de renversement, moments évalués par rapport à un point donné.

– **Glissement du Mur**

L'expression de calcul du coefficient de sécurité au non glissement est la suivante :

Tableau 39 : vérification au glissement du Mur

Sollicitations	Formules	Combinaison1	Combinaison2	Combinaison3
M/A (KN.m/ml)	-	7,51875	-95,715	-95,715
R_V (KN/ml)	-	42,25	115,05	106,05
R_H (KN/ml)	-	39,6	39,6	31,73
Coefficient de sécurité au glissement	$\frac{c' \times b + R_V \times \tan \theta}{\Sigma} \geq R_H$	16,262	44,283	40,818
Vérification si $R_H \geq R_H$		Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée

d. Calcul d'armature du voile

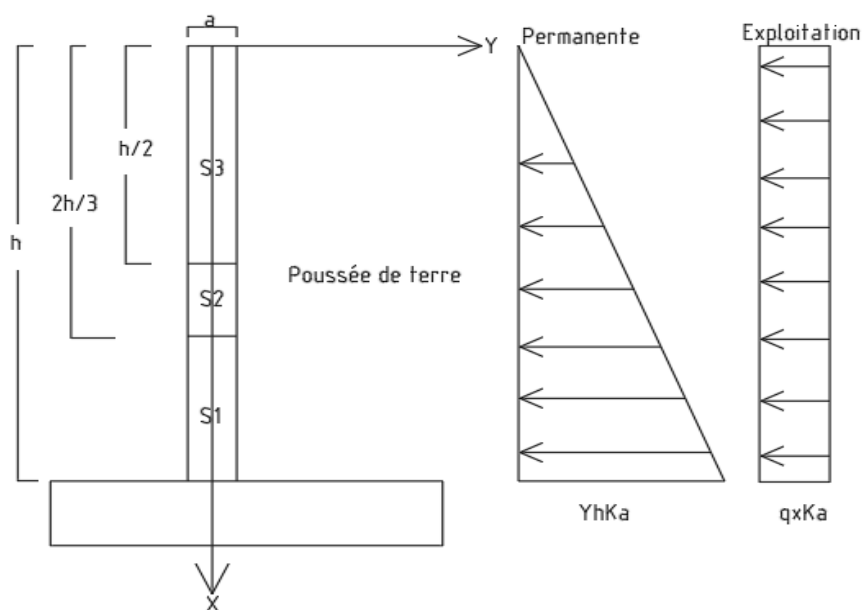


Figure 39 : Action des sollicitations sur le voile

Tableau 40 : Calcul des armatures du voile

Mur en Aile	Unité	Formules	S1	S2	S3
Bras de levier	m	$h1_h2_h3$	3	2,00	1,5
Moment max à l'ELU	KN.m/ml	$-1,35 \times \delta K_a \times \frac{x^3}{6} - 1,5 \times q K_a \times \frac{x^3}{2}$	-62,37	-21,78	-10,58
Moment max à l'ELS	KN.m/ml	$-\delta K_a \times \frac{x^3}{6} - q K_a \times \frac{x^2}{2}$	-44,55	-15,40	-7,43
Effort tranchant à l'ELU	KN/ml	$-1,35 \times \delta K_a \times \frac{x^3}{2} - 1,5 \times q K_a x$	54,945	27,720	17,449
Effort tranchant à l'ELS	KN/ml	$\delta K_a \times \frac{x^2}{2} - q K_a x$	39,6	19,800	18,225
Effort normal à l'ELU	KN/ml	$1,35 \times \gamma_b \times a. x$	36,45	24,3	15,693
Effort normal à l'ELS	KN/ml	$\gamma_b \times a. x$	27	18	13,5
Hauteur utile d	m	$0,9 \times d$	0,27	0,27	0,27
Calcul de l'Axe Y_{rb}	m	$\frac{d \times \bar{\sigma}_{bc}}{\bar{\sigma}_{bc} + \frac{\bar{\sigma}_{bc}}{15}}$	0,140	0,140	0,140
Moment Mrb	KN.m/ml	$\frac{Y_{rb} \times \bar{\sigma}_{bc} \times b_0}{2} \times (d - \frac{Y_{rb}}{3})$	281,71	281,71	281,71
Vérification des aciers comprimés	-	$M_{ser} < M_{serb}$	$A_{SC} = 0$	$A_{SC} = 0$	$A_{SC} = 0$
Calcul d'acier tendu	Ast(Cm²)	$\frac{M_{ser}}{(d - \frac{Y_{rb}}{3}) \times \bar{\sigma}_s}$	7,981	3,902	1,896
Calcul de d'acier min	Amin (Cm²)	$0,23 \times \frac{b \times d \times f_{tj}}{f_e}$	3,726	3,726	3,726
Vérification	-	$A_{min} < A_{st}$	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition Non vérifiée
Acier retenue	Cm²	As	7,981	3,902	3,726
Choix des armatures					

Armature de répartition	Ar (Cm ²)	$8\%E_{tb}$	2,00	2,00	2,00
Choix d'acier	-	-	8HA12	6HA10	6HA10
Espacement	Ar (Cm)	$\left(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1} \right)$	20	20	20

e. Calcul d'armature de la semelle

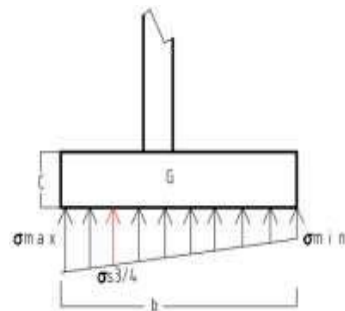


Figure 40 : Diagramme des contraintes

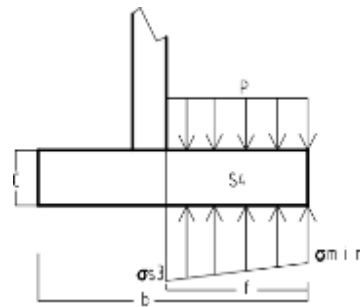


Figure 41 : Actions des contraintes sur le talon

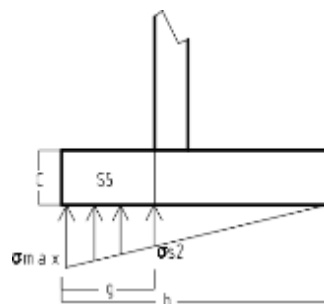


Figure 42 : Actions des contraintes sur le patin

Tableau 41 : Calcul des armatures de la semelle du mur en aile

Semelle	Unité	Formules	Sollicitations	
Moment de Calcul M/G	KN.m/ml	$M/o + R_v \times \left(\frac{b_s}{2}\right)$	7,759	
Composante R_v	KN/ml	-	20,65	
Position de l'axe e_G	m	$\frac{M/G}{R_G}$	0,376	
Calcul de contrainte σ_{max} du sol	KN/m ²	$\frac{N}{S} \times \left(1 - \frac{6 \times e_G }{b}\right)$	-22,558	
Calcul de contrainte σ_{min} du sol	KN/m ²	$\frac{N}{S} \times \left(1 - \frac{6 \times e_G }{b}\right)$	61,891	
Calcul de contrainte σ_{moy} (3/4) du sol	KN/m ²	$\frac{3 \times \sigma_{max} + \sigma_{min}}{4}$	-1,446	
Calcul d'armatures			S4	S5
Charge à ELS P_{ser}	KN/ml	$g + q$	79	23
Contrainte σ_4	KN/ml	$\frac{\sigma_{max} \times f + \sigma_{min} \times (b - f)}{b_s}$	-98,964	23,00
Contrainte σ_5	KN/ml	$\frac{P + \sigma_{max}}{b_s} \times (b_s - b_1)$		
Moment de calcul $M_{4/0}$	KN.m/ml	$-p \times \frac{f^2}{2} + \sigma_{min} \times \frac{f^2}{2} + (\sigma_{s4} - \sigma_{min}) \times \frac{f^2}{2}$	-355,93	-12,44
Moment de calcul $M_{5/0}$	KN.m/ml	$-p \times \frac{g^2}{2} + \sigma_{s5} \times \frac{g^2}{2} + (\sigma_{max} - \sigma_{s5}) \times \frac{f^2}{2}$	-	19,98
Moment réduit μ	-	$\frac{M_{4-5/0}}{b \times d^2 \times f_{bu}}$	0,2872	-0,0100
Vérification	-	$\mu < 0,186$	Pivot A	Pivot A
Calcul de α	-	$1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu})$	-0,3184	-0,0125
Bras de levier Z	m	$d \times (1 - 0,4 \times \alpha)$	0,5073	0,4522
Section d'acier	A_{st} (Cm ²)	$\frac{M_{4-5/0}}{b \times d^2 \times f_{bu}}$	-20,1706	-0,7905
Condition de non fragilité	A_{min} (Cm ²)	$0,23 \times \frac{b \times d \times f_{tj}}{f_e}$	3,726	3,726

Vérification	-	$A_{min} < A_{st}$	Condition vérifiée	Condition non vérifiée
Choix d'armature				
Section retenue	Cm ²	A_{st}	5,033	3,105
Choix d'armature	-	HA	5HA12	5HA10
Espacement des aciers As	Cm	$\left(\frac{100 - (1 - n) + (2 \times e)}{n - 1} \right)$	20	20
Acier de répartition	-		5HA10	5HA10
Espacement des aciers Ar	Cm	$\max \left(\frac{A_{st}}{3}; 10mm \right)$	20	20

Tableau 42 : Récapitulatif des sections d'aciers du dalot

Eléments de l'ouvrage		Dimension		Sections d'acier			Esp (cm)	Acier de répartition
		B (Cm)	H (Cm)	Ath (Cm²)	Choix d'acier	As (Cm²)		
Tablier	Travée	100	30	6,348	6HA12	6,348	20	5HA10, e=20
				2x 3,17				
	Appui	100	30	12,768	1er lit : 6HA12 Renf : 6HA12	12,768	20	5HA10, e=20
				2x 6,38				
Radier	Travée	100	30	8,1	8HA12	8,1	15	5HA10, e=20
				2x 4,05				
	Appui	100	30	16,1	1er lit : 8HA14 Renf : 8HA12	16,1	15	5HA10, e=20
				2x 8,05				
Piédroit de rive		100	30	8 ,365	8HA12	8,365	15	5HA10, e=20
				2x 4,18				
Piédroit Intermédiaire		100	30	10,4	7HA10	10,4	20	5HA10, e=20
				2x 5,2				
Mur en Aile		100	30	2x 5,23	Int : 8HA12	7,981	15	5HA10, e=20
					Ext : 8HA10	3,99	15	5HA10, e=20

IV.2 ÉTUDE DU DIMENSIONNEMENT D'UN DALOT ASSISTE AVEC LE LOGICIEL CYPE

Le logiciel Cype, dans sa version 2017, est un outil de calcul et de dimensionnement utilisé dans le domaine du génie civil pour l'analyse des structures en béton armé et en acier. Il permet de modéliser et de vérifier divers éléments structuraux tels que les planchers, les poteaux, les voiles, les tabliers, en intégrant les dimensions géométriques et les sections d'armatures nécessaires à leur conception.

1. Normes et matériaux

- B.A.E.L 91 modifié en 99
- Le fascicule n°61 titre II
- Béton B25
- Acier des barres Fe400
- Enrobage extérieur 3cm
- Enrobage Intérieur 3cm

2. Géométrie de l'ouvrage

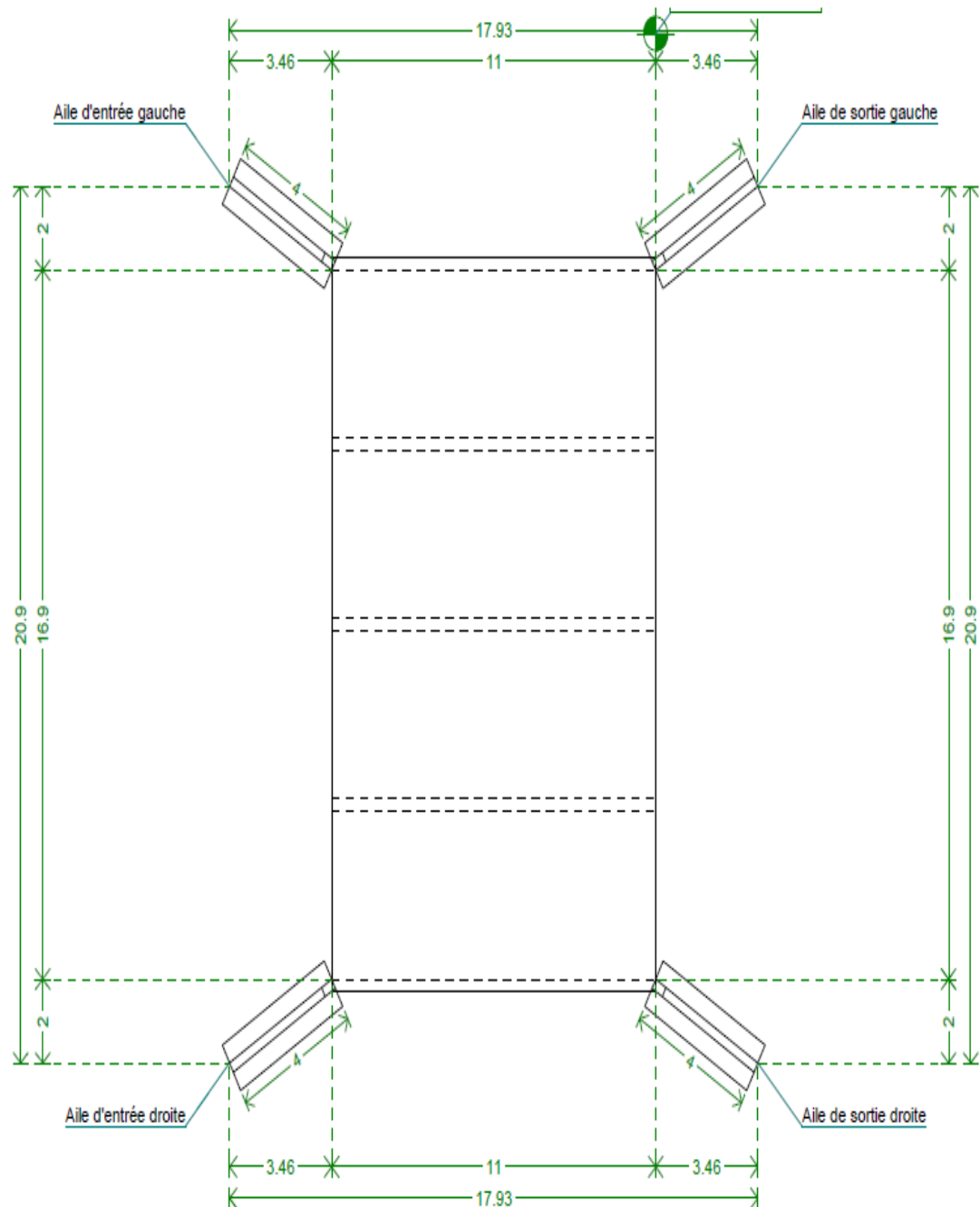


Figure 43 : Modélisation de l'ouvrage sur CYPE

Tableau 43 : Les modules de l'ouvrage

Épaisseurs	<ul style="list-style-type: none"> • Piédroits : 30 cm
	<ul style="list-style-type: none"> • Tablier/radier : 30 cm
Cellule 1	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche • Portée à l'entrée : 400 cm • Portée en sortie : 400 cm
Mur intermédiaire 1	<ul style="list-style-type: none"> • Épaisseur : 30 cm
Cellule 2	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche • Portée à l'entrée : 400 cm • Portée en sortie : 400 cm
Mur intermédiaire 2	<ul style="list-style-type: none"> • Épaisseur : 30 cm
Cellule 3	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche • Portée à l'entrée : 400 cm • Portée en sortie : 400 cm
Mur intermédiaire 3	<ul style="list-style-type: none"> • Épaisseur : 30 cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Longueur totale : 4.00 m
Longueur supérieure : 0.40 m
Épaisseur en extrémité : 0.30 m
Hauteur : 2.00 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 5.00 kN/m ²
Épaisseur du mur : 0.25 m
Épaisseur de la semelle : 0.50 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.50 m
- Avant : 0.50 m

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Longueur totale : 4.00 m

Longueur supérieure : 0.40 m

Épaisseur en extrémité : 0.30 m

Hauteur : 2.00 m

Surcharge du terrain sur l'arrière : 5.00 kN/m²

Épaisseur du mur : 0.25 m

Épaisseur de la semelle : 0.50 m

Débords semelle :

- Arrière : 0.50 m

- Avant : 0.50 m

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Longueur totale : 4.00 m

Longueur supérieure : 0.40 m

Épaisseur en extrémité : 0.30 m

Hauteur : 2.00 m

Surcharge du terrain sur l'arrière : 5.00 kN/m²

Épaisseur du mur : 0.25 m

Épaisseur de la semelle : 0.50 m

Débords semelle :

- Arrière : 0.50 m

- Avant : 0.50 m

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Longueur totale : 4.00 m

Longueur supérieure : 0.40 m

Épaisseur en extrémité : 0.30 m

Hauteur : 2.00 m

Surcharge du terrain sur l'arrière : 5.00 kN/m²

Épaisseur du mur : 0.25 m

Épaisseur de la semelle : 0.50 m

Débords semelle :

- Arrière : 0.50 m

- Avant : 0.50 m

3. TERRAINS

- Module de réaction : 90000.0 kN/m³
- Contrainte admissible sol d'assise : 200.00 kN/m²
- Poids volumique : 20.0 kN/m³
- Angle de frottement interne : 37 degrés
- Cohésion : 0.00 kN/m²

- Pourcentage de frottement terrain-mur : 0 %
- Angle de transmission des charges : 45 degrés

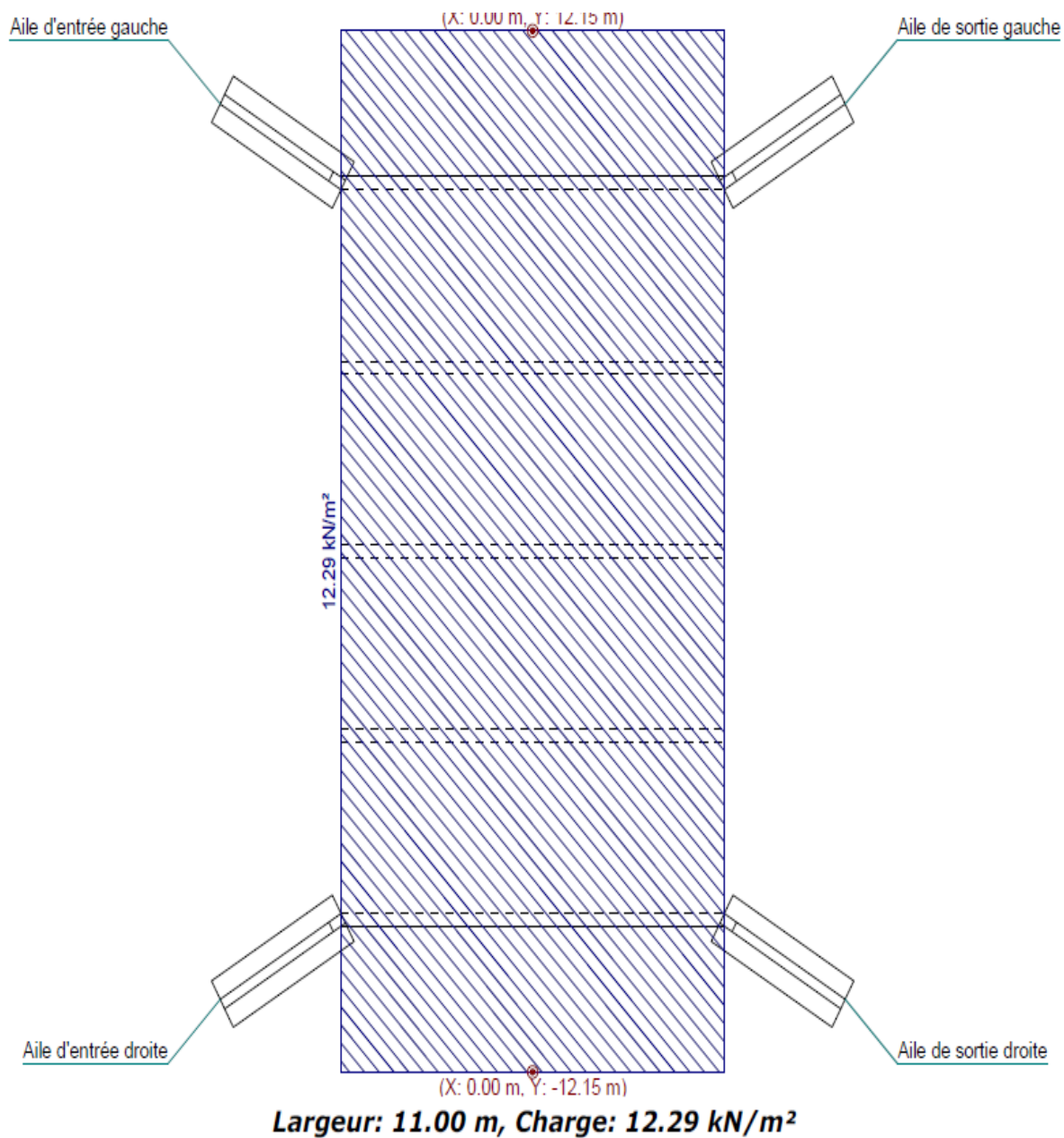
4. ACTIONS

- Sans surcharge supérieure
- Surcharge uniforme inférieure : 4.00 kN/m²

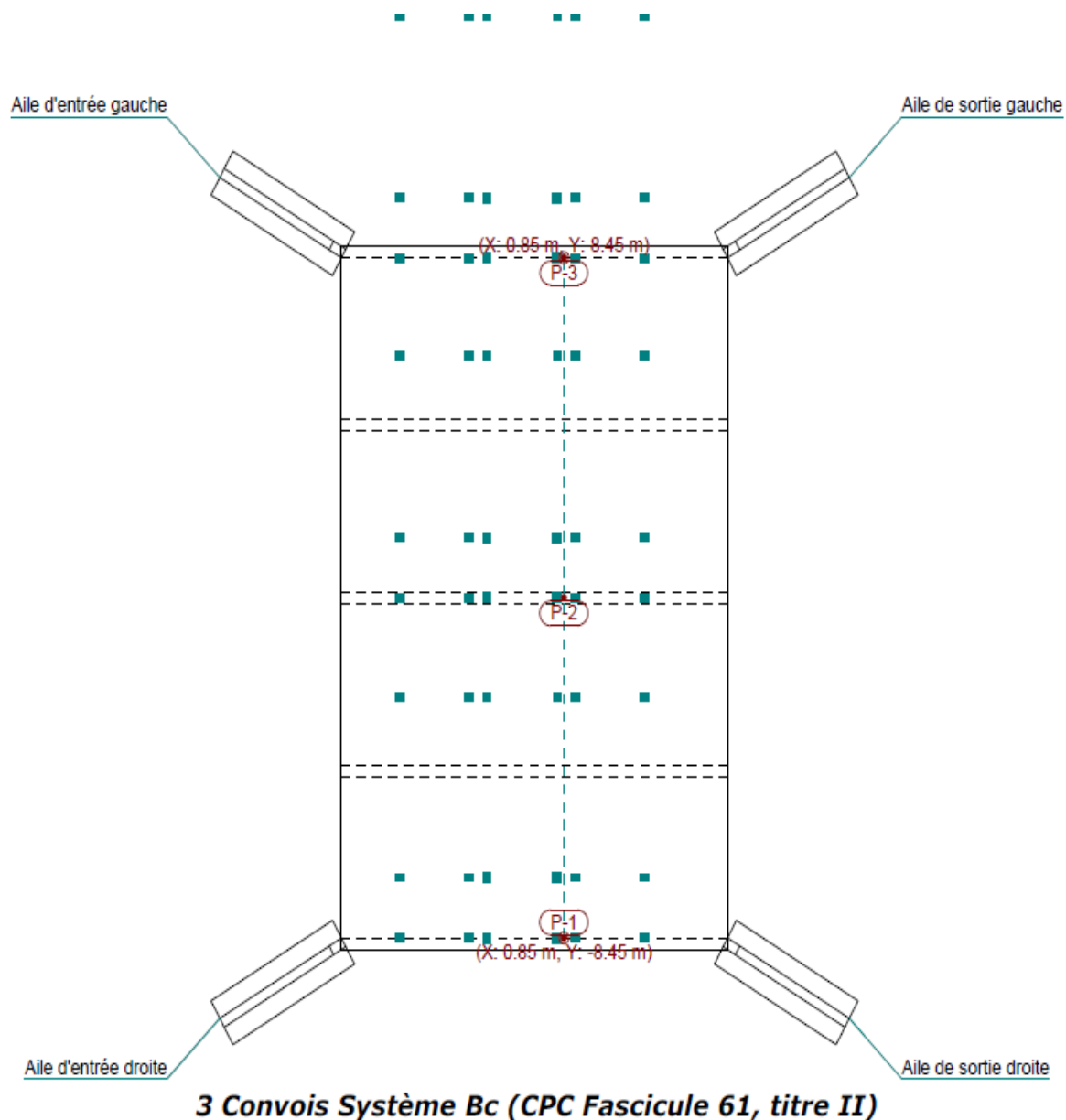
Avec charge hydraulique :

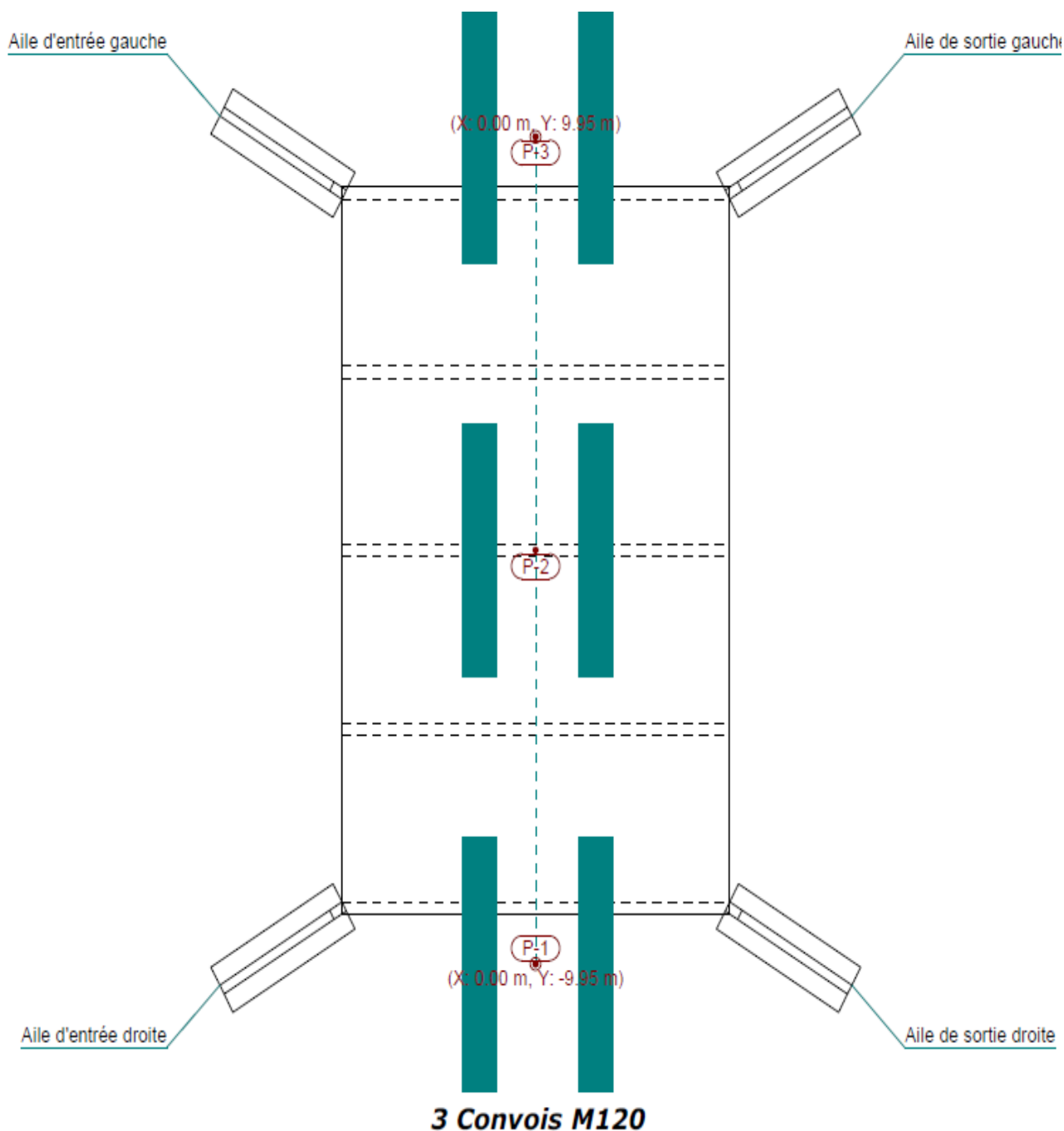
- Plan de la surface libre de l'eau : Par tirant d'eau (1.00 m)

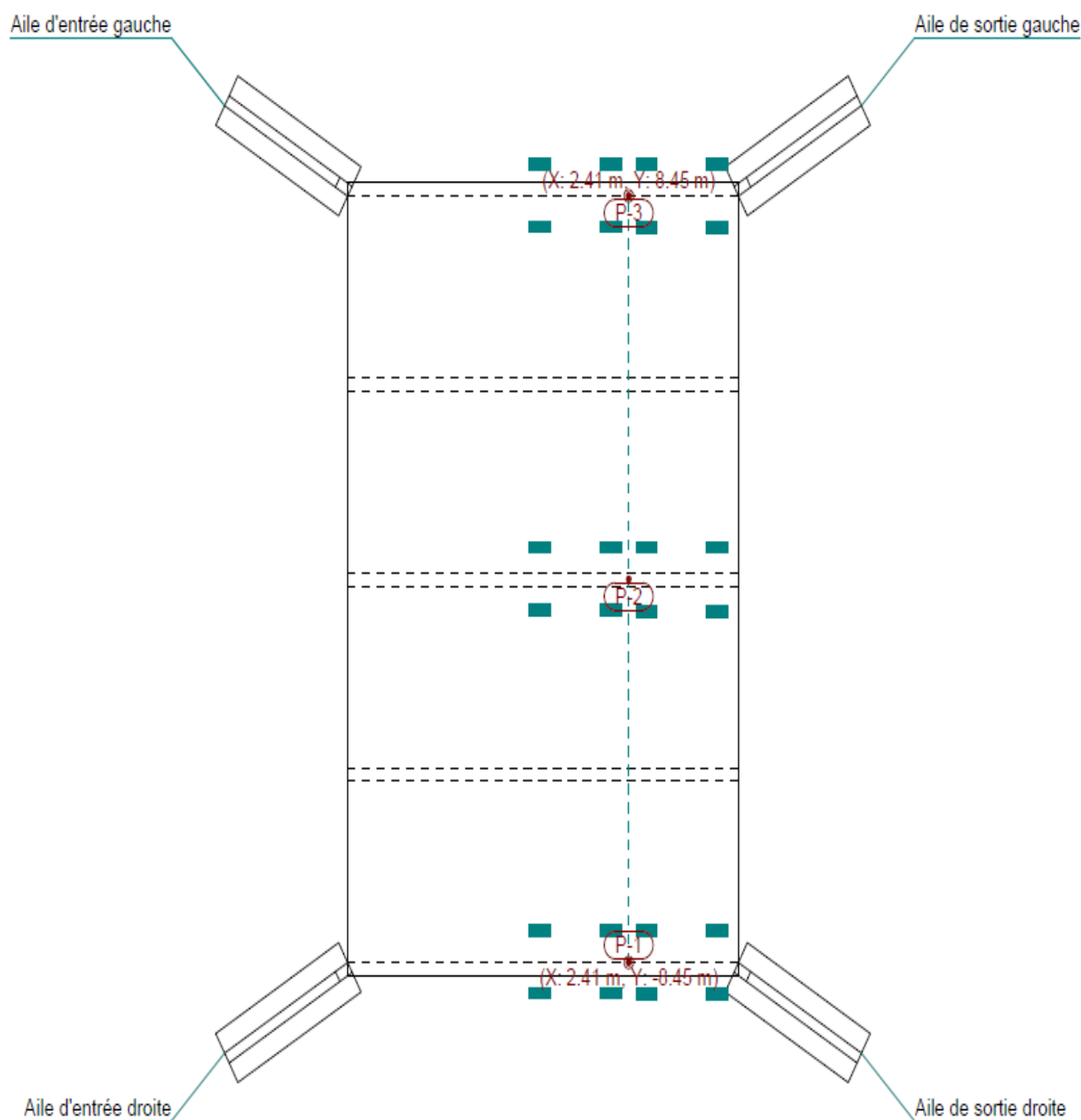
5. BANDE DES CHARGES



6. CONVOI DE CHARGE







3 Convois Système Bt (CPC Fascicule 61, titre II)

7. MÉTHODE DE CALCUL

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

a. DESCRIPTION DE L'ARMATURE

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=70cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA14e=15, crosse=25cm	Renforts 1 : HA12 - Murs 1 à 1 - Longueur finie. = 1.76m - Longueur finie. = 1.76m Renforts 2 : HA12 - Murs 2 à 2 - Longueur finie. = 1.47m - Longueur finie. = 1.47m Renforts 3 : HA12 - Murs 3 à 3 - Longueur finie. = 1.96m Longueur finie. = 1.96m
		Longitudinal	HA12e=15, crosse=70cm	
	Inférieur	Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA16e=15, crosse=22cm	

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=15, crosse=18cm	Renforts 1 : HA12 - Murs 1 à 1 - Longueur finie. = 1.38m - Longueur finie. = 1.38m Renforts 2 : HA12 - Murs 2 à 2 - Longueur finie. = 1.40m - Longueur finie. = 1.40m Renforts 3 : HA12 - Murs 3 à 3 - Longueur finie. = 1.64m - Longueur finie. = 1.64m
	Supérieur	Longitudinal	HA12e=15, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA14e=15, crosse=18cm	
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA16e=15, crosse=33cm - Attente=0.33 m - Longueur crosse en pied=33 cm	
		Horizontal	HA12e=15, crosse=42cm	
	Avant	Vertical	HA14e=15, crosse=33cm - Attente=0.33 m - Longueur crosse en pied=33 cm	
		Horizontal	HA12e=15, crosse=42cm	
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA16e=15, crosse=33cm - Attente=0.40 m - Longueur crosse en pied=33 cm	
		Horizontal	HA12e=15, crosse=42cm	
	Avant	Vertical	HA14e=15, crosse=33cm - Attente=0.30 m - Longueur crosse en pied=33 cm	
		Horizontal	HA12e=15, crosse=42cm	
Mur intermédiaire 1	Gauche	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	

Muri intermédiaire 2	Droite	Vertical	HA10e=15, crosse=13cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Gauche	Vertical	HA10e=15, crosse=15cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
Mur intermédiaire 3	Droite	Vertical	HA10e=15, crosse=15cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
	Gauche	Vertical	HA10e=15, crosse=15cm - Attente=0.25 m - Longueur crosse en pied=13 cm	
		Horizontal	HA10e=15, crosse=42cm	
Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort

b. MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Armature horizontale : HA10e=15 Armature longitudinale inférieure : HA12e=15, crosse=15cm Armature longitudinale supérieure : HA12e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA12e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA12e=15 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm Transversal supérieur : HA12e=15 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

c. MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Armature horizontale : HA12e=15 Armature longitudinale inférieure : HA12e=15, crosse=15cm Armature longitudinale supérieure : HA12e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA12e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA12e=15 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm Transversal supérieur : HA12e=15 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

d. MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Armature horizontale : HA12e=15 Armature longitudinale inférieure : HA12e=15, crosse=15cm Armature longitudinale supérieure : HA12e=15, crosse=13cm	
Armature verticale	Armature verticale
Armature verticale arrière : HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA12e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Armature verticale arrière : HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA12e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm Ancrage face supérieure =0.14m

e. MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Armature horizontale : HA12e=15 Armature longitudinale inférieure : HA12e=15, crosse=15cm Armature longitudinale supérieure : HA12e=15, crosse=15cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA12e=15 - Recouvrement =0.45m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant : HA12e=15 - Recouvrement =0.30m - Crosse =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m	Transversal inférieur : HA12e=15 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm Transversal supérieur : HA12e=15 -Longueur crosse arrière=15cm -Longueur crosse avant=15cm

V.2 DIMENSIONNEMENT MANUEL DES CANIVEAUX

1. Normes et règlement de calcul

- Fascicule 61 titre II du cahier des prescriptions communes (CPC)
- Sollicitations déterminées par la méthode des tranches
- Le ferrailage se fera suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé de la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91 modifié en 99.

2. Caractéristiques des matériaux

a. Béton

- Dosage 350 Kg/m³
- Béton B25 de poids volumique $\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$
- Résistance à la compression à 28jours $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul du béton en compression à l'ELU
- Contrainte limite du béton en compression à l'ELS $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$
- Facteur d'équivalence contrainte acier/contraintes béton $n=15$
- Enrobage $e = 3 \text{ cm}$ et la fissuration est jugée préjudiciable (ouvrage enterré)

b. Acier

- Nuance : Acier haute adhérence HA FeE400
- Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul de l'acier $\sigma_{st} = \gamma_s = 348 \text{ MPa}$ avec $\gamma_s = 1,152$
- Contrainte de calcul du béton en compression à ELU $\sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa}$ avec $\theta=1$ et $\gamma=1,5$
- Contrainte limite de l'acier $\bar{\sigma}_{st} = \min [3 f_e ; \max (0,5 f_e ; 110 \sqrt{n f_{t28}})]$, $\bar{\sigma}_{st} = 216 \text{ MPa}$ avec $\eta = 1,6$ car acier haute adhérence

c. Remblai

Nous supposons que le remblai d'accès est un graveleux latéritique naturel.

- Poids spécifique du remblai $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Coefficient de poussé de terres $K = 0,33$
- Angle de frottement $\phi = 30^\circ$

3. Définition des charges appliquées

– Les charges permanentes

- Poids propre de l'ouvrage
- Poussée des terres sur les voiles

– Surcharge routière sur dalle : Le dimensionnement peut être réalisé en considérant une roue isolée de 6 tonnes. Toutefois, dans le cas présent, la dalle est directement sollicitée par la roue isolée, sans structure intermédiaire. Il est donc plus rigoureux de la dimensionner en prenant en compte une charge routière de type Br équivalente à 10 tonnes, afin de garantir la sécurité et la résistance de l'élément sous les sollicitations les plus défavorables.

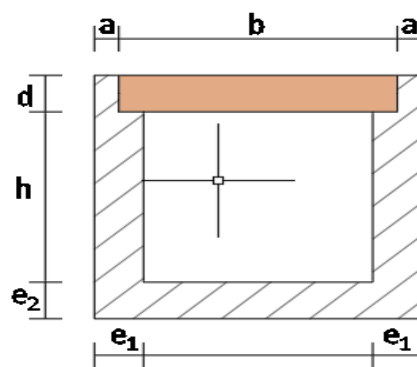


Figure 44 : schéma de principe du collecteur

4. Prédimensionnement de la structure

De manière générale, les calculs sont réalisés par bande de 1 mètre linéaire.

$$e = \frac{L}{32} + 0.125$$

– Ouverture du caniveau : $B = 150 \text{ cm}$

– Epaisseur de lèvre de la feuillure : $a \approx e_2$

– Rendent de la feuillure : $d = e - a$

– Portée de la dalle : $L_d = b + 2h$

– Epaisseur de la dalle : e_d

– Largeur de la dalle : $l_d = B + 2a$

– Epaisseur du piédroit : e_1

– Epaisseur du radier : e_2

5. Schémas illustrant les charges appliquées à la dalle

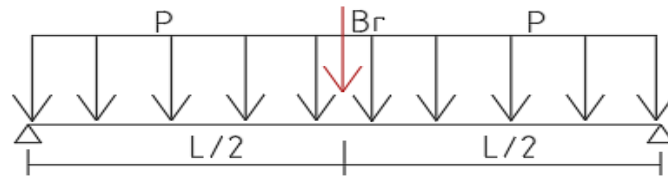


Figure 45 : schéma mécanique

6. Schémas illustrant les charges appliquées aux piédroits

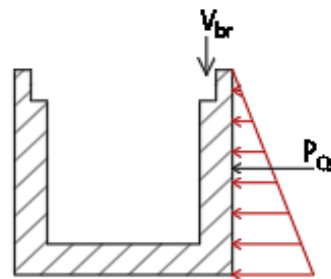


Figure 46 : schéma de répartition des charges sur piédroits

Tableau 44 : Paramètres de calcul et prédimensionnement des caniveaux

GEOMETRIE		Caniveau 150x150	Caniveau 150x120	Caniveau 100x100	Unité
Ouverture du caniveau	B	1,5	1,5	1	m
Hauteur libre	H	1,5	1,2	1	m
Epaisseur de voile	C	0,2	0,2	0,15	m
Epaisseur de radier	F	0,2	0,2	0,15	m
Epaisseur de la lèvre de feuillure	A	0,1	0,1	0,075	m
Largeur de la dalle	I	0,5	0,5	0,5	m
Epaisseur de la dalle	E	0,2	0,2	0,2	m
Longueur de la dalle	D	1,7	1,7	1,15	m
Portée de la dalle	L	1,68	1,68	1,13	m
MATERIAUX					
BETON					
Resistance à la compression à 28jrs	fc28	25	25	25	Mpa

Dimension max des granulats	Dmax	25	25	25	mm
Poids volumique du Béton	Yb	25	25	25	KN
ARMATURES					
Resistance des armature	fe	400	400	400	Mpa
Enrobage des armatures	e	3	3	3	Cm
SOL					
Poids volumique du sol	Ys	20	20	20	KN/m3
Angle de frottement	ϕ	35	35	35	°
CHARGES					
Charge Roue isolé 10T	Br	100	100	100	KN
Poids volumique de l'Eau	Ye	10	10	10	KN/m3

Tableau 2 : Dimensionnement de la dalle et du piedroit

CALCUL DES SOLlicitATIONS DE LA DALLE					
Moment fléchissant max à ELU	Mu	64,191	64,191	42,914	KN.m
Effort tranchant max à ELU	Vu	77,835	77,835	76,907	KN
Moment fléchissant max à ELS	Mser	42,882	42,882	28,649	KN.m
Effort tranchant max à ELS	Vser	52,1	52,1	51,413	KN
CALCUL BETON ARME EN FLEXION					
Épaisseur d'une dalle	E	0,2	0,2	0,2	m
Largeur	b	0,5	0,5	0,5	m
Hauteur utile	d	0,18	0,18	0,18	m
Moment de calcul ultime	Mu	0,064	0,064	0,043	MN.m
Effort tranchant ultime	Vu	0,078	0,078	0,077	MN
Moment réduit de béton	μ_{bu}	0,140	0,140	0,093	-
Avons-nous $\mu_{bu} \leq 0,186$?		Oui	Oui	Oui	-
Rapport Mu/Mser	Y	1,497	1,497	1,498	-
Moment réduit de l'acier	μ_c	0,391	0,391	0,391	-
Avons-nous $\mu_{bu} \leq \mu_c$?		Oui	Oui	Oui	-
Armature de compression nécessaire ?		Pas besoin	Pas besoin	Pas besoin	-
Position de la fibre neutre	α_u	0,189	0,189	0,123	-
Bras de levier du couple élastique	Zu	0,166	0,166	0,171	m
Section d'armature tendue	Au	10,253	10,253	6,854	Cm ²
Condition de non fragilité	Amin	1,087	1,087	1,087	Cm ²

VERIFICATION A L'ELS					
Moment max à l'ELS	Mser	42,882	42,882	28,649	Mpa
Calcul de l'axe neutre	Yser	0,084	0,084	0,072	m
Moment quadratique	Iser	0,000441	0,000441	0,000309	m4
Contrainte réelle de compression du béton	σ_{bc}	8,206	8,206	6,716	Mpa
Contrainte limite de compression du béton	σ_{bc}^*	15	15	15	Mpa
Vérification du béton à l'ELS	-	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	-
Contrainte réelle de l'acier	σ_s	139,59	139,59	149,62	Mpa
Contrainte limite de l'acier	σ_s^*	202	202	202	Mpa
		Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	
VERIFICATION DES CONTRAINTES DES ACIERS TRANSVERSAUX					
Contrainte de cisaillement	Tu	0,865	0,865	0,855	Mpa
Contrainte limite tangentielle	ξ	3,33	3,33	3,33	Mpa
Vérification	-	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	
Calcul des armatures Tendue par face	Ast/face	5,126	5,126	3,427	Cm ²
Choix d'armatures tendues	HA	2x 7HA10	2x 7HA10	2x 5HA10	-
Section commerciale	As	11,000	11,000	7,860	Cm ²
Espacement minimal longitudinal	Emin	3,750	3,750	3,750	Cm
Espacement longitudinal retenu	E	17,000	17,000	17,000	Cm
Choix d'armatures transversales	HA	5HA8	5HA8	5HA8	-
Section commerciale	As	2,510	2,510	2,510	Cm ²
Espacement	Er	20,000	20,000	20,000	Cm
CALCUL DU CANIVEAU					
PIEDROIT SANS DALLE					
DISTANCE ET CALCUL DES DISTANCES		Caniveau 150x150	Caniveau 150x120	Caniveau 100x100	Unité
Distance adoptée	a	0,65	0,65	0,65	m
Hauteur h= E+H	h	1,7	1,4	1,2	m
Cote Z1=a.tan ϕ	Z1	0,455	0,455	0,455	m
Cote Z2=a.Cot($\Pi/4-\phi/2$)	Z2	1,249	1,249	1,249	m

Cote $Z_p=0,5*(Z_1+Z_2)$	Z_p	0,852	0,852	0,852	m
Bras dde levier (A,P) $L_p=h-Z_p$	L_p	0,848	0,548	0,348	m
Bras dde levier (A,Pt) $L_{pt}=h/3$	L_{pt}	0,567	0,467	0,400	m
CALCUL DES SOLLICITATIONS (SANS DALLE)					
Coefficient de poussée	K_a	0,271	0,271	0,271	-
Résultante dû à la charge Br (ELU)	P	78,085	78,085	78,085	KN
Résultante du au poussée de terre (ELU)	P_t	4,278	2,901	2,158	KN
Moment max à ELU	M_u	68,640	44,145	28,037	KN.m
Effort tranchant max à l'ELU	V_u	82,363	80,986	80,243	KN
PIEDROIT AVEC DALLE					
Hauteur $h= E+H$	h	1,7	1,4	1,2	m
Bras dde levier (A,Pt) $L_{pt}=h/3$	L_{pt}	0,567	0,467	0,400	m
CALCUL DES SOLLICITATIONS (AVEC DALETTE)					
Coefficient de poussée	K_a	0,271	0,271	0,271	-
Résultante du au poussée de terre (ELU)	P_t	19,25	13,05	9,59	KN
Moment d'encastrement max à ELU	M_u	10,906	6,091	3,836	KN.m
Effort tranchant max à l'ELU	V_u	19,25	13,05	9,59	KN
Effort normal max à l'ELU	N_u	85,13	85,13	83,44	KN
Effort normal max à l'ELS	N_{ser}	57,50	57,50	56,25	KN
RECAP DES SOLLICITATIONS MAXIMALES DES PIEDROITS					
Moment d'encastrement max à ELU	M_u	68,640	44,145	28,037	KN.m
Moment d'encastrement max à ELS	M_{ser}	46,568	29,881	18,979	KN.m
Effort tranchant max à l'ELU	V_u	82,4	80,99	80,24	KN
Effort normal max à l'ELU	N_u	85,13	85,13	83,44	KN
Effort normal max à l'ELS	N_{ser}	57,50	57,50	56,25	KN
CALCUL BETON ARME EN FLEXION					
Epaisseur du piédroit	C	0,2	0,2	0,15	m
Largeur	b	1	1	1	m
Hauteur utile	d	0,18	0,18	0,135	m
Moment de calcul ultime	M_u	0,069	0,044	0,028	MN.m
Effort normal ultime	N_u	0,085	0,085	0,083	MN
Excentricité	e	0,81	0,52	0,34	m
Effort de compression centré	N_{bmax}	4,82	3,97	2,55	-
Coefficient de remplissage Psi	ψ	0,018	0,021	0,033	-

$\psi < 0,81$ excentricité critique relative	ξ	0,166	0,166	0,166	-
Excentricité critique	E_c	0,033	0,033	0,025	m
Etat de section	-	SPC	SPC	SPC	
Moment fictif	M_{uf}	0,075	0,051	0,033	MN.m
Moment réduit	μ_{bu}	0,150	0,096	0,109	-
Vérification $\mu < 0,186$	-	PivotA	PivotA	PivotA	-
Position relative de la fibre neutre	α_u	0,203	0,127	0,144	-
Bras de levier du couple élastique	Z_u	0,165	0,171	0,127	m
Section d'armature	A_s	13,119	8,573	7,467	Cm ²
VERIFICATION A L'ELS					
Calcul de l'axe	Y_{ser}	0,067	0,056	0,045	m
Moment quadratique	I_{ser}	0,000401	0,000286	0,000136	m ⁴
Contrainte réelle de compression du béton	σ_{bc}	7,751	5,888	6,259	Mpa
Contrainte limite de compression du béton	σ_{bc}^*	15	15	15	Mpa
Vérification du béton à l'ELS	-	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	-
Contrainte réelle de l'acier	σ_s	197,21	193,64	188,27	Mpa
Contrainte limite de l'acier	σ_s^*	202	202	202	Mpa
		Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	-
Armatures tendues par face	A_s/fce	6,559	4,286	3,734	Cm ²
Choix des armatures tendues	HA	9HA10	6HA10	5HA10	
Section d'Acier commercial	-	7,07	4,71	3,93	Cm ²
Espacement minimal	E_{min}	3,75	3,75	3,75	Cm
Espacement minimal	E_r	17	17	20	Cm
Acier de Répartition	A_r	2,51	2,51	2,51	Cm ²
Choix des armatures réparties	HA	5HA8	5HA8	5HA8	-
Espacement minimal	E_{min}	3,75	3,75	3,75	Cm
Espacement minimal	E_r	20	20	20	Cm
Longueur de recouvrement	L_s	44	44	44	m

Tableau 45 : Dimensionnement du radier

RADIER DU CANIVEAU					
Nous considérons uniquement la seule Br agissant sur la dalle étant donné que les poussées sur les piédroits s'équilibrent du principe Poussées-Butées (caniveaux enterrés). Nous supposons le sol d'assise du radier suffisamment compacté pour supporter les charges qui lui sont transmises.					
CALCUL DES DISTANCES ET DES ACTIONS		Caniveau 150x150	Caniveau 150x120	Caniveau 100x100	Unité
Calcul de $B_s = B + 2C$		1,9	1,9	1,3	m
Portée de Radier $L_s = B + 0,5C$		1,6	1,6	1,075	m
Charge ponctuelle V_{br}	V_{br}	85,13	85,13	83,44	KN
Charge ponctuelle piédroits	P_p	22,90	18,85	12,11	KN
Poids du radier à ELU	P_r	6,75	6,75	6,75	KN/m ²
Charge de l'eau dans le caniveau	g_r	22,5	18	15	KN/m ²
Réaction du sol à ELU	R_{su}	142,96	134,19	168,75	KN/m ²
Réaction du sol à ELS	R_{ser}	127,46	121,30	157,17	KN/m ²
CALCUL DES SOLlicitATIONS					
Moment fléchissant à l'ELU	M_u	45,75	42,94	24,38	KN.m
Moment fléchissant à l'ELS	M_{ser}	40,787	38,816	22,703	KN.m
Effort tranchant à l'ELU	V_u	114,365	107,355	90,701	KN
Effort tranchant à l'ELS	V_{ser}	101,97	97,04	84,48	KN
CALCUL BETON ARME EN FLEXION					
Épaisseur du radier	F	0,2	0,2	0,15	m
Largeur	b	1	1	1	m
Hauteur utile	d	0,18	0,18	0,135	m
Moment de calcul ultime	M_u	0,046	0,043	0,024	MN.m
Effort tranchant ultime	V_u	0,114	0,107	0,091	MN
Moment réduit de béton	μ_{bu}	0,100	0,094	0,094	-
Avons-nous $\mu_{bu} \leq 0,186$?		Oui	Oui	Oui	-
Rapport M_u/M_{ser}	Y	1,122	1,106	1,074	-
Moment réduit de l'acier	μ_c	0,391	0,391	0,391	-
Avons-nous $\mu_{bu} \leq \mu_c$?		Oui	Oui	Oui	-
Armature de compression nécessaire ?		Pas besoin	Pas besoin	Pas besoin	-
Position de la fibre neutre	α_u	0,131	0,123	0,124	-
Bras de levier du couple élastique	Z_u	0,171	0,171	0,128	m
Section d'armature tendue	A_u	7,307	6,859	5,191	Cm ²
Condition de non fragilité	A_{min}	2,174	2,174	1,630	Cm ²
VERIFICATION A L'ELS					
Moment max à l'ELS	M_{ser}	40,787	38,816	22,703	Mpa
Calcul de l'axe neutre	Y_{ser}	0,031	0,031	0,023	m
Moment quadratique	I_{ser}	0,000258	0,000243	0,000103	m ⁴

Contrainte réelle de compression du béton	σ_{bc}	4,926	4,975	5,129	Mpa
Contrainte limite de compression du béton	σ_{bc}^*	15	15	15	Mpa
Vérification du béton à l'ELS	-	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	-
Contrainte réelle de l'acier	σ_s	353,04	356,56	367,60	Mpa
Contrainte limite de l'acier	σ_s^*	202	202	202	Mpa
Vérification	-	Condition non vérifiée	Condition non vérifiée	Condition non vérifiée	-
REDIMENSIONNEMENT A L'ELS					
Calcul de coefficient U	U	0,187	0,178	0,185	-
Calcul de lamda	λ	1,187	1,178	1,185	-
Cosinus de l'angle phi	$\cos\phi$	0,773	0,782	0,775	-
Calcul de phi en degré	ϕ	39,349	38,537	39,176	°
Paramètre de déformation	α	0,367	0,360	0,366	-
Contrainte du béton	σ_{bc}	7,813	7,567	7,760	Mpa
Vérification du béton à l'ELS	$\sigma_{bc} < \sigma_{bc}^*$	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	-
Calcul d'acier A_s (cm ²)	A_{ser}	12,834	12,176	9,519	Cm ²
Condition de non fragilité	-	2,174	2,174	1,630	Cm ²
Vérification	-	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	-
VERIFICATION DES CONTRAINTES DES ACIERS TRANSVERSAUX					
Contrainte de cisaillement	T_u	0,635	0,596	0,672	Mpa
Contrainte limite tangentielle	T_{lim}	3,33	3,33	3,33	Mpa
Vérification	-	Condition vérifiée	Condition vérifiée	Condition vérifiée	
CHOIX DES ACIERS					
Calcul des armatures Tendue par face	$A_{st}/face$	6,417	6,088	4,759	Cm ²
Choix d'armatures tendues	HA	9HA10	9HA10	7HA10	-
Section commerciale	A_s	14,140	14,140	10,100	Cm ²
Espacement minimal longitudinal	E_{min}	3,750	3,750	3,750	Cm
Espacement longitudinal retenu	E	15,000	15,000	15,000	Cm
Choix d'armatures transversales	HA	5HA8	5HA8	5HA8	-
Section commerciale	A_s	2,510	2,510	2,510	Cm ²
Espacement	E_r	20,000	20,000	20,000	Cm

Tableau 46 : Récapitulatif des aciers des caniveaux du projet

Eléments de l'ouvrage	Disposition	Caniveau 150x150	Caniveau 150x120	Caniveau 100x100
Dallette	Supérieur	9HA10 Esp= 15 cm	6HA10 Esp= 20 cm	5HA10 Esp= 20 cm
	Inférieur	9HA10 Esp= 15 cm	6HA10 Esp= 20 cm	5HA10 Esp= 20 cm
	Répartition	5HA8 Esp= 20 cm	5HA8 Esp= 20 cm	5HA8 Esp= 20 cm
Piédroit	Principale	7HA10 Esp= 15 cm	7HA10 Esp= 15 cm	5HA10 Esp= 20 cm
	Transversale	5HA8 Esp= 20 cm	5HA8 Esp= 20 cm	5HA8 Esp= 20 cm
Radier	Supérieur	9HA10 Esp= 15 cm	9HA10 Esp= 15 cm	7HA10 Esp= 15 cm
	Inférieur	9HA10 Esp= 15 cm	9HA10 Esp= 15 cm	7HA10 Esp= 15 cm
	Répartition	5HA8 Esp= 20 cm	5HA8 Esp= 20 cm	5HA8 Esp= 20 cm

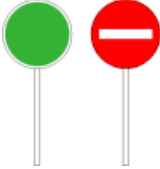
ANNEXE III : SIGNALISATION ROUTIERE

1. Signalisation verticale

Mémoire de fin de cycle Master en génie civil
Présenté par Odilon Juda Léonce PENZENI

Promotion
2025-2026

Tableau 47 : Quelques panneaux utilisés pour notre projet

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

2. Signalisation horizontale

Tableau 48 : Quelques marquages horizontaux du projet

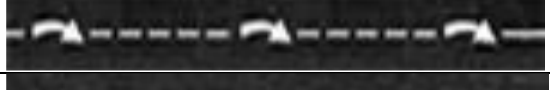
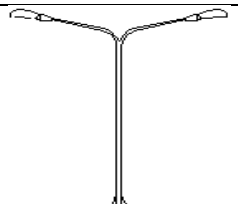
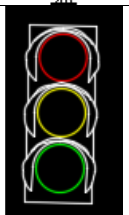
Type de ligne	Illustration
T'1	
T2	
T3	
La ligne continue	

Tableau 3 : Autres signalisations

Panneaux	Code	Descriptions	Nombre
	A1b	Virage à gauche : indique un virage dangereux vers la gauche	7
	A1a	Virage à droite : indique un virage dangereux vers la droite.	7
	A1c	Succession de virages (1er à gauche) : annonce plusieurs virages, le premier étant à gauche.	1
	A1d	Succession de virages (1er à droite) : annonce plusieurs virages, le premier étant à droite.	1
	AB4	STOP : oblige à s'arrêter complètement à une intersection.	37
	A15a1	Passage d'animaux domestiques : signale un risque de traversée d'animaux (vaches, moutons...).	3
	A13a	Passage d'enfants : signale la présence d'enfants (écoles, aires de jeux).	4
	B14	Limitation de vitesse à 50 km/h : interdit de dépasser les 50 km/h.	7
	B3	Dépassement interdit : interdit à tous les véhicules de dépasser	4
	B3a	Dépassement interdit aux poids lourds : interdit aux véhicules de transport de marchandises de dépasser.	3

		Balise d'ouvrage	37
		Lampadaire ou candélabre de 15m	173
		Feux tricolore	21
		Présignalisations de cassis ou dos d'âne	27

ANNEXE IV : AVANT METRE ET ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET

METRE DES OUVRAGES EN BETON ARMÉ

Mémoire de fin de cycle Master en génie civil
Présenté par Odilon Juda Léonce PENZENI

Promotion
2025-2026

Tableau 49 : Métré de différents types de dalots

OUVRAGES EN BETON ARME							
Dalots	Materiaux	Volume tablier	Volume radier	Volume piedroits	Volume mur en aile	Volume semelle	Volume total
Type 01		e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=40cm	V1
1 x 150 x150	Béton (m3)	4,95	4,95	16,5	37,2	25,2	88,8
	Acier(kg/m3)	396	396	1320	2976	2016	7104
Type 02		e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=40cm	V2
3 x 200 x100	Béton (m3)	19,8	19,8	44	47,12	28,56	159,28
	Acier(kg/m3)	1584	1584	3520	3769,6	2284,8	12742,4
Type 03		e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=40cm	V3
1 x 400 x200	Béton (m3)	13,2	13,2	44	37,2	31,92	139,52
	Acier(kg/m3)	1056	1056	3520	2976	2553,6	11161,6
Type 04		e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=40cm	V4
4 x 400 x200	Béton (m3)	52,8	52,8	110	38,08	31,92	285,6
	Acier(kg/m3)	4224	4224	8800	3046,4	2553,6	22848
Type 05		e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=40cm	V5
2 x 150 x150	Béton (m3)	9,9	9,9	49,5	42,56	25,2	137,06
	Acier(kg/m3)	792	792	3960	3404,8	2016	10964,8
Type 06		e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=30cm	e=40cm	V6
1 x 100 x100	Béton (m3)	3,3	3,3	22	47,12	25,2	100,92
	Acier(kg/m3)	264	264	1760	3769,6	2016	8073,6

Tableau 50 : Métré de différents types de caniveaux

OUVRAGES EN BETON ARME					
Caniveaux	Materiaux	Volume dalle	Volume radier	Volume voiles	Volume total
Type 01		e=20cm	e=20cm	e=20cm	V1/ml
150 x 150	Béton (m3)	0,34	0,38	0,6	1,32
	Acier(kg/m3)	23,8	26,6	42	92,4
Type 02		e=20cm	e=20cm	e=20cm	V2/ml
150 x 120	Béton (m3)	0,34	0,38	0,6	1,32
	Acier(kg/m3)	23,8	26,6	42	92,4
Type 03		e=15cm	e=15cm	e=15cm	V3/ml
100 x 100	Béton (m3)	0,1725	0,195	0,3	0,6675
	Acier(kg/m3)	12,075	13,65	21	46,725

METRE DES MATERIAUX DIVERS

Tableau 51 : Métré des matériaux divers

METRE DES MATERIAUX		
MATERIAUX	Unité	Volume total

Volume de terrassement		
Déblai	m3	130 255,00
Remblai	m3	35 802,00
Total volume terrassement		166 057,00
Volume de chaussée		
AXE1 (6299,993 m)	m3	47 250,00
AXE2 (2868,137 m)	m3	10 038,00
Total volume de chaussée		57 288,00
Volume de revêtement		
AXE1 (6299,993 m)	m3	37 983,00
AXE2 (2868,137 m)	m3	69 999,00
Total volume de revêtement		107 982,00
FOURNITURE PEINTURE ANTI RETRO		
Marquage axiale discontinu	ml	80666,6667
Marquage de rive continu	ml	12100
Marquage passage piéton, stop	ml	5760
Total peinture		98526,6667
Bordure type T2 et glissière de sécurité		
Bordure type T2	ml	9168,13
Glissière de sécurité	ml	275,0439
ECLIRAGE PUBLIC		
Kit complet candélabres et lumineuses	U	157

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU PROJET

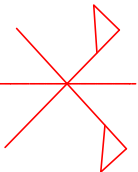
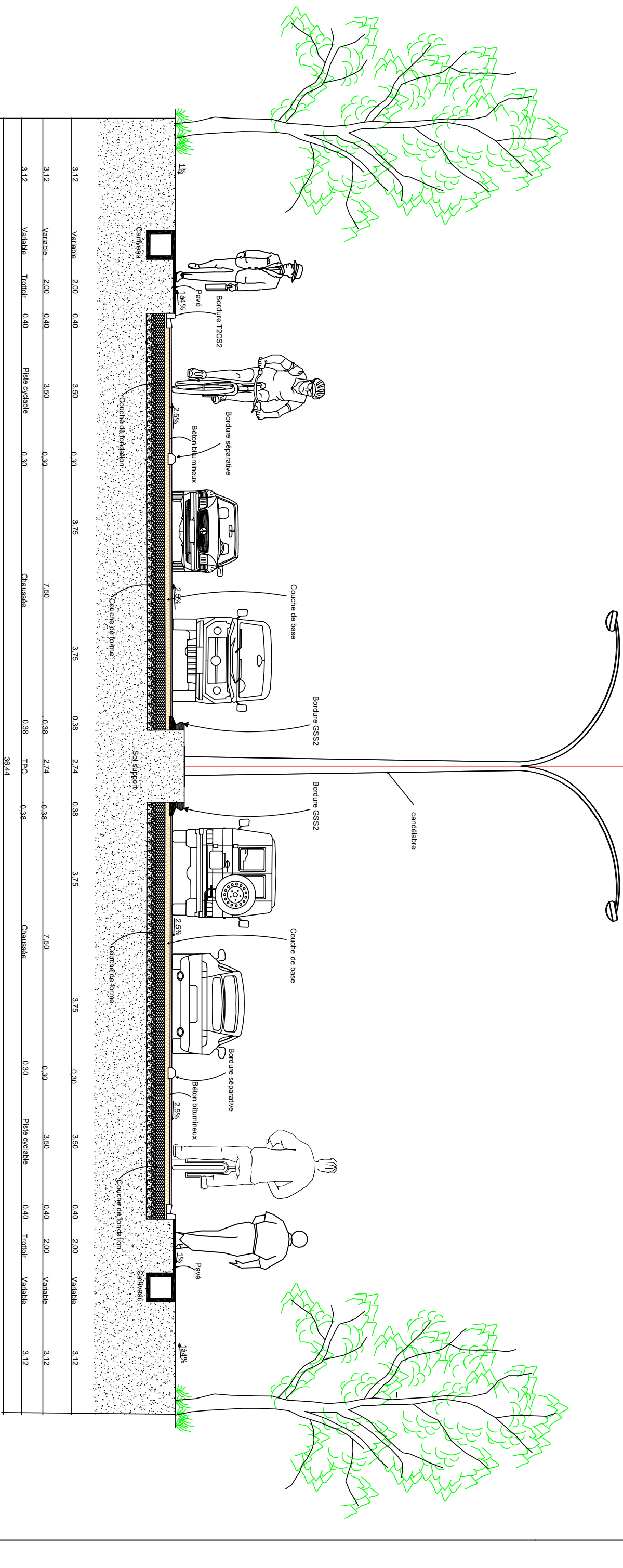
N°	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix Total
100	Installation et repli du chantier				
101	Installation du chantier	Ens	1,00	417 881 803	417 881 803
102	Amené et repli du matériel	Ens	1,00	13 000 000	13 000 000
103	Laboratoire du chantier	Ens	1,00	4 750 000	4 750 000
	Sous total 100				435 631 803
200	Travaux préparatoires				
201	Abattage des arbres de circonférence supérieure à 1m	U	257,00	20 000	5 140 000
202	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	m²	550 087,80	350	192 530 730

203	Création et aménagement des déviations et pistes de services	Km	9,17	2 300 000	21 086 400
204	Décapage de la terre végétale (10cm)	m²	330 052,68	300	99 015 804
205	Démolition des bâtis se trouvant dans l'emprise de la route	Fft	1,00	10 000 000	10 000 000
	Sous total 200				327 772 934
300	Terrassement				
301	Déblais mis en dépôt définitif	m³	130 225,00	6 000	781 350 000
302	Déblais mis en dépôt provisoire	m³	84 646,25	5 000	423 231 250
303	Mise en forme réglage et compactage de la plateforme	m²	302 250,34	300	90 675 101
304	Remblais provenant de déblais pour travaux de terrassement	m³	50 787,75	1 200	60 945 300
	Sous total 300				1 356 201 651
400	Chaussée et revêtement				
401	Fourniture et mise en œuvre du revêtement en Béton bitumineux (ep,5)	m³	14 763,00	215 000	3 174 045 000
402	Fourniture et mise en œuvre du revêtement en Grave bitume (Gb2)	m³	14 553,00	179 000	2 604 987 000
403	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de fondation (ep,25)	m³	39 145,00	7 130	279 103 850
404	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de base (ep,20)	m³	24 592,00	7 130	175 340 960
405	Fourniture et mise en œuvre des pavés autobloquants (ep=6cm)	m²	13 752,20	17 125	235 506 339
406	Fourniture et pose de bordure type T2	ml	9 168,13	24 000	220 035 120
	Fourniture et pose de bordure type T2+CS2	ml	36 672,52	25 000	916 813 000
	Fourniture et pose de bordure séparateur	ml	36 672,52	21 080	773 056 722
	Fourniture et pose de bordure type P3	ml	18 336,26	23 100	423 567 606
	Fourniture et pose de bordure type T1	ml	18 336,26	22 000	403 397 720
	Sous total 400				9 205 853 317
500	Ouvrage d'assainissement				

501	Béton de propreté (150 Kg/m3)	m3	2 750,44	77 500	213 159 023
502	Caniveau en béton armé 150x150	ml	4 200,00	113 750	477 749 431
503	Caniveau en béton armé 150x120	ml	2 100,00	125 000	262 499 625
504	Caniveau en béton armé 100x100	ml	2 868,14	105 000	301 154 385
507	Dallete en béton armé pour caniveau de section 150x150	ml	4 200,00	50 000	209 999 750
508	Dallete en béton armé pour caniveau de section 150x120	ml	2 100,00	49 375	103 687 352
509	Dallete en béton armé pour caniveau de section 100x100	ml	2 868,14	43 750	125 480 994
514	3xDalot de 1x150x150				
514.1	Béton dosé à 400kg/m3 pour joint	m3	266,40	255 000	67 932 000
514.2	Acier HA en FeE400	kg	21312	1 400	29 836 800
	Sous total 514				97 768 800
515	1xDalot de 3x200x100				
515.1	Béton dosé à 400kg/m3	m3	159,28	255 000	40 616 400
515.2	Acier HA en FeE400	kg	12 742,40	1 400	17 839 360
	Sous total 515				58 455 760
516	2xDalot de 1x400x200				
516.1	Béton dosé à 400kg/m3	m3	279,04	255 000	71 155 200
516.2	Acier HA en FeE400	kg	22 323,20	1 400	31 252 480
	Sous total 516				102 407 680
517	1xDalot de 4x400x200				
517.1	Béton dosé à 400kg/m3	m3	285,60	255 000	72 828 000
517.2	Acier HA en FeE400	kg	2 284,80	1 400	3 198 720
	Sous total 517				76 026 720
518	1xDalots de 2x150x150				
518.1	Béton dosé à 400kg/m3	m3	137,06	255 000	34 950 300
518.2	Acier HA en FeE400	kg	10 964,80	1 400	15 350 720
	Sous total 518				50 301 020
519	2xDalots de 1x100x100				

519.0	Béton dosé à 400kg/m ³	m ³	201,84	255 000	51 469 200
519.1	Acier HA en FeE400	Kg	16 147,20	1 400	22 606 080
	Sous total 519				74 075 280
520	Fourniture et mise en œuvre de garde-corps métallique	ml	1 272,12	60 000	76 327 200
	Sous total 500				2 229 093 019
600	Signalisation-Sécurité-Eclairage				
601	Fourniture et pose de balise de virage en béton	U	8,00	21 000	168 000
602	Fourniture et pose des bornes kilométrique	U	9,00	33 000	297 000
603	Fourniture et pose des panneaux de signalisation temporaire Type A	U	25,00	125 000	3 125 000
604	Fourniture et pose des panneaux de signalisation définitive Type A	U	39,00	140 000	5 460 000
605	Fourniture et pose des panneaux de signalisation Type B ou AB	U	36,00	140 000	5 040 000
606	Fourniture et pose des panneaux de signalisation Type C , D,E ou J5	U	8,00	140 000	1 120 000
607	Marquage en peinture blanche retro réfléchissante axiale discontinue	ml	80 666,67	3 600	290 400 012
608	Marquage en peinture blanche retro réfléchissante de rive continue	ml	12 100,00	3 600	43 560 000
609	Marquage en peinture rétro réfléchissante spécial (Stop, Passage piéton)	m ²	5 760,00	5 750	33 120 000
610	Fourniture et pose des feux tricolores sur glissières court en acier	U	13,00	3 500 000	45 500 000
611	Fourniture et installation d'éclairage public solaire H=10m y compris toute sujétion	U	176,00	1 800 000	316 800 000
612	Fourniture et pose des ralentisseurs en béton, type : dos d'âne	ml	11,00	250 000	2 750 000
	Sous total 600				747 340 012
700	Mesures environnementales et sociales				
701	Mesures compensatrices environnementales et sociales	Fft	1,00	15 000 000	15 000 000
702	Plantation d'arbre d'alignement, protection et entretien	u	1 285,00	14 500	18 632 500

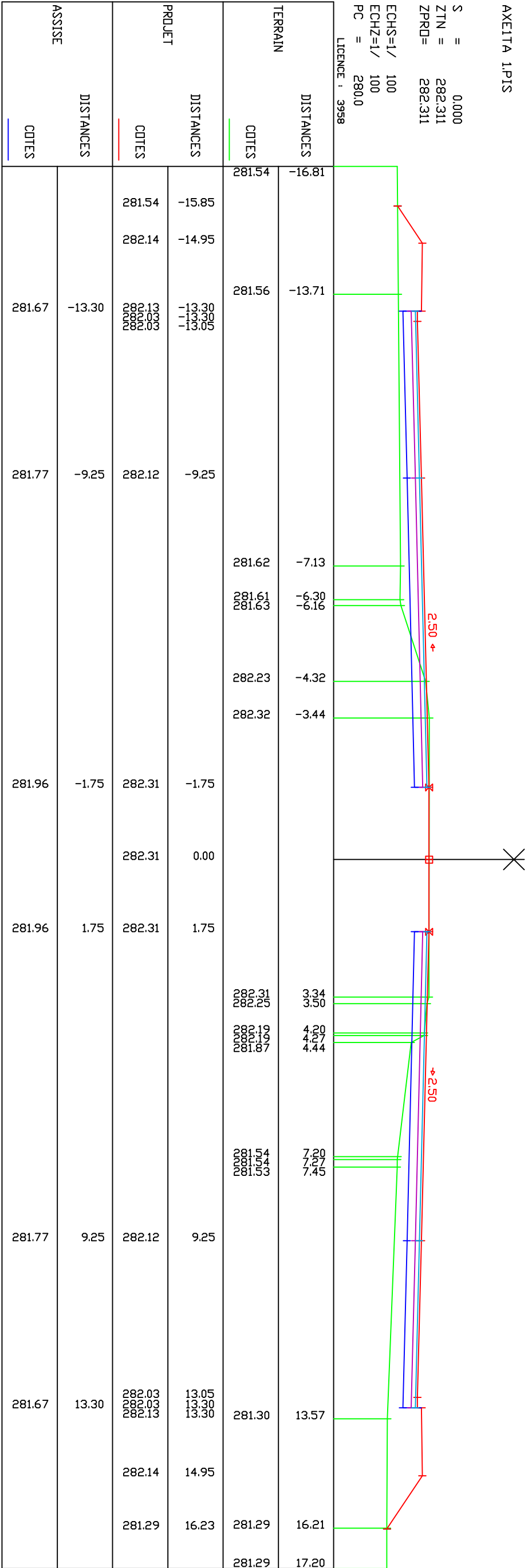
703	Remise en état des lieux des carrières et aires de stockage	fft	1,00	6 750 000	6 750 000
704	Sensibilisation sur les MST et VIH	fft/cam	2,00	2 500 000	5 000 000
Sous total 700					45 382 500
I	Montant total HTVA				14 347 275 236
II	TVA 18%				2 582 509 543
III	Montant total TTC				16 929 784 779
IV	Cout kilométrique				1 846 617 013

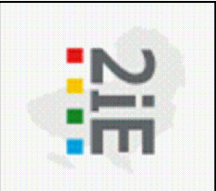


PROFIL 1

AXE/ITA 1.P1S

S = 0.000
ZTN = 282.311
ZPRU= 282.311
ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 280.0
LICENCE : 3958





Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et
de l'Environnement
(2IE)



AGEIM-IC
06 BP9223
Ouagadougou
Tel:0025365600/
0063003096

*Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la
RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à
l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de
9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.*

AXE_1

Profil en
travers
courant

Dessiné par

PENZENI Odilon Juda Léonce

Format

A3

Date

14/11/2025

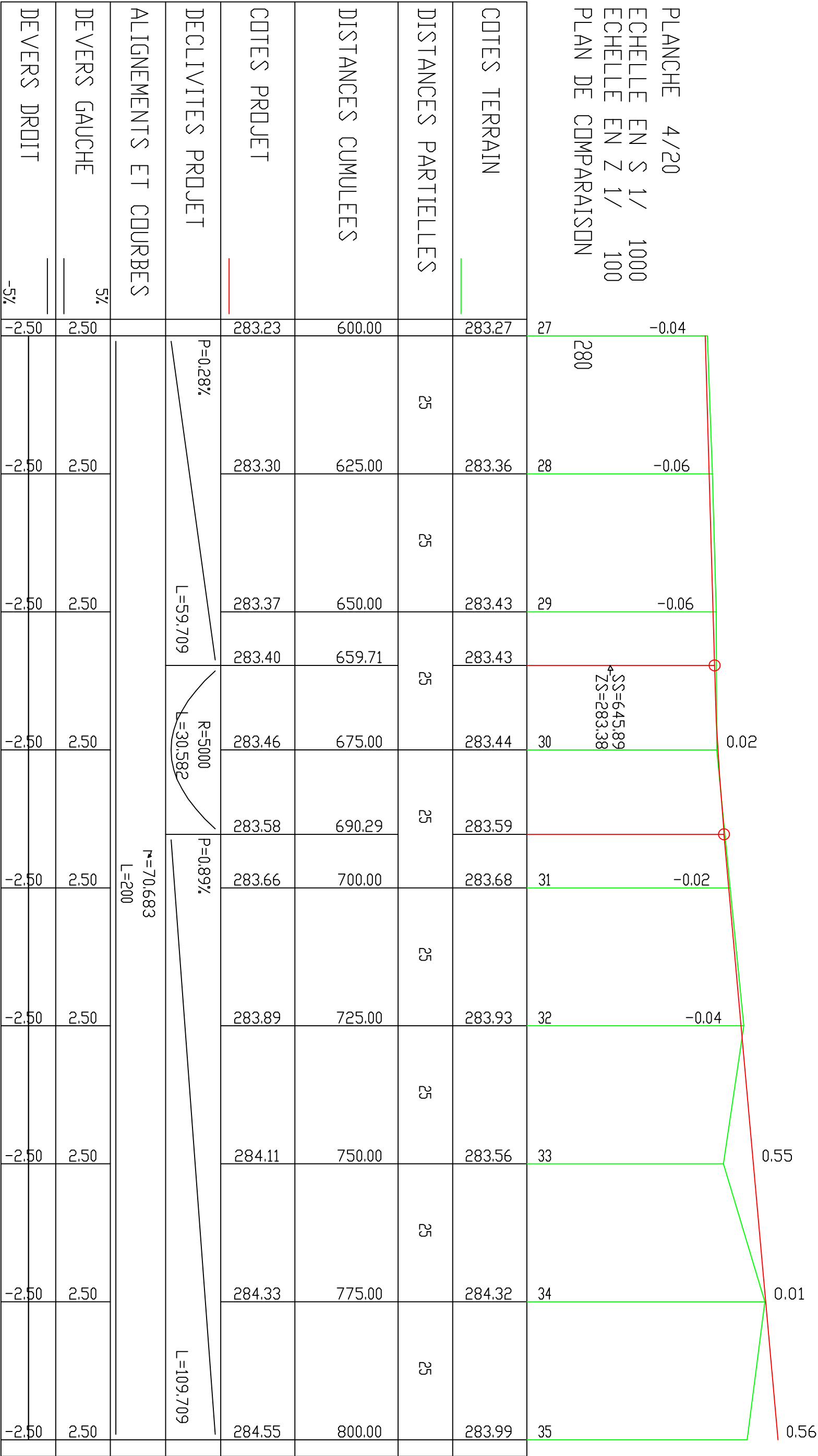
Echelle

1/100 et 1/1000

N°

01

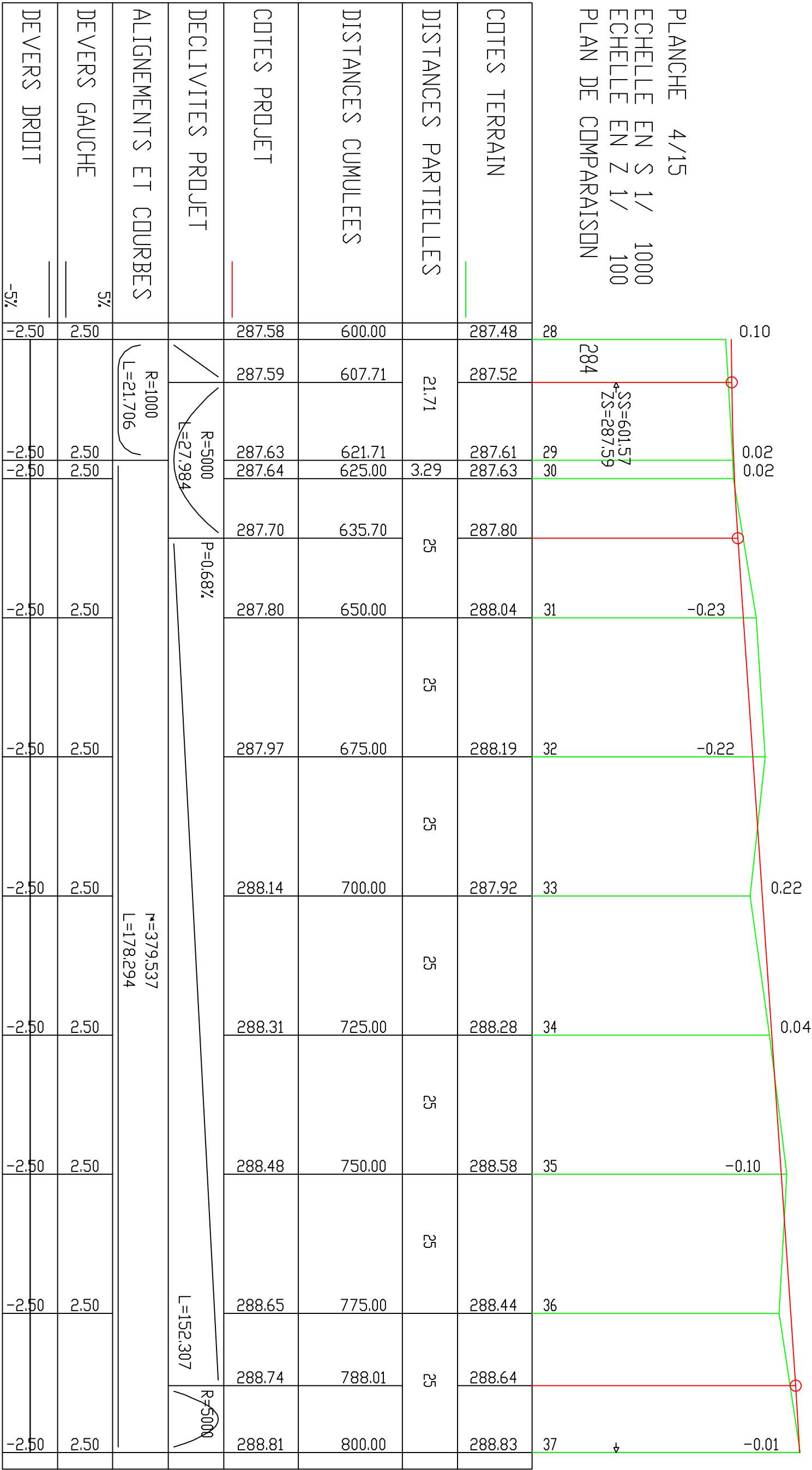
PLANCHE 4/20
ECHELLE EN S 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON



AXE1TA 1.PIS

LICENCE : 3958

PLANCHE 4/15
ECHELLE EN S 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON



AXE2TA 1.PIS

LICENCE : 3958

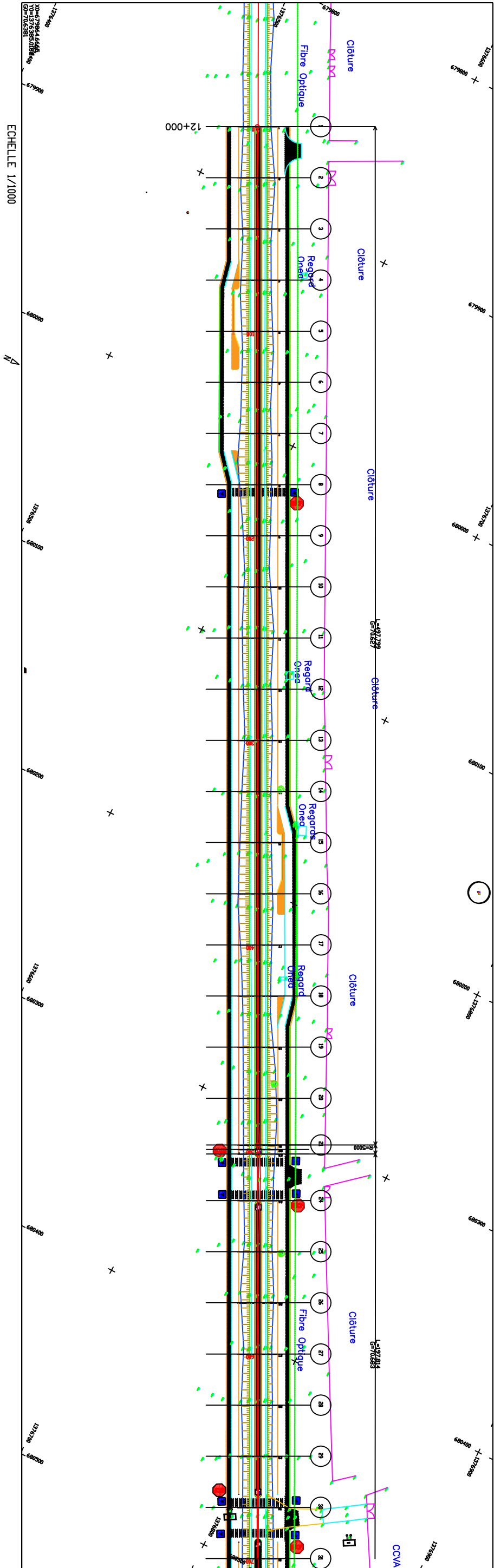


PLANCHE 1/ 9 ECHELLE EN S 1/ 1000 ECHELLE EN Z 1/ 100 PLAN DE COMPARAISON			0.00	
COTES TERRAIN	282.31	282.31	1	0.00
DISTANCES PARTIELLES	0.00	25.00	2	-0.09
DISTANCES CUMULEES	25.00	50.00	3	-0.24
COTES PROJET	282.31	282.35	4	-0.24
DECLIVITES PROJET	-0.17%	-0.04%	5	-0.24
ALIGNEMENTS ET COURBES	L=197.979	L=497.799	6	-0.31
DEVERS GAUCHE	-2.50	2.50	7	0.04
DEVERS DROIT	-2.50	2.50	8	-0.33
	-2.50	2.50	9	0.00
	-2.50	2.50	10	-0.36
	-2.50	2.50	11	0.00
	-2.50	2.50	12	-0.39
	-2.50	2.50	13	-0.39
	-2.50	2.50	14	-0.33
	-2.50	2.50	15	-0.28
	-2.50	2.50	16	-0.40
	-2.50	2.50	17	-0.36
	-2.50	2.50	18	-0.16
	-2.50	2.50	19	-0.38
	-2.50	2.50	20	0.00
	-2.50	2.50	21	-0.26
	-2.50	2.50	22	-0.23
	-2.50	2.50	23	0.27
	-2.50	2.50	24	-0.21
	-2.50	2.50	25	-0.18
	-2.50	2.50	26	-0.04
	-2.50	2.50	27	-0.06
	-2.50	2.50	28	-0.06
	-2.50	2.50	29	0.02
	-2.50	2.50	30	-0.02
	-2.50	2.50	31	



Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et
de l'Environnement
(2IE)



AGEIM-IC
06 BP9223
Ouagadougou
Tel:0025365600/
0063003096

Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la
RN4 : cas des voies dominant accès au nouveau péage et à
l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de
9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.

AXE_1

Tracé
combiné

Dessiné par

Format

Date

Echelle

PENZENI Odilon Juda Léonce

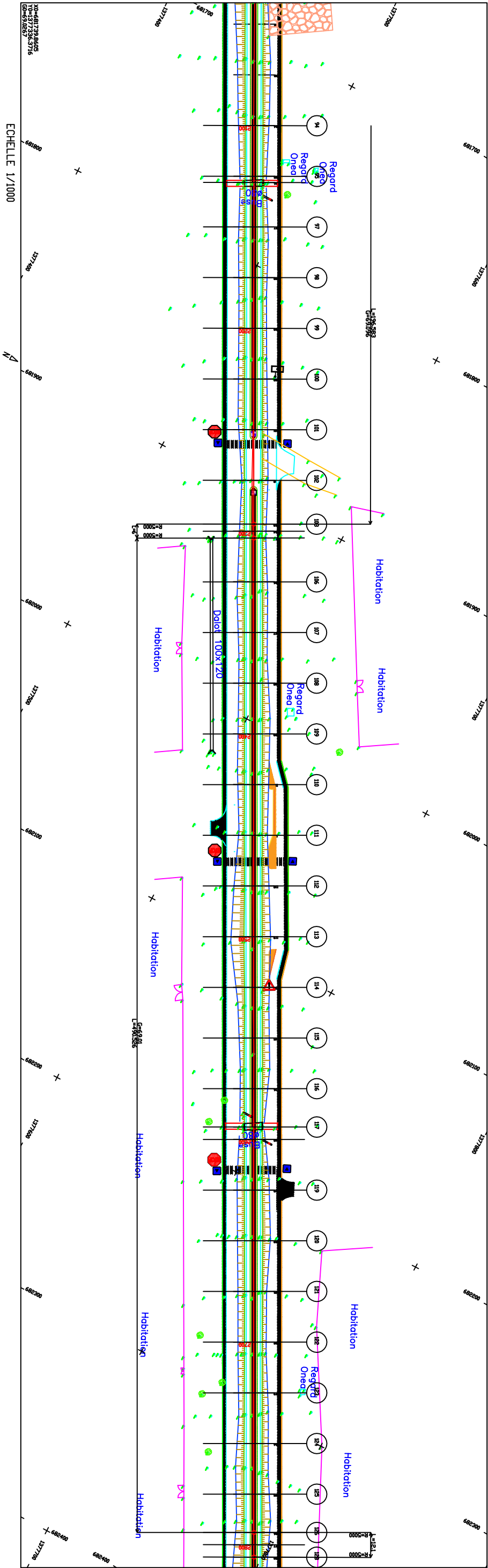
A3

14/11/2025

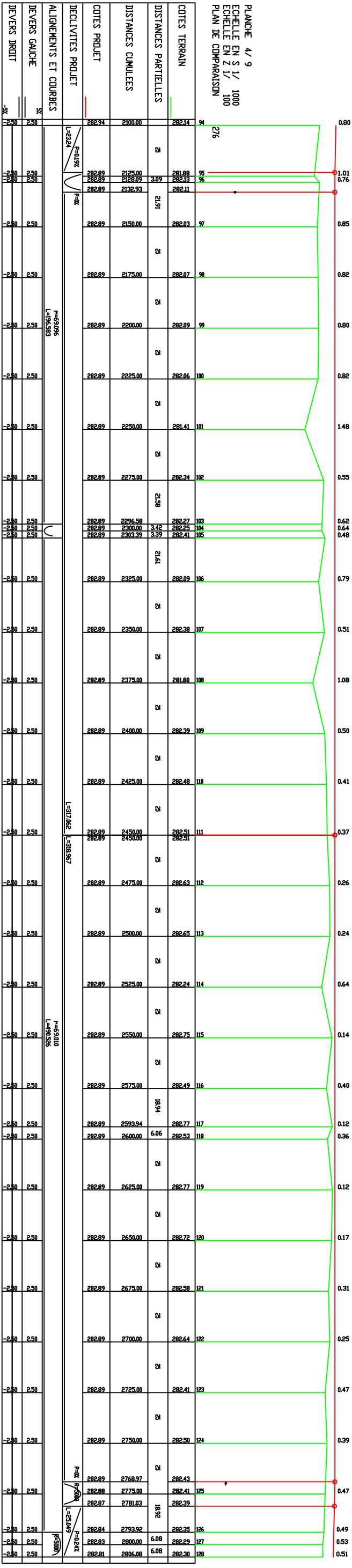
1/100 et 1/1000

N°

01



ECHELLE 1/1000



ECHELLE 1/1000

PLAN DE COMPARAISON

COTES TERRAIN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ECHELLE 1/1000



Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et
de l'Environnement
(ZIE)



AGEIM-IC
06 BP9223
Ouagadougou
Tel:0025365600/
0063003096

Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la
RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à
l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de
9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.

AXE_1

Dessiné par

PENZENI Odilon Juda Léonce

Tracé
combiné

Format

A3

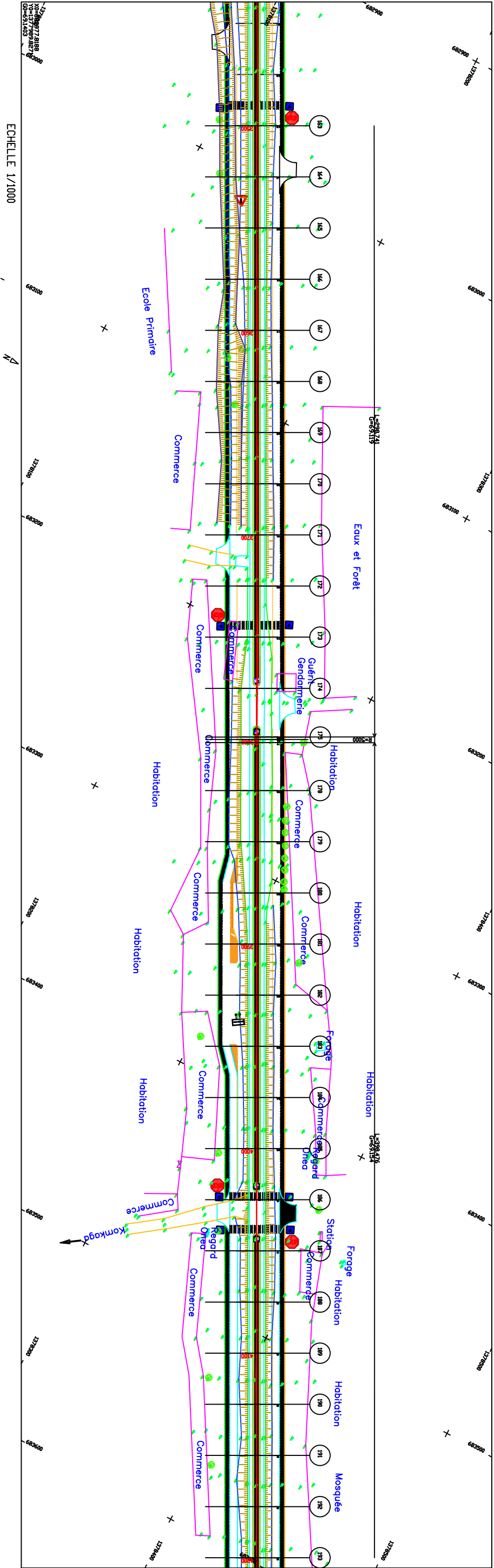
Date

14/11/2025

Echelle

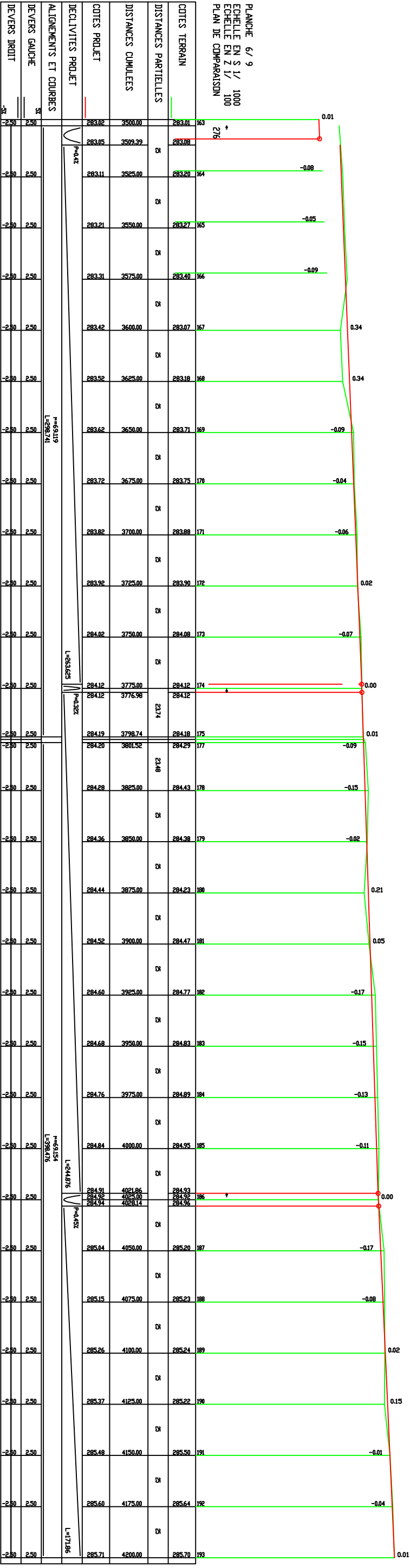
1/100 et 1/1000

N°
04



ECHELLE 1/1000

PLANCHE 6/ 9
ECHELLE EN S 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON



AXE1TA 1.PIS

LONGUEUR : 3298



Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et
de l'Environnement
(ZIE)



AGEIM-IC
06 BP9223
Ouagadougou
Tel:002 5365600/
0063003096

Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la
RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à
l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de
9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.

AXE_1

Tracé
combiné

Dessiné par

Format

Date

Echelle

PENZENI Odilon Juda Léonce

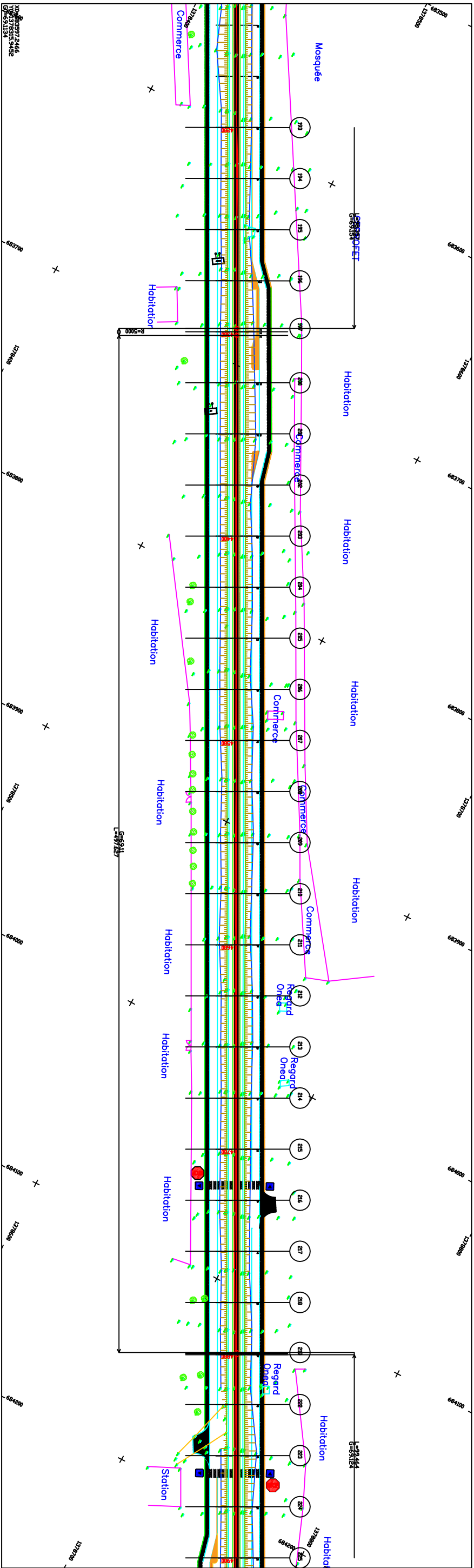
A3

14/11/2025

1/100 et 1/1000

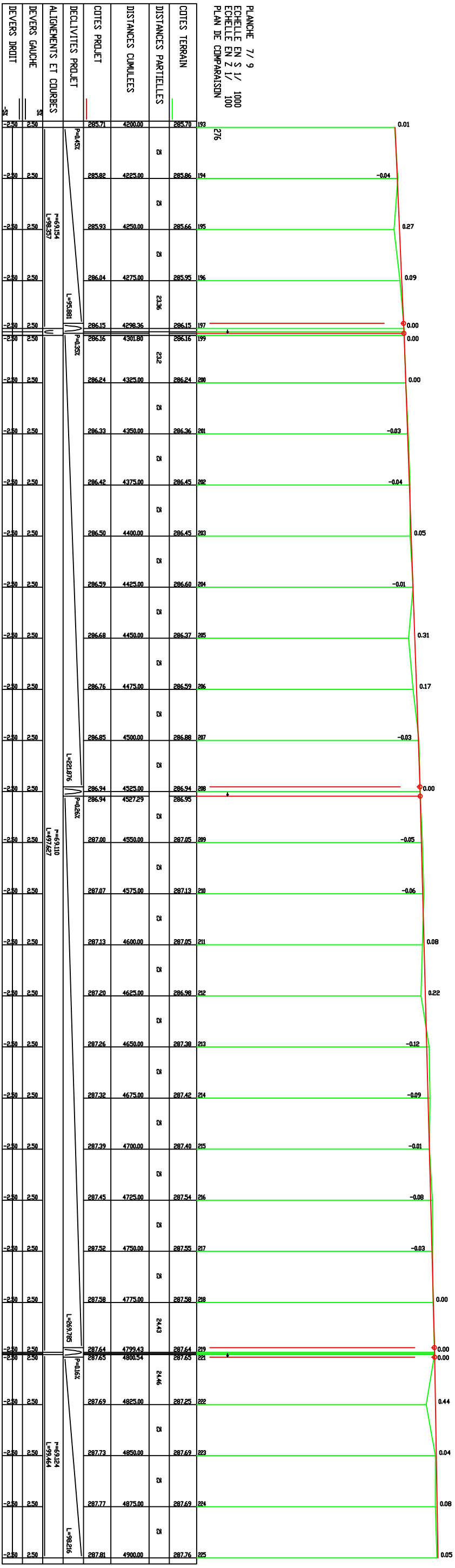
N°

06



ECHELLE 1/1000

N



AXE1TA 1.PIS

LIBRES : 2958



Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et
de l'Environnement
(ZIE)



AGEIM-IC
06 BP9223
Ouagadougou
Tel:0025365600/
0063003096

Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la RN4 : cas des voies dominant accès au nouveau péage et à l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de 9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.

AXE_1

Tracé
combiné

Dessiné par

Format

PENZENI Odilon Juda Léonce

Date

A3

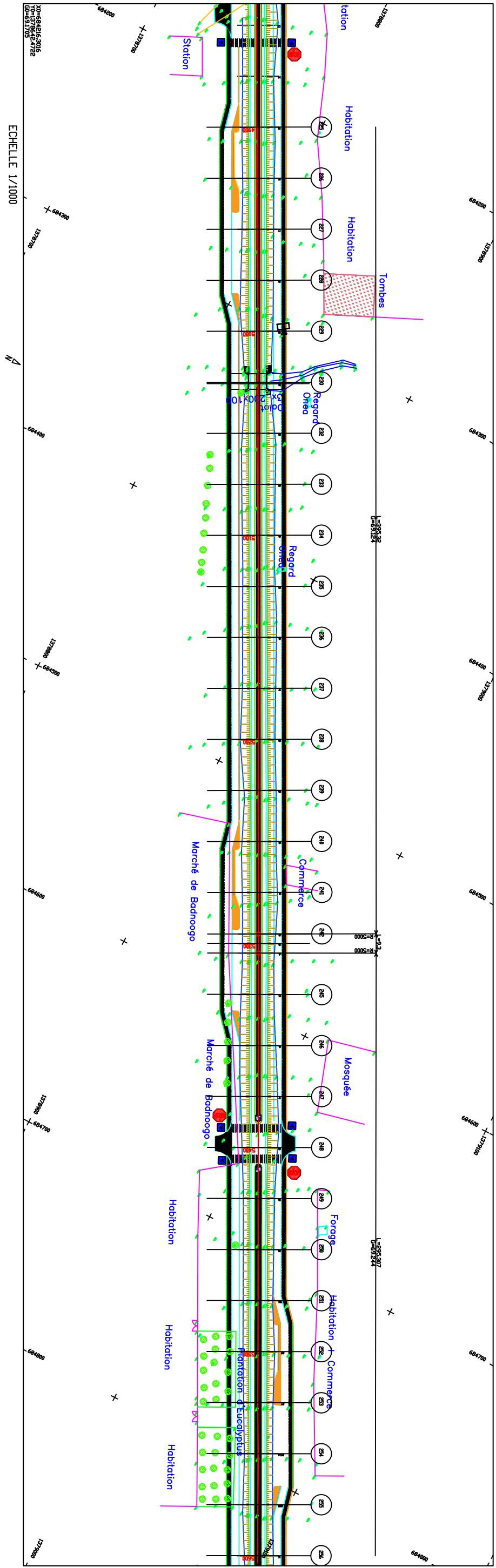
14/11/2025

Echelle

1/100 et 1/1000

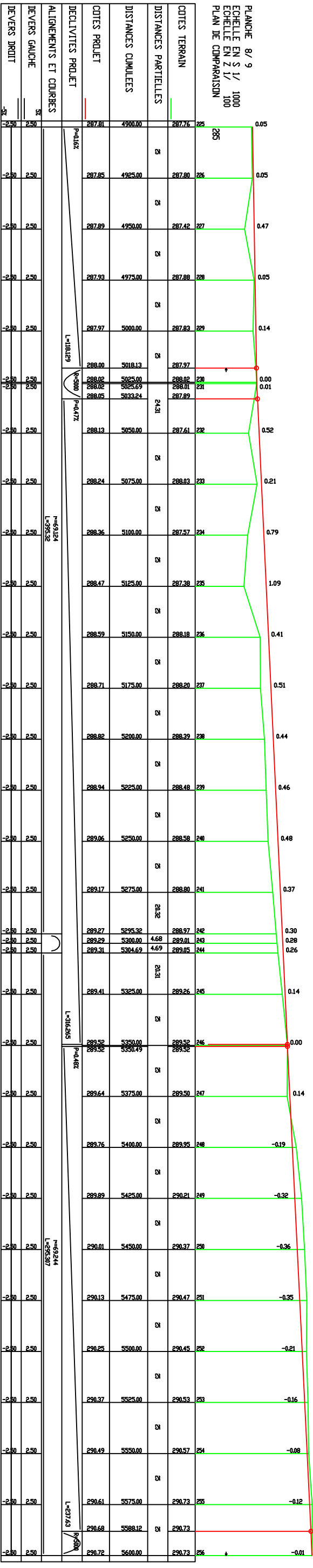
N°

07



ECHELLE 1/1000

PLANCHE 8/ 9
ECHELLE EN S 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON



AXE1TA 1PIS

LONGUEUR : 3298



Institut International
d'Ingénierie de l'Eau et
de l'Environnement
(ZIE)



AGEIM-IC
06 BP9223
Ouagadougou
Tel:0025365600/
0063003096

Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la
RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à
l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de
9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.

AXE_1

Tracé
combiné

Dessiné par

Format

Date

Echelle

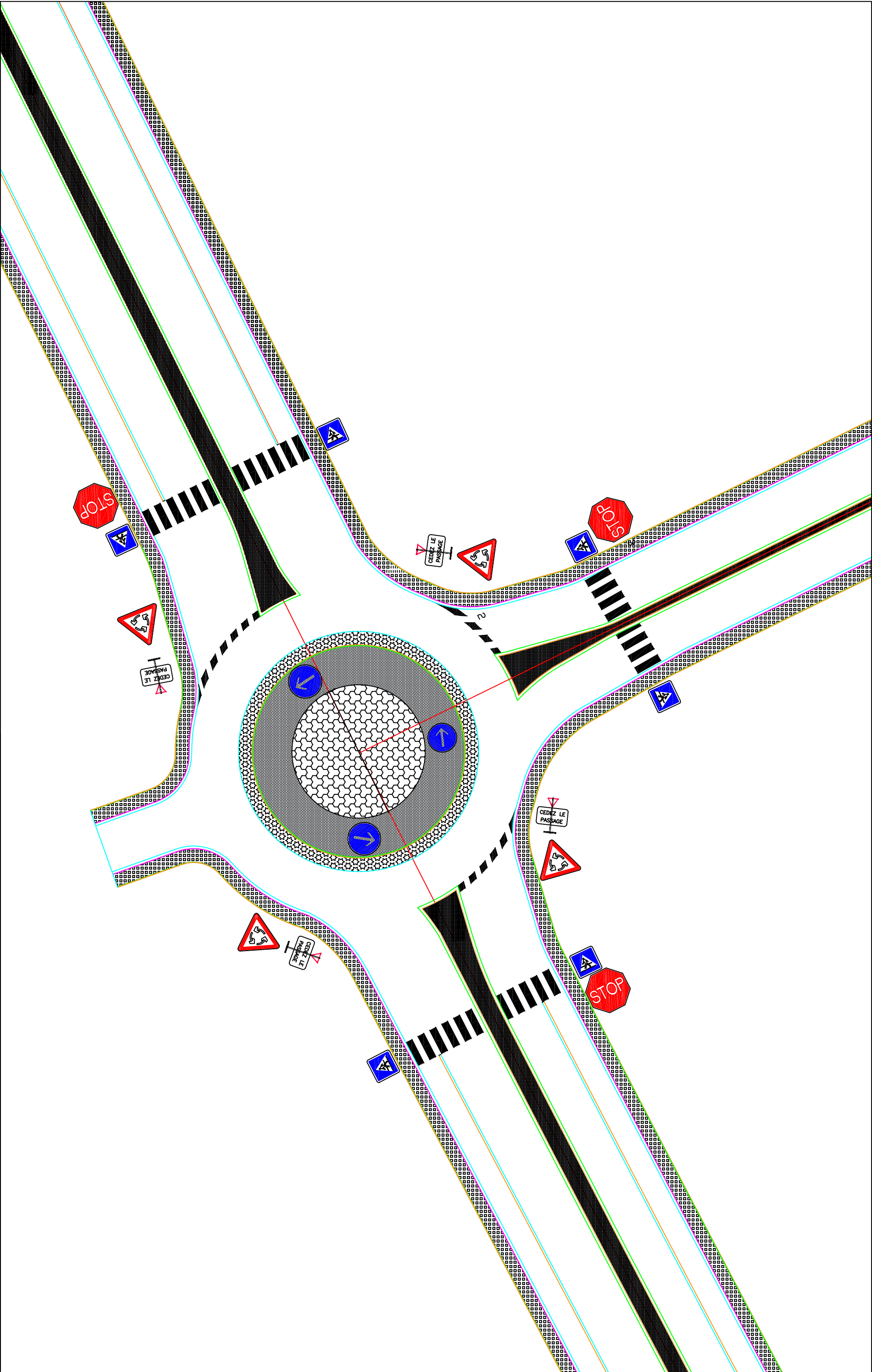
PENZENI Odilon Juda Léonce

A3

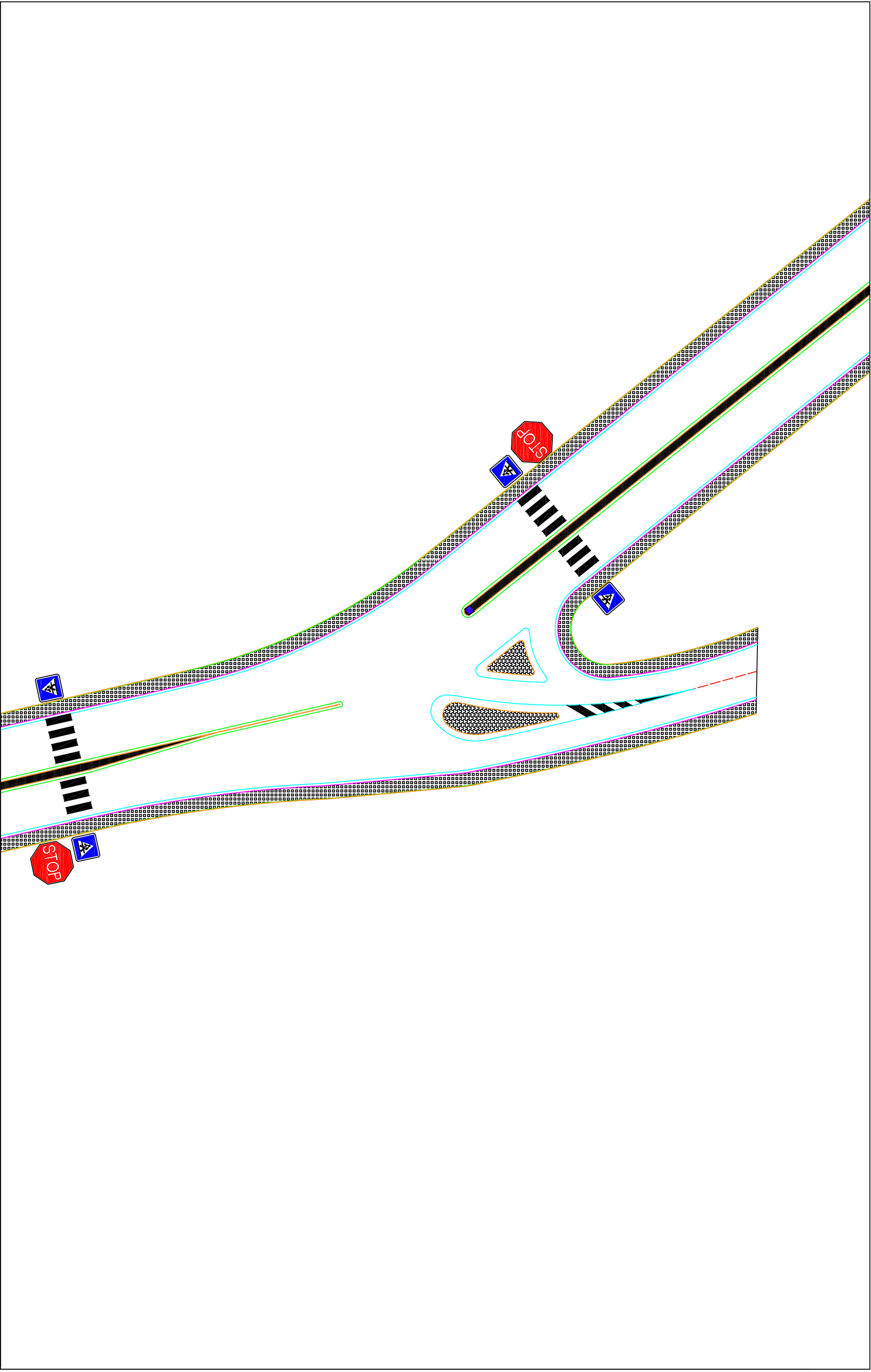
14/11/2025

1/100 et 1/1000

N°
08

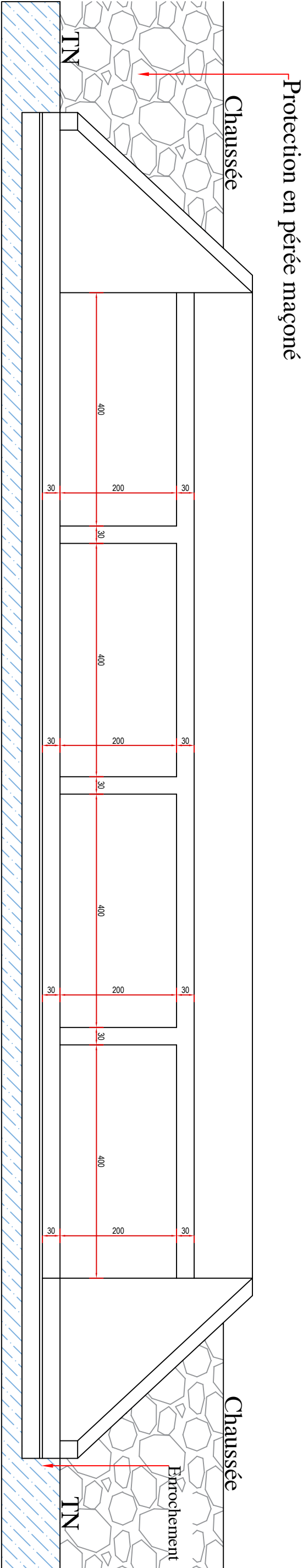


		Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (ZIE)				
		AGEIM-IC 06 BP9223 Ouagadougou Tel:0025365600/ 0063003096				
<i>Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de 9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.</i>						
Tronçon N°1		Dessiné par		PENZENI Odilon Juda Léonce		N°
		Format		A3		
Amenagement RN4		Date		14/11/2025		01
		Echelle		1/100 et 1/1000		

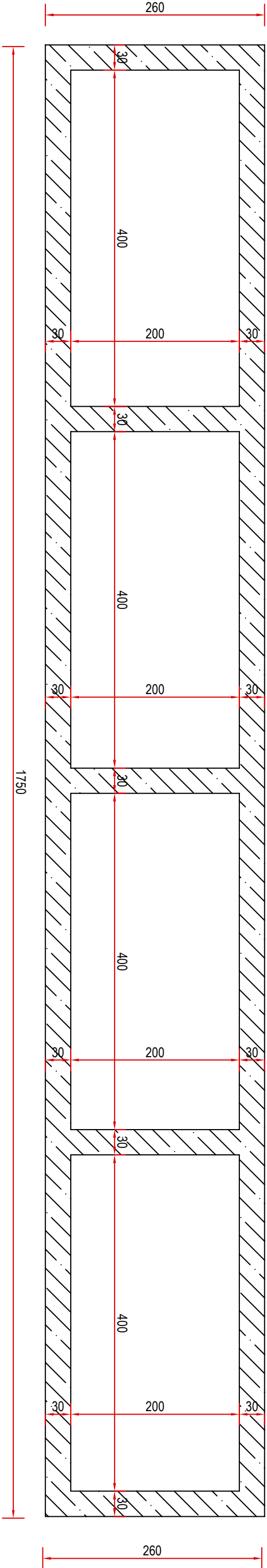


<div><div><div></div><div>2iE</div></div><div><div>Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE)</div></div></div>		<div><div><div></div><div>AGEIM</div></div><div><div>Ingénieurs Conseils</div></div></div>		<div><div>AGEIM-IC</div><div>06 BP9223 Ouagadougou</div><div>Tel: 0025365600/ 0063003096</div></div>		<div><div>Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la RN4 : cas des voies donnant accès au nouveau péage et à l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de 9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.</div></div>			<div><div>Tronçon N°2</div><div>Aménagement Voie d'accès UTS</div></div>		<div><div>Dessiné par</div><div>Format</div><div>Date</div><div>Echelle</div></div>		<div><div>PENZENI Odilon Juda Léonce</div><div>A3</div><div>14/11/2025</div><div>1/100 et 1/1000</div></div>		<div><div>N°</div><div>02</div></div>
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	---------------------------------------

VUE DE FACE DU DALOT

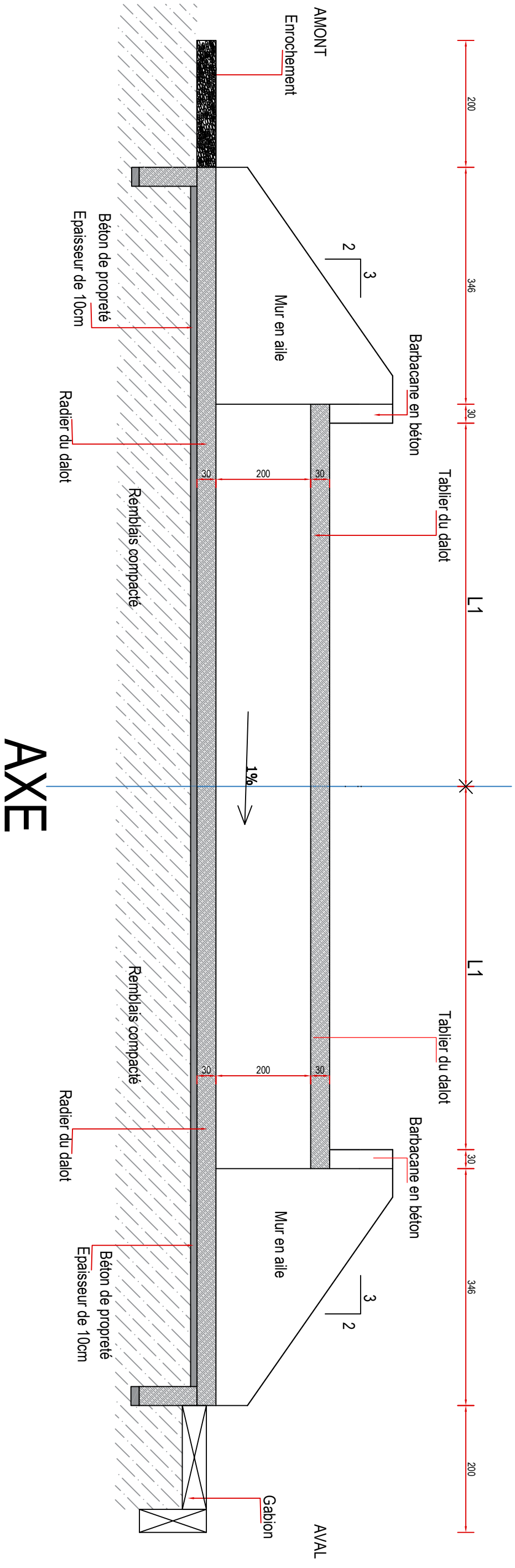


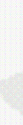
COUPE TRANSVERSALE DU DALOT



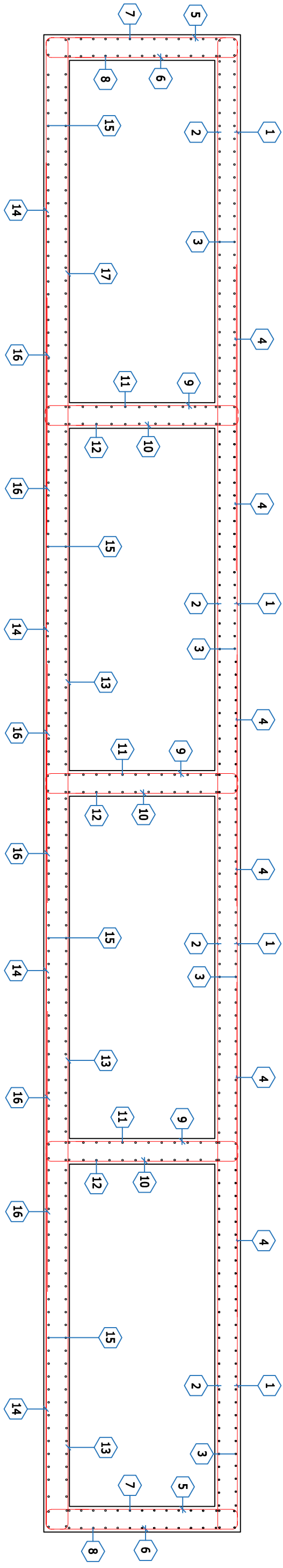
		Institut International d'Ing��nierie de l'Eau et de l'Environnement (ZIE)				AGEIM-IC 06 BP9223 Ouagadougou Tel:0025365600/ 0063003096		<i>��tude technique d��taill��e des travaux d'��largissement de la RN4 : cas des voies dominant acc��s au nouveau p��age et �� l'Universit�� Thomas SANKARA sur un lin��aire total de 9,168 Km �� Ouagadougou au BURKINA FASO.</i>				DALOT 4X4X2		Dessin�� par		PENZENI Odilon Juda L��once		N��
												Format		A3				
												Date		14/11/2025				
												Echelle		1/100 et 1/1000		01		

COUPE A-A

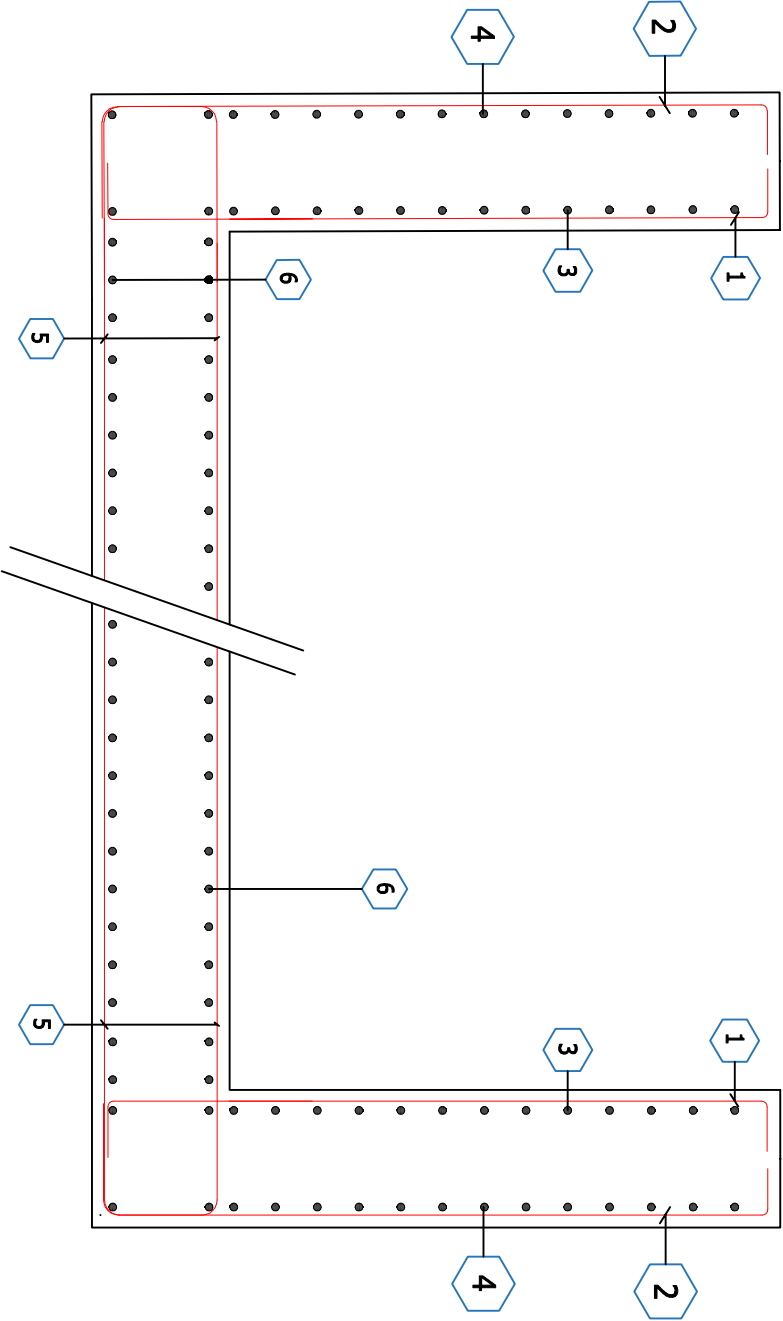


 Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (ZIE)		 Ingénieurs Conseils		AGEIM-IC 06 BP9223 Ouagadougou Tel:0025365600/ 0063003096		<i>Étude technique détaillée des travaux d'élargissement de la RN4 : cas des voies dominant accès au nouveau péage et à l'Université Thomas SANKARA sur un linéaire total de 9,168 Km à Ouagadougou au BURKINA FASO.</i>	
DALOT 4x4x2		Dessiné par		PENZENI Odilon Juda Léonce		N°	
		Format		A3			
COUPE A-A		Date		14/11/2025		02	
		Echelle		1/100 et 1/1000			

FERRAILLAGE DU DALOT



DESCRIPTIF ET NOMENCLATURE			
Section (n x B x D): 4x400x200		Enrobage: 3cm	
Epaisseur piedroit: 30 cm		Hauteur de guide roue: 100 cm	
Epaisseur tablier: 30 cm		Epaisseur de guide roue: 30 cm	
Epaisseur radier: 30 cm		longueur de guide roue: 1100 cm	
Longueur de corps: 100 cm		longueur de mur en aile: 350 cm	
Epaisseur mur en aile: 30 cm		Hauteur de Mur en aile: 310 cm	
N°	Diamètre (mm)	Espacement (cm)	Façonnage L= x (cm)
1	HA 14	15	1740
2	HA 16	15	1740
3	HA 12	15	1096
4	HA 12	15	392
5	HA 16	15	254
6	HA 14	15	254
7	HA 12	15	1096
8	HA 12	15	1096
9	HA 10	15	254
10	HA 10	15	254
11	HA 10	15	1000
12	HA 10	15	1094
13	HA 12	15	1096
14	HA 12	15	1740
15	HA 14	15	1740
16	HA 12	15	531



FERRAILLAGE DU MUR EN AILE

DESCRIPTIF ET NOMENCLATURE			
Section (n x B x D): 4x400x200		Enrobage: 3cm	
Epaisseur piedroit: 30 cm		Hauteur de guide roue: 100 cm	
Epaisseur tablier: 30 cm		Epaisseur de guide roue: 30 cm	
Epaisseur radier: 30 cm		longueur de guide roue: 1100 cm	
Longueur de corps: 100 cm		longueur de mur en aile: 346 cm	
Epaisseur mur en aile: 30 cm		Hauteur de Mur en aile: 310 cm	
N°	Diamètre (mm)	Espacement (cm)	Façonnage L= x (cm)
1	HA 10	15	Variable
2	HA 10	15	Variable
3	HA 12	15	Variable
4	HA 12	15	Variable
5	HA 12	15	Variable
6	HA 12	15	Variable