



ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE NATIONALE NUMERO 15 (RN15) KALWARTENGA-BOULSA : SANGHIN-NIEGA-RAOGBOULI, LONG DE 19,145KM

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 18 juillet 2025 par

Wend-Rim-Nooma Sotisse Anicet OUEDRAOGO (20180354)

Directeur de mémoire : M. Amadou SIMAL, Enseignant à 2iE

Maître de stage : M. Hérve TAMALGO, Ingénieur en génie civil au CAEM

Structure (s) d'accueil du stage : CAEM INGENIERIE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Mamadou DIOP

Membres et correcteurs :

M. Fabrice Velegda Hugues SORE

M. Mamadou Pousga Junior KABORE

Promotion [2024/2025]



Dédicace

A

- ✓ Mon père **OUEDRAOGO Sotisse Prosper**, pour sa force, ses conseils et son soutien sans faille ;
- ✓ Ma mère **YAMEOGO Claudine**, pour son amour constant, ses prières et sa patience infinie.

Qu'ils retrouvent dans ce travail le reflet de l'engagement et des sacrifices qu'ils ont consentis.

Remerciements

A travers ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude à :

- Monsieur Ousmane NACOUлма, Directeur Général du Cabinet Africain d'Etudes et Maitrise d'œuvres, pour m'avoir offert la chance d'effectuer ce stage au sein de la structure ;
- Monsieur le Directeur Général de l'institut 2iE, ainsi qu'à toute l'équipe administrative, aux enseignants et à ceux qui assurent le bon fonctionnement de l'établissement, pour la qualité de la formation reçue ;
- Monsieur Hervé TAMALGO, mon encadrant en entreprise, pour sa patience et ses conseils tout au long du stage ;
- Monsieur Amadou SIMAL, pour sa présence, son appui constant et sa disponibilité durant ce travail ;
- Mes collègues de promotion pour nos discussions constructives et les moments de collaboration enrichissants ;
- Mes parents pour leur accompagnement sans relâche et son soutien tout au long de mon parcours académique ;
- Toutes les personnes, connues ou non, qui ont d'une manière ou d'une autre contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

Cette étude porte sur l'avant-projet détaillé des travaux de construction et de bitumage du tronçon Sanghin-Nièga-Raogbouli, long de 19,145km. Ce projet vise à remettre en état, moderniser et entretenir les infrastructures essentielles de transport. Il est soutenu par le Ministère en charge des infrastructures et du désenclavement, avec l'appui financier du Fonds Spécial du Burkina (FSR-B). L'objectif principal est de produire un dossier technique complet pour l'exécution des travaux.

Dans un premier temps, une analyse de l'état actuel du tronçon a été faite à partir des informations collectées auprès de la structure d'accueil. Certaines démarches comme la visite du site, la collecte de données ou encore une estimation du trafic avait déjà été entamée.

Ensuite, en travaillant sur la structure de la chaussée et la géométrie, on a obtenu une structure composée d'un enduit superficiel tricouche, 15 cm de graveleux latéritique en couche de base et 20 cm de cette même couche en fondation.

Pour l'assainissement, des sections types de dalots (3.00 x 2.00 m, 4.00 x 3.00 m, 2.00 x 1.50 m) ont été prévues. Sur mon tronçon, on prévoit des fossés en forme V, taillés au grader avec des pentes de 2/3 et 3/2.

L'étude environnementale et sociale globale a mis en lumière certains effets positifs comme négatifs, et a permis de proposer des mesures d'atténuation adaptées. Les aspects liés à la signalisation, aux équipements de sécurité et à l'aménagement ont été traités selon les normes techniques en vigueur.

Enfin, le coût global du projet a été estimé à **10 553 767 591** FCFA TTC, selon le mercurial des prix unitaires en vigueur dans la ville de Ouagadougou en 2025.

Mots clés :

- Chaussée ;
- Trafic ;
- Bitumage ;
- Assainissement.

Abstract

This report addresses a detailed pre-project study for the construction and paving works of the Sanghin-Nièga-Raogbouli section, which is 19.145 km long. This project aims to restore, modernize, and maintain essential transport infrastructure. It is supported by the Ministry responsible for infrastructure and decongestion, with financial backing from the Burkina Special Fund (FSR-B). The main objective is to produce a complete technical file for the execution of the works.

Initially, an analysis of the current state of the section was conducted based on the information collected from the hosting structure. Certain actions such as site visits, data collection, and even traffic estimation had already been initiated.

Then, by working on the road structure and geometry, a structure was obtained consisting of a three-layer surface layer, 15 cm of lateritic gravel as a base layer, and 20 cm of the same layer as foundation.

For sanitation, standard sections of drainage channels (3.00 x 2.00 m, 4.00 x 3.00 m, 2.00 x 1.50 m) have been planned. On my section, V-shaped ditches, graded with slopes of 2/3 and 3/2, are planned.

The overall environmental and social study highlighted some positive as well as negative effects, and allowed for the proposal of appropriate mitigation measures. Aspects related to signaling, safety equipment, and layout have been addressed according to current technical standards.

Finally, the total cost of the project has been estimated at 10,553,767,591 CFA francs including tax, according to the current unit price list in the city of Ouagadougou in 2025.

Keywords :

- Study ;
- Construction ;
- Paving ;
- Environment

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement ;
ARP	: Aménagement des Routes Principales ;
APS	: Avant-Projet Sommaire ;
BAEL	: Béton Armé aux Etats Limites ;
BB	: Béton Bitumineux ;
BCEOM	: Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-mer ;
BV	: Bassin Versant ;
CAM	: Coefficient d'Agressivité Moyen ;
CBR	: Californian Bearing Ratio (Indice de Portance Californien) ;
CEBTP	: Centre expérimental des recherches et d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics ;
CIEH	: Comité Interafricain d'Études Hydrauliques ;
GN	: Grave Latéritique Naturelle ;
NE	: Nombre d'Essieu équivalent ;
NF	: Norme Française ;
OPM	: Optimum Proctor Modifié ;
ORSTHOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ;
SETRA	: Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes ;
FCFA	: Franc des Colonies Françaises d'Afrique ;
P10	: Précipitation journalière décennale ponctuelle
Amin	: Section d'Acier minimale
Mu	: Moment Fléchissant à l'ELU
Mser	: Moment Fléchissant à l'ELS
ELS	: Etat Limite de Service
ELU	: Etat Limite Ultime

SOMMAIRE

Dédicace	i
Résumé	iii
Abstract	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
SOMMAIRE	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	2
1. Historique.....	2
2. Domaines d'activité et mission.....	2
3. Organigramme CAEM INGENIERIE SARL	3
CHAPITRE II : ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE.....	4
A. Présentation du projet.....	4
1. Localisation du projet.....	4
2. Contexte du projet.....	5
3. Objectifs du projet	5
4. Données de base	5
5. Reconnaissance du terrain	5
6. Données géotechniques	6
7. Climatologie.....	6
8. Les acteurs du projet	6
B. Dimensionnement structurel de la chaussée et conception géométrique de la route	7
I. Étude géotechnique et dimensionnement	7
1. Introduction.....	7
2. Étude des sols de la plateforme	7
3. Dimensionnement structurel de la chaussée.....	11
4. Dimensionnement de la chaussée	13

II. Conception géométrique de la route	22
1. Introduction	22
2. Choix de type et de la catégorie de la route	22
C. Etude hydrologique et hydraulique	26
I. Étude Hydrologique	26
1. Identification et délimitation des bassins versants	26
2. Caractéristiques des bassins versants	27
3. Méthodologie de calcul des débits	27
4. Estimation des débits de crue	29
II. Étude hydraulique	31
1. Diagnostic des ouvrages existants	31
2. Dimensionnement hydraulique	32
I. La signalisation routière	33
1. La signalisation temporaire	33
2. La signalisation permanente	34
II. Équipement de sécurité routière	37
1. Ralentisseurs	37
2. Éclairage public	38
III. Aménagement routier	38
CHAPITRE III : Notice d'impact environnemental et social	39
I. Étude d'impact environnemental et social	39
1. Cadre institutionnel, juridique et réglementaire	39
2. Analyse des impacts environnementaux du projet	39
3. Mesures d'atténuation proposées	41
CHAPITRE IV : AVANT METRE ET DEVIS ESTIMATIF DU PROJET	43
I. Avant métré du projet	43
II. Devis estimatif du projet	43
CONCLUSION GENERALE	45
BIBLIOGRAPHIE	47
LISTE DES ANNEXES	49

Liste des figures	50
A. Étude Hydrologique	56
I. Caractéristiques des Bassins versants	56
II. Pluviométrie	56
III. Détermination de la pluviométrie journalière décennale	57
IV. Estimations des débits	58
1. La méthode Rationnelle	58
2. La méthode ORSTOM	60
3. La méthode CIEH	64
B. ETUDE HYDRAULIQUE	66
1. Dimensionnement du dalot en sortie libre	66
2. Dimensionnement des dalots restants	69
1. Dimensionnement du dalot $4 \times 1,5 \times 2$	71
2. Dimensionnement du dalot $4 \times 3 \times 2$ sur CYPE	86
3. Plan d'exécution	138

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résultats de la reconnaissance des sols	8
Tableau 2 : Classe de portance des sols du CEBTP	9
Tableau 3 : Paramètres d'entrée du logiciel Alizé	12
Tableau 4 : Paramètres de calcul du trafic.....	14
Tableau 5 : Classe du trafic	14
Tableau 6 : Lecture du CAM.....	15
Tableau 7 : Classification du trafic.....	16
Tableau 8 : Dimensionnement de différentes variables (CEBTP)	17
Tableau 9 : Interfaces de couche des variantes	18
Tableau 10 : Avantages et inconvénients de BB	20
Tableau 11 : Variante retenue	22
Tableau 12 : Caractéristiques selon le CCTP	23
Tableau 13 : Valeurs limites des rayons pour le tracé en plan.....	24
Tableau 14 : Valeurs limites des rayons pour le profil en long	24
Tableau 15 : Caractéristiques des bassins versants	27
Tableau 16 : Coefficients de Montana	29
Tableau 17 : Résultats des méthodes ORSTORM-CIEH	30
Tableau 18 : Résultats de la méthode rationnelle.....	30
Tableau 19 : Débits de crue retenus	30
Tableau 20 : Diagnostique des ouvrages existants.....	31
Tableau 21 : Résultats du calcul hydraulique des deux dalots	33
Tableau 22 : Panneaux de signalisation	35
Tableau 23 : Récapitulatif du devis estimatif.....	44

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Organigramme de CAEM INGENIERIE</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2: Présentation de la zone d'étude</i>	<i>4</i>
<i>Figure 3 : Fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante</i>	<i>11</i>
<i>Figure 4 : Résultat du dimensionnement de la variante n°1</i>	<i>20</i>
<i>Figure 5 : Résultat du dimensionnement de la variante n°2</i>	<i>21</i>
<i>Figure 6 : Résultat du dimensionnement de la variante n°3</i>	<i>21</i>
Figure 7 : Profil en travers type	25
<i>Figure 8 : Délimitation des bassins versants</i>	<i>27</i>
<i>Figure 9 : Panneaux de signalisation temporaire</i>	<i>34</i>
<i>Figure 10 : Types de lignes discontinues</i>	<i>35</i>
<i>Figure 11 : Coefficient Bc</i>	<i>76</i>
<i>Figure 12 : Coefficient Bt</i>	<i>77</i>

INTRODUCTION

On a coutume d'entendre que renforcer le réseau routier, c'est ouvrir la voie au développement économique et à une meilleure cohésion sociale. Cela passe par la création de nouvelles voies, la remise en état des anciennes ou encore leur modernisation. Ces actions renforcent les liaisons entre différentes zones, rendent les déplacements plus simples pour les personnes et les biens, et boostent le commerce ainsi que le secteur touristique. Conscient de cela, l'État burkinabè, via le Ministère des Infrastructures et du Désenclavement, avec l'appui du Fonds Spécial du Burkina (FSR-B), a lancé plusieurs projets pour améliorer l'accès à certaines zones du pays. Cela passe notamment par l'amélioration de routes nationales, qui jouent un rôle clé en connectant différentes régions. Le but est d'encourager le développement économique, améliorer la sécurité routière et faciliter l'accès aux zones encore isolées.

Construire une route passe par plusieurs phases, depuis les premières réflexions jusqu'à son ouverture à la circulation. L'idée derrière tout ça, c'est de mettre en place à un coût raisonnable, un axe durable et utilisable par les véhicules pour rendre les déplacements plus simples et permettre le transport de marchandises dans de bonnes conditions. C'est dans ce cadre que s'inscrit le thème retenu pour notre projet de fin de cycle, portant pour titre : « **ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION ET DE BITUMAGE DE LA ROUTE NATIONALE NUMERO 15 (RN15) KALWARTENGA-BOULSA : SANGHIN-NIEGA-RAOGBOULI, LONG DE 19,145KM** ».

Le but principal de ce projet, c'est de mettre en œuvre une route praticable, sécurisée avec une grande durée de vie. Pour y arriver, on doit atteindre plusieurs objectifs plus précis, comme faire la conception géométrique de la route, dimensionner les structures de la chaussée, proposer un système d'assainissement adapté, évaluer les effets du projet sur l'environnement et la société, puis estimer son coût global. Du coup, on a choisi de structurer notre projet en six (06) parties principales, histoire d'organiser nos idées et de mieux avancer vers les objectifs qu'on s'est fixés. Nous avons d'abord la présentation de l'entreprise d'accueil dans le premier chapitre. Ensuite, à l'aide des logiciels AutoCad, Covadis, Alize et Cype nous avons procédé au dimensionnement et à la conception géométrique de la route, puis grâce au logiciel Global Mapper on a pu faire l'étude hydrologique et hydraulique dans le deuxième chapitre intitulé étude technique détaillée. On a également le troisième chapitre que se penche sur l'étude d'impact environnemental et social. Pour terminer, à partir du mercurial des prix unitaires de la ville de Ouagadougou en 2025, on a le quatrième chapitre dédié au métré et à l'estimation financière du projet.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

1. Historique

Fondé en 1995 avec un groupe d'environ vingt ingénieurs et techniciens venus de plusieurs pays de la sous-région, le cabinet CAEM INGENIERIE SARL est une société à responsabilité limitée, qui mise sur le savoir-faire africain et met en avant la qualité de l'expertise locale comme principe de base.

Présent dans le domaine de la maîtrise d'œuvre au Burkina Faso depuis plus de 16 ans, CAEM véhicule une vision forte : l'Afrique doit être actrice de son propre développement. C'est dans cette logique qu'elle mise sur la prise en charge locale du développement des infrastructures.

2. Domaines d'activité et mission

Les activités de CAEM couvrent plusieurs domaines clés :

- Génie civil : conception et réalisation de bâtiments, travaux neufs, rénovation, utilisation de matériaux locaux, construction de routes, ouvrages d'art, paysage et études géotechniques ;
- Génie rural : études et maîtrise d'œuvre pour des projets tels que les retenues d'eau, l'aménagement, l'irrigation, le drainage, l'assainissement, la réfection ou création de voiries, zones urbaines, zones industrielles, places, rues piétonnes, Z.A.C, ainsi que l'esquisse et la réception des travaux ;
- Hydraulique : interventions dans les domaines des forages, adductions d'eau potable (AEP), assainissement collectif, hydraulique villageoise et hydraulique urbaine ;
- Environnement : études d'impact environnemental et social, intégration de pratiques durables dans les projets d'infrastructures.

Chez CAEM, l'idée de construire autrement est vraiment centrale. On essaie toujours de prendre en compte les trois piliers de développement durable : respecter l'environnement, proposer des solutions qui tiennent économiquement la route, et répondre aux attentes des gens qui vont utiliser ou vivre autour des projets.

Dans chaque domaine d'intervention, le bureau peut compter sur des experts avec une bonne base générale, mais aussi des compétences solides en environnement. Leur rôle, c'est d'aider à limiter au maximum les effets négatifs qu'un chantier ou un aménagement pourrait avoir sur la nature, sur le budget, ou sur les gens.

L'équipe applique une méthode claire pour chaque projet, avec une vision globale, ce qui permet d'intégrer au mieux la notion de durabilité, que ce soit dans la phase de conception ou lors de la réalisation des travaux.

3. Organigramme CAEM INGENIERIE SARL

À CAEM, on retrouve une équipe assez jeune, motivée et sérieuse dans son travail. L'organisation interne est structurée de la manière suivante :

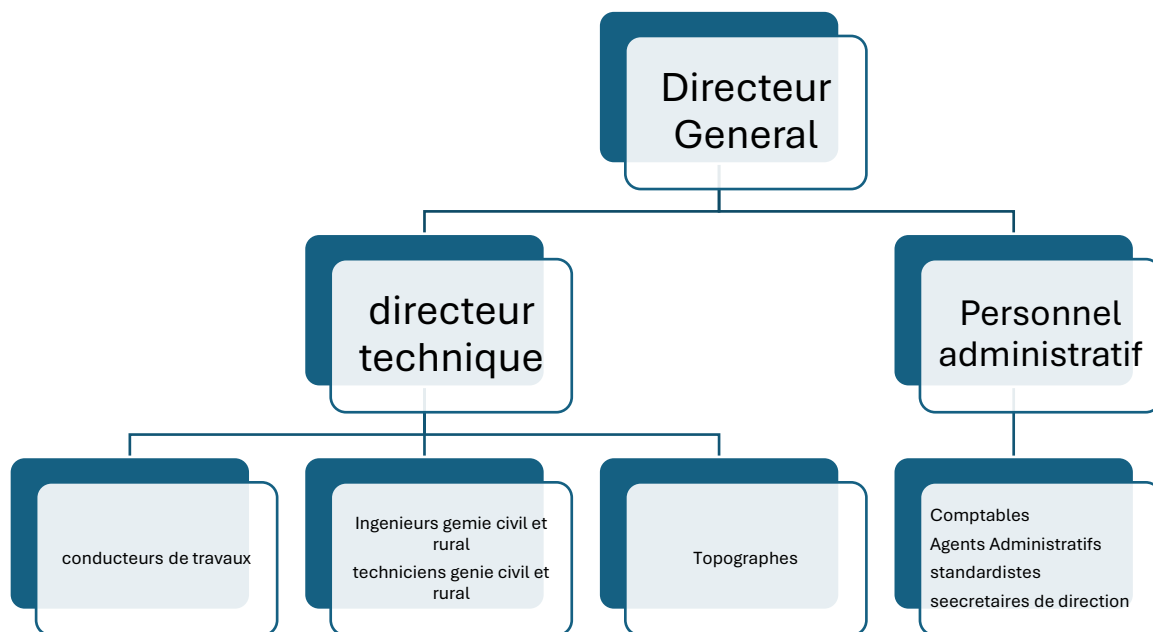


Figure 1: Organigramme de CAEM INGENIERIE

CHAPITRE II : ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE

Pour ce chapitre, il est question des méthodes et matériels utilisés pour les différentes études.

A. Présentation du projet

1. Localisation du projet

Le début du projet se situe à Kalwartenga, un village situé dans le département de Pouytenga, province du Kouritenga, au sein de la région du Centre-Est du Burkina Faso. Il s'étend jusqu'à Boulsa, chef-lieu de la province du Namentenga, dans la région du Centre-Nord. Boulsa est une commune urbaine composée de six (06) secteurs urbains et trente-sept (37) villages rattachés. La ville de Boulsa est traversée par la route nationale numéro 15 (RN15), qui relie Pouytenga à Ouahigouya en passant par Kaya. Cette route est essentielle pour la connectivité régionale et le développement socio-économique. La distance entre Boulsa et Kaya, chef-lieu de la région du Centre-Nord, est d'environ 81km. Boulsa, en tant que commune urbaine, s'étend sur environ 167 km². Elle est entourée par sept (07) autres communes, qui sont pour la plupart à caractère rural.

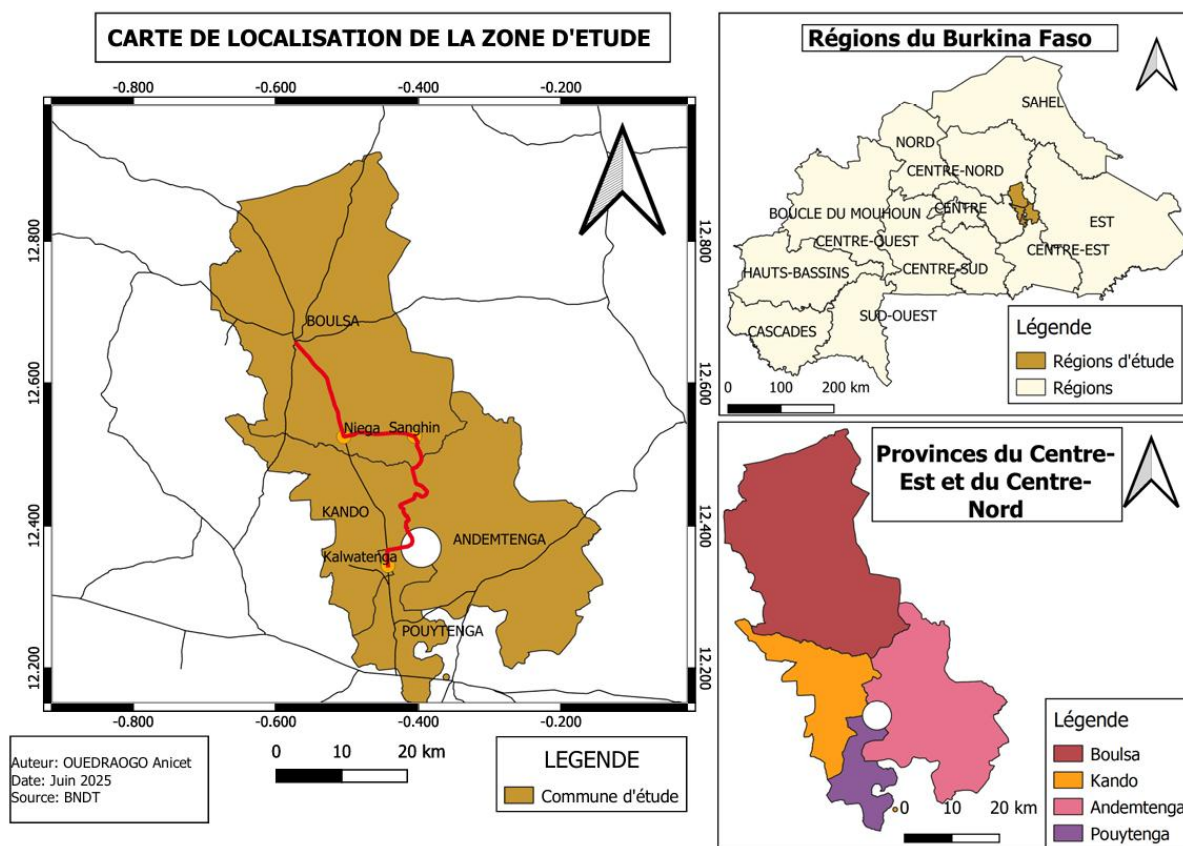


Figure 2: Présentation de la zone d'étude

2. Contexte du projet

Entre 2016 et 2020, le Burkina Faso a mis en place un document stratégique appelé PNDES (Plan National de Développement Économique et Social). Ce plan vise à combiner performance économique, justice sociale et respect de l'environnement pour transformer durablement le système de production. Dans cette logique, l'amélioration des routes joue un rôle clé pour atteindre ces objectifs.

Pour notre mémoire de fin de cycle, on nous a confié l'analyse d'une portion de route, comme l'indique clairement le thème suivant : **Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).**

3. Objectifs du projet

Le but principal de ce projet, c'est de permettre aux habitants des zones rurales concernées, de mieux contribuer au développement économique et national. Plus précisément, il vise à désenclaver certaines parties des provinces du Ioba, de la Sissili, des Balé et du Sanguié. À travers les études menées, on cherche à analyser si le projet est rentable, autant sur le plan économique que sur le plan environnemental et social, et à définir clairement les types de travaux et d'aménagement à prévoir sur la route.

4. Données de base

Pour mener à bien notre étude, on a utilisé plusieurs types d'informations, notamment :

- Les levés topographiques pour tout ce qui est lié à la géométrie de la route ;
- Les informations sur le trafic routier ;
- Les résultats des analyses faites sur les sols de la zone ;
- Les données relatives aux précipitations ainsi que les coefficients de Montana.

5. Reconnaissance du terrain

Une reconnaissance du terrain et une remise de site ont été faites, sous l'accompagnement de la DGNET (Direction Générale de la Normalisation et des Études Techniques). Cette sortie a permis de récupérer les informations déjà disponibles sur la route, de réunir les documents utiles liés à la zone concernée, de situer le point de départ et d'arrivée du tracé, et aussi de repérer les éventuelles difficultés liées au terrain pour mieux planifier la suite des levés topographiques.

6. Données géotechniques

Plusieurs sondages ont été effectués. Chacun est descendu jusqu'à un (01) mètre de profondeur, ce qui a permis de dresser une coupe géotechnique pour chaque point et de prélever des échantillons de sol en vue des essais en laboratoire. Sur la majorité du tracé, on retrouve des sols de plateforme classés en S4, ce qui correspond à une portance minimale acceptable. Par contre, il y a aussi des endroits où le sol est trop faible (classe S2). Dans ces zones, il faudra remplacer le sol sur une épaisseur d'au moins 50 cm avec un matériau équivalent à la classe S4. Les 30 derniers cm de cette couche devront être compactés à 95% minimum de la densité sèche à l'OPM.

7. Climatologie

Pour analyser le climat de la zone concernée par notre projet, on s'est basé sur les données de pluie venant de la station météorologique la plus proche, celle de Boulsa. D'après les informations qu'on a recueillies, cette région se trouve en zone sahélienne, où il pleut en moyenne moins de 1000 mm par an. Le climat ici est marqué par deux grandes saisons :

- Une période sèche assez longue, qui dure environ huit mois, entre octobre et mai. Elle est influencée par l'harmattan, un vent sec qui peut être soit frais (d'octobre à février) soit chaud (de mars à mai) ;
- Une saison pluvieuse plus courte, de juin à septembre, dominée par la mousson qui apporte des pluies et un peu de fraîcheur.

8. Les acteurs du projet

Les acteurs clés impliqués dans ce projet sont :

- Le Ministre des Infrastructures et du Désenclavement (MID), qui joue le rôle de maître d'ouvrage ;
- La structure DID-NMT, désignée comme maître d'ouvrage délégué ;
- Le groupement CAEM-SARL, BECOTEX et URBATEC, en charge de la maîtrise d'œuvre ;
- Le groupement SONAF SA et ENSBTP qui assure l'exécution des travaux.

B. Dimensionnement structural de la chaussée et conception géométrique de la route

I. Étude géotechnique et dimensionnement

1. Introduction

La géotechnique consiste en l'étude comportementale des sols et des roches afin d'assurer la stabilité et la sécurité des ouvrages construits sur ou dans le sol, comme les routes, les bâtiments ou les barrages. Elle repose sur l'analyse des propriétés physiques et mécaniques du sol pour adapter la conception des infrastructures aux conditions du terrain. Le dimensionnement géotechnique consiste à calculer et définir les caractéristiques techniques des fondations ou des structures en interaction avec le sol, en tenant compte des contraintes de charge, de la nature du sol et des conditions environnementales, afin de garantir la performance et la durabilité de l'ouvrage.

Pour notre projet, l'étude géotechnique s'est basée sur plusieurs étapes essentielles : l'identification du sol en place, l'analyse de la composition des fondations, la recherche des matériaux disponibles dans la zone, ainsi que le calcul pour déterminer la structure adaptée de la chaussée. Au regard de la situation sécuritaire, cette étude a été confiée à deux laboratoires privés à savoir la LGT pour l'identification de la plateforme et le laboratoire GEOTEC-AFRIQUE pour l'étude des sols et fondations puis assistées par l'expert géotechnicien du groupement.

2. Étude des sols de la plateforme

Cette étude a concerné uniquement la ville de Boulsa à cause de l'insécurité du pays.

a. Reconnaissance de la plateforme

Le but de la reconnaissance de la plateforme est de définir la situation du terrain, tant quantitativement que qualitativement (natures, caractéristiques et épaisseur des couches). Pour la reconnaissance de la plateforme, une inspection visuelle et des sondages ont permis d'élaborer le profil géotechnique de la route.

On a réalisé une série de sondages à la main, en moyenne jusqu'à de 70 cm de profondeur, espacés d'environ 300 m, pour étudier les sols de la plateforme. Par le biais des sondages, on a obtenu :

- Une mesure des épaisseurs résiduelles des couches ;
- Une observation des matériaux présents dans chaque couche de sol ;

- Des prélèvements d'échantillons en vue d'analyses en laboratoire ;
- Une réalisation de coupes géotechniques pour chaque point de sondage, suivie du rebouchage.

Les échantillons prélevés durant les sondages, conformément aux normes réglementaires, feront l'objet d'analyses complètes en vue de leur identification et de leur classification. Le consultant devra effectuer les principaux essais suivants sur le sol support :

- Analyse granulométrique et détermination du poids spécifique des particules solides, conformément à la norme NF P 94 – 056 ;
- Les limites d'Atterberg selon la NF P 94 - 051 ;
- L'équivalent de sable ;
- La résistance à la fragmentation (Los Angeles) ;
- L'essai Proctor Modifié et le CBR selon la NF P 94 – 078.

b. Résultats de la reconnaissance de la plateforme

Le tableau suivant révèle les caractéristiques géotechniques des matériaux issus des sondages

Tableau 1: Résultats de la reconnaissance des sols

Sondage			CBR	Classe de portance
N°	Épaisseur	Nature de l'échantillon	A 95% OPM	
P1	20/90	Graveleux latéritique	29	S4
P2-a	20/50	Argile sableuse	13	S3
P2-b	50/900	Graveleux latéritique	53	S5
P3	20/50	Graveleux latéritique	29	S4
P4	20/100	Graveleux latéritique	39	S5
P5	20/90	Graveleux latéritique	37	S5
P6	20/100	Sable argileux	7	S2

L'analyse effectuée indique que les sols rencontrés sont principalement constitués de graveleux latéritiques sur la majorité des points de sondage, à l'exception des positions P2-a et P6, où l'on a respectivement identifié de l'argile sableuse et du sable argileux.[1] Ainsi, 71% des sondages révèlent la présence de sols graveleux latéritiques. Les classes de portance observées s'échelonnent entre S2 et S5, conformément aux cinq classes définies dans le

«Guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux» élaboré par le CEBTP.[2]

Tableau 2 : Classe de portance des sols du CEBTP

Classe de portance	CBR à 95% de l'OPM
S1	$CBR < 5$
S2	$5 \leq CBR < 10$
S3	$10 \leq CBR < 15$
S4	$15 \leq CBR < 30$
S5	$CB \geq 30$

Nous utiliserons dans la suite de notre travail, la classe de portance S4 comme paramètre d'entrée pour le dimensionnement de la chaussée. En effet, pour les classes S2 et S3, des substitutions d'au moins 50 cm de matériaux de portance $CBR \gg 20$ à 95% de l'OPM seront faites pour donner une nouvelle classe S4.

c. Reconnaissance des sites d'emprunt

La reconnaissance des sites d'emprunt consiste à évaluer les zones susceptibles de fournir des matériaux utilisables pour les travaux de construction, notamment les remblais routiers. Elle débute par une prospection sur le terrain afin d'identifier les emplacements potentiels, suivie de sondage pour prélever des échantillons. Ces derniers sont ensuite analysés en laboratoire à travers divers essais (granulométrie, limites d'Atterberg, Proctor, CBR, etc.) afin de déterminer la qualité et les propriétés des matériaux.[3] L'étude prend également en compte des critères tels que l'accessibilité du site, sa proximité par rapport au chantier, les conditions d'exploitation et les impacts environnementaux. L'ensemble de ces investigations permet de confirmer la compatibilité du site avec les exigences du projet.

d. Résultats de la recherche des sites d'emprunt

Dans le cadre de l'Étude d'Avant-Projet Détaillée des travaux de construction et de bitumage de la RN15 Boulsa-Pouytenga, quinze (15) sites d'emprunt ont été recensés. Parmi eux, neuf ont fait l'objet d'essais d'identification et de portance, confirmant leur aptitude à être utilisés

pour les travaux de voirie urbaine à Boulsa. Il est également prévu d'envisager des études d'extension sur les trois sites les plus proches. Des sondages ont été réalisés sur ces différents sites, et un échantillon de matériau a été prélevé sur chacun d'eux en vue de leur caractérisation. Les matériaux prélevés dans les zones d'emprunt présentent des caractéristiques satisfaisantes pour être utilisés en couche de base et de fondation, avec des valeurs de CBR comprises entre 50 et 70 à 95% de la densité maximale, et entre 88 et 104 à 98%.[4]

e. Recherche des matériaux de viabilité

La recherche de matériaux de viabilité concerne ceux utilisés pour les remblais de forme, ainsi que pour la fabrication des couches portantes de la route (couche de fondation et de base).[2] Dans le cadre du projet présent, la recherche de sites d'emprunt vise à identifier des gisements de graveleux latéritiques naturels présentant les caractéristiques géotechniques requises et disposant de volumes suffisants pour exécuter les couches de base et de fondation de la chaussée.

Les fiches correspondantes présentent les données suivantes :

- La localisation de l'emprunt ;
- Le plan d'emprunt ;
- L'épaisseur des zones où la terre végétale est enlevée ;
- Le volume utilisable et la distance sans transport utile.

Les matériaux issus des emprunts, examinés lors de la phase de reconnaissance, ont fait l'objet d'une identification complète et d'une classification à travers des essais réalisés en laboratoire.[1] La liste suivante détaille les tests effectués sur ces matériaux. Il s'agit notamment de :

- Essai granulométrique selon la NF P 94 – 056 ;
- Limites d'Atterberg selon la NF P 94 – 051 ;
- Proctor modifié et CBR selon la NF P 94 – 078.

f. Recherche des granulats

Cette recherche concerne les granulats pour mortiers et bétons hydrauliques des carrières et gites explorés lors de la reconnaissance.[1] Ils ont fait l'objet d'essais de laboratoire :

- Essai granulométrique selon la NF P – 560 ;
- Equivalent de sable selon la NF P 18 – 598 ;
- Propreté selon la NF P 18 – 301 ;
- Module de finesse selon la NF P 18 – 304.

3. Dimensionnement structural de la chaussée

Dimensionner une chaussée routière, c'est définir les types et épaisseurs des couches qui la forment, pour qu'elle tienne face aux contraintes pendant toute sa durée d'utilisation. La structure doit notamment supporter les sollicitations liées au trafic et permettre une bonne transmission des efforts induits par celui-ci vers le sol de fondation.[5]

Lorsqu'une charge roulante est appliquée, elle provoque une déformation en flexion des couches de la chaussée. Cette flexion génère des contraintes de traction à la base des couches d'enrobés.

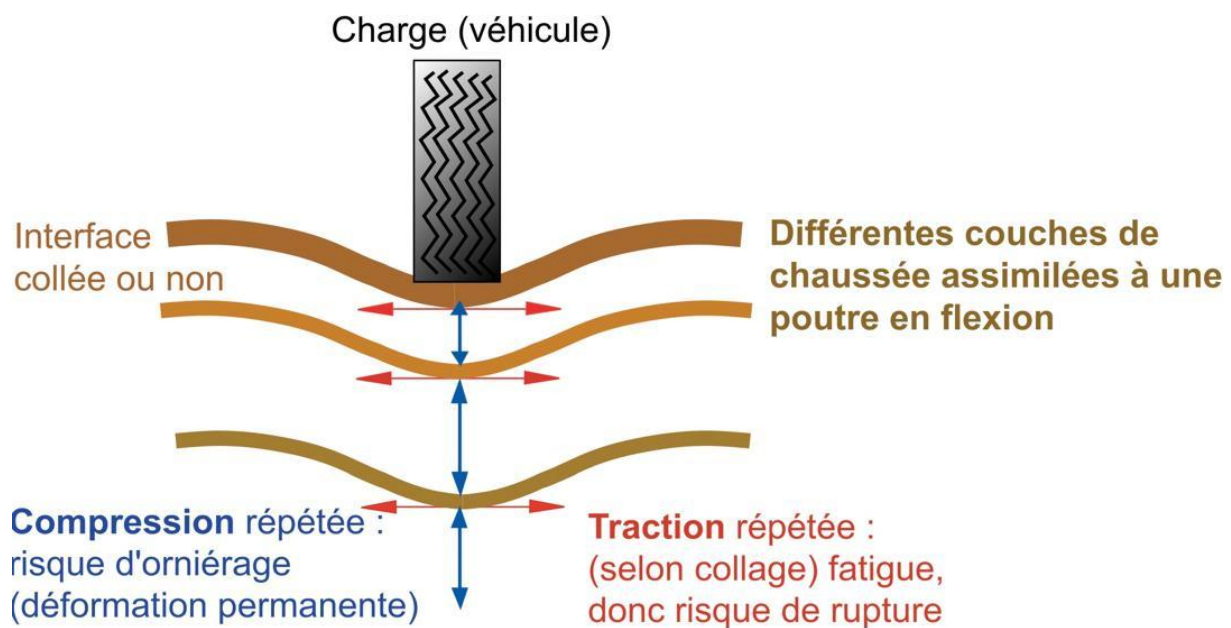


Figure 3 : Fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante

Pour bien appréhender ces déformations, différentes méthodes ont été développées, chacune donnant lieu à un modèle de dimensionnement spécifique.

a. Méthodologie de dimensionnement

Il existe plusieurs façons de dimensionner les structures de chaussée. Parmi celle-ci, on va évoquer les approches dites empiriques et les méthodes rationnelles. Les méthodes empiriques de dimensionnement reposent sur des données issues d'expériences, consistant à analyser le comportement à long terme de plusieurs structures de chaussée exposées à des conditions variées de trafic et de climat. Quant aux méthodes rationnelles, elles s'appuient sur une approche de dimensionnement structurée en trois (03) étapes principales :

- Sélection des matériaux : identification de la nature et des propriétés des matériaux de viabilité disponible dans la zone de projet ;
- Analyse des sollicitations : évaluation des charges générées par le trafic prévu ;
- Détermination des épaisseurs : calcul des épaisseurs des différentes couches de matériaux de viabilité à mettre en œuvre.

Concernant l'approche empirique, c'est le guide pratique de dimensionnement des chaussées adapté aux zones tropicales, élaboré par le Centre Expérimental de Recherche et d'Etudes de Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), qui sera utilisé comme support principal.[2] Ce document est reconnu pour son efficacité dans les régions concernées. En ce qui concerne la méthode rationnelle, le guide de conception et de dimensionnement des structures de chaussée du SETRA sera utilisé pour déterminer certains paramètres comme le coefficient d'Agressivité Moyen (CAM) et le Coefficient de Répartition Transversale (CRT).[6] Le logiciel Alizé LCPC sera également employé pour la modélisation et l'analyse des sollicitations.

Tableau 3 : Paramètres d'entrée du logiciel Alizé

Matériaux	Béton bitumineux	Graveleux latéritique amélioré au ciment	Graveleux latéritique naturel
Module E ($\theta_e = 30^\circ C$)	1300	800	300
Module E ($10^\circ C$)	7200	1500	-
Coefficient de poisson	0,35	0,25	0,35
Pente -1/b	5	12	-
Écart type SN	0,25	0,8	-
Écart type Sh	0,01	0,025	-
Coefficient kc	1,1	1,5	-
Coefficient kr	0,815	0,729	-
Coefficient de discontinuité kd	-	1	-
Coefficient de plateforme ks	101,20		-

b. Détermination du coefficient de répartition transversale

Le coefficient de répartition transversal est utilisé pour identifier la voie la plus sollicitée de la chaussée en termes de trafic moyen journalier annuel (MJA). Cette voie sert ensuite de référence pour classer le trafic T_i . Selon le SETRA, le CRT dépend principalement de la largeur de la chaussée[6] :

- Si la largeur est inférieure à 5m, le CRT = 1 ;
- Si la largeur est comprise entre 5m et 6m, alors CRT = 0,75.

Bien que la largeur de la route excède 6m (7m en rase campagne et 8m dans les agglomérations selon les TDR), un coefficient de répartition transversal (CRT) de 0,75 a été retenu. Ce choix permet de rester prudent dans le dimensionnement des structures de chaussée, compte tenu de l'impact potentiel du trafic sur une seule voie.[6] Cela permet d'anticiper et de garantir une meilleure sécurité.

4. Dimensionnement de la chaussée

Grace à la reconnaissance du terrain, nous avons pu déterminer les caractéristiques géotechniques de la future plateforme. Les calculs de dimensionnement de la structure de la chaussée tiendront également compte de plusieurs paramètres, notamment la nature et les propriétés géotechniques des matériaux de chaussée, ainsi que les données de trafic.[2] L'objectif du dimensionnement est de concevoir une structure à la fois durable et économique, en privilégiant l'utilisation de matériaux disponibles localement dans la zone du projet.

a. Estimation du trafic

Pour se faire, nous disposons des informations suivantes :

- Charge à l'essieu : 13 tonnes (essieu simple) ;
- Année de comptage : 2020 ;
- Année de lancement des travaux : 2024 ;
- Durée des travaux : 20 mois hors saison pluvieuse ;
- Année de mise en service : 2025 ;
- Durée de vie (n) : 15 ans ;
- Taux d'accroissement (i) du trafic : 9,6% ;
- Trafic de dimensionnement : trafic à l'horizon 2040.

L'analyse de la composition du trafic montre que les véhicules poids lourds (VPL) représentent 13% du volume total, ce qui constitue une part significative. Cette proportion revêt une importance particulière dans le dimensionnement de la chaussée, les poids lourds exerçant les contraintes mécaniques les plus fortes sur la structure.

Cependant, il convient de souligner que le trafic actuellement observé l'a été dans des conditions où la route demeure non aménagée, ce qui en limite à la fois l'attractivité et l'usage potentiel. L'amélioration de l'infrastructure, notamment par la mise en place d'un revêtement bitumineux, devrait entraîner une augmentation significative du trafic. Ce phénomène, connu sous le nom de "trafic induit", correspond à l'afflux supplémentaire de véhicules résultant de la meilleure accessibilité, du confort de conduite accru et de l'attractivité économique générée par l'aménagement de la voie.

Dans le cadre de la présente étude, et sur la base d'une analyse contextuelle prenant en compte des projets similaires ainsi que les spécificités socio-économiques locales, un taux de trafic induit de 30% a été retenu. Ce pourcentage a été appliqué au trafic existant afin d'estimer le niveau futur de circulation auquel la chaussée sera effectivement soumise après les travaux d'aménagement.

Tableau 4 : Paramètres de calcul du trafic

Trafic total	1167
% de véhicules poids lourds	13
Trafic induit	30%
Coefficient de répartition transversale	0,75

- Le nombre de poids lourds à l'année de comptage 2024 :

$$TMJA = 1167 \times 0,13 \times 1,30 \times 0,75 \Rightarrow TMJA = 148$$

Tableau 5 : Classe du trafic

Tableau VI.2.1. Définition des classes de trafic														
Classe	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		TEX	
			T3 ⁻	T3 ⁺	T2 ⁻	T2 ⁺	T1 ⁻	T1 ⁺	T0 ⁻	T0 ⁺	TS ⁻	TS ⁺		
MJA 0	25	50	85	150	200	300	500	750	1 200	2 000	3 000	5 000		

Classe du TMJA est T3⁺

- Lecture CAM :

Tableau 6 : Lecture du CAM

Tableau VI.2.2. Coefficients d'agressivité selon le trafic et le type de chaussée					
Chaussées à faible trafic	CAM	0,4	0,5	0,7	0,8
	Classe	T5	T4	T3-	T3+
Chaussées à trafic moyen et fort	CAM	0,8	1	1,3	
		Couches hydrocarbonées des structures mixtes et inverses Couches hydrocarbonées d'épaisseur au plus égale à 20 cm des chaussées bitumineuses	Chaussées bitumineuses d'épaisseur supérieure à 20 cm Couches non liées et sol support	Couches de matériaux traités aux liants hydrauliques et en béton de ciment	

Nous avons donc un **CAM = 0,8**

Nous procédons maintenant aux différents calculs.

✓ Trafic moyen journalier à l'année 2025, année de mise en service :

$$t_{2025} = t_{2020} \times (1 + i)^{n-1}$$

t_{2023} : trafic du nombre moyen de véhicules journalier prévu à l'année de mise en service ;

t_{2019} : trafic du nombre moyen de véhicules journalier prévu à l'année de comptage ;

i : taux d'accroissement annuel du trafic ;

n : nombre d'années.

$$\text{AN : } t_{2025} = 148 \times (1 + 0,096)^{4-1} \Rightarrow t_{2025} = 194 \text{ PL/jr}$$

$$\text{NPL} = 365 \times t_{2020} \times \frac{(1+i)^{n-1}}{i}$$

NPL : trafic cumulé pendant 15 ans ;

t_{2020} : trafic moyen journalier à l'année de comptage ;

i : taux d'accroissement annuel du trafic ;

n : durée de vie.

$$\text{AN : } \text{NPL} = 365 \times 194 \times \frac{(1+0,096)^{15-1}}{0,096} \Rightarrow \text{NPL} = 1422382,79 \text{ PL soit } 1,4 \times 10^6 \text{ PL}$$

b. Classification du trafic

Selon le CEBTP, il y a cinq (05) classes de trafic cumulés que sont[2] :

Tableau 7 : Classification du trafic, source CEBTP

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

Le trafic observé est de catégorie T2.

c. Choix des variantes

On distingue différents types de structures de chaussées, notamment :

- Les chaussées souples : composées principalement de couches de matériaux granulaires et d'enrobé bitumineux, elles peuvent supporter les déformations et suivre les mouvements du terrain sans se détériorer facilement ;
- Les chaussées dites semi-rigides : elles combinent des couches en matériaux bitumineux avec d'autres traitées à l'aide de liants hydrauliques. Cette structure offre une meilleure tenue face aux déformations durables et limite davantage l'apparition d'ornières que les structures souples ;
- Les chaussées rigides : elles sont principalement faites en béton de ciment. Elles sont pensées pour résister à des charges importantes pendant de longues périodes, tout en demandant peu d'interventions d'entretien.

En fonction de la classe de portance du sol de plateforme (S4) et de la classe de notre trafic (T2), nous retenons trois (03) variantes différentes pour la suite de l'étude :

Tableau 8 : Dimensionnement de différentes variables (CEBTP)

Variantes	Sol-Trafic	Différentes couches du corps de chaussée			
		Types de couche	Roulement	Base	Fondation
1	S4-T2	Tri-couche	Enduit superficiel	15cm graveleux latéritique naturel	20cm graveleux latéritique naturel
2	S4-T2	Tri-couche	Enduit superficiel	15cm graveleux latéritique naturel améliorée au ciment	20cm grave naturelle O/D
3	S4-T2	Tri-couche	Enduit superficiel	15cm de concassée 0/d	15cm graveleux latéritique naturel

Le choix de la structure de chaussée à adopter dépend étroitement de la disponibilité des matériaux et des liants dans la zone de projet. Par ailleurs, il est essentiel de prendre en compte les compétences techniques et les méthodes de construction maîtrisées par les entreprises locales. Un autre facteur déterminant est le budget alloué au projet. Ainsi parmi toutes les solutions envisagées sur la base des études et des calculs techniques, seule celle qui s'adapte le mieux aux contraintes économiques et aux réalités du terrain pourra être retenue et mise en œuvre.

Il est convenable de retenir une épaisseur de 15 cm de graveleux latéritique ayant un CBR d'au moins 80 pour constituer la couche de base et 20 cm de graveleux latéritique naturel pour la couche de fondation.[2]

d. Interfaces des couches

Dans une route, la façon dont les couches sont liées entre elles et avec les éléments autour (comme les accotements, les trottoirs ou les systèmes de drainage) est très importante pour assurer la solidité et la durée de vie de l'ouvrage. En fonction des matériaux utilisés et des choix techniques faits, on peut avoir trois types de liaisons : une adhérence complète, partielle ou inexistante. Quand les couches sont bien collées, les charges sont bien transmises. Si l'adhérence est partielle, la transmission reste correcte, mais moins homogène. En revanche, s'il y a glissement entre les couches, cela peut causer des tensions internes et affaiblir la structure. Le tableau ci-dessous décrit les types de liaisons retenues pour les différentes couches dans les variantes étudiées[6] :

Tableau 9 : Interfaces de couche des variantes, source SETRA

Variante n°	Couches de chaussée	Type de matériaux	Épaisseur (cm)
1	Revêtement	Enduit superficiel Tri couche	4
	Collé		
	Base	Graveleux latéritique naturel	15
	Collé		
	Fondation	Graveleux latéritique naturel	20
2	Revêtement	Enduit superficiel Tri couche	4
	Collé		
	Base	Graveleux latéritique naturel améliorée au ciment	15
	Collé		
	Fondation	Grave naturelle O/D	20
3	Revêtement	Enduit superficiel Tri couche	4
	Collé		
	Base Fondation	Concassé 0/d et graveleux latéritique naturel	30

e. Béton bitumineux (BB)

Également appelé enrobé ou enrobé bitumineux, le béton bitumineux est un mélange de sable, de gravillons, de filler et de bitume utilisé comme liant. Principalement destiné à la construction de routes, il convient aussi parfaitement à des aménagements tels que les allées de jardin ou de garage.

Il existe plusieurs types de bétons bitumineux, chacun présentant des caractéristiques spécifiques et répondant à des usages bien définis :

- **Béton bitumineux mince (BBM)** : doté d'une granulométrie de 0/10 ou 0/14 mm, le BBM est un enrobé facilement compactable et parfaitement imperméable. Il est principalement utilisé pour la réalisation de parkings, de trottoirs ou d'autres zones à faible trafic. Son épaisseur varie généralement entre 2,5 et 5 cm.

- **Béton bitumineux très mince (BBTM)** : apprécié pour son excellent rapport qualité-prix, le BBTM offre à la fois une bonne durabilité et une mise en œuvre simplifiée. Quelle que soit sa granulométrie (0/10 ou 0/6 mm), il est appliqué en couches de 1,5 à 3 cm d'épaisseur.
- **Béton bitumineux ultra mince (BBUM)** : destiné aux couches de roulement, c'est-à-dire directement en contact avec les pneumatiques, le BBUM est particulièrement adapté aux surfaces telles que les parkings. Il se pose en faible épaisseur, de 1 à 1,5 cm.
- **Béton bitumineux souple (BBS)** : formulé avec un bitume relativement mou, ce béton bitumineux présente une bonne capacité de déformation. Il est principalement utilisé pour les voiries à faible trafic, comme les voies de lotissement. En revanche, il offre une résistance limitée à l'orniérage.
- **Béton bitumineux drainant (BBD)** : caractérisé par une forte porosité (20 à 30 % de vide), ce béton facilite l'évacuation de l'eau, améliorant ainsi l'adhérence par temps de pluie ou de forte chaleur, tout en réduisant les nuisances sonores. Il est idéal pour des aménagements comme les allées de jardin ou les sorties de garage.
- **Béton bitumineux semi-grenu (BBSG)** : considéré comme l'enrobé à chaud de référence, le BBSG présente une bonne résistance à l'usure et une rugosité adaptée à divers usages : voiries à trafic modéré ou élevé, trottoirs, allées piétonnes, etc. Son épaisseur varie entre 3 et 9 cm, selon la granulométrie (0/6, 0/10 ou 0/14 mm).
- **Béton bitumineux à module élevé (BBME)** : appartenant à la famille des enrobés structurants, le BBME se distingue par sa rigidité, sa longue durée de vie et sa forte résistance à l'orniérage. Il est particulièrement recommandé pour les zones fortement sollicitées (ronds-points, voies de bus, plateformes aéroportuaires, zones de stockage). L'épaisseur appliquée varie de 4 à 9 cm selon les besoins.

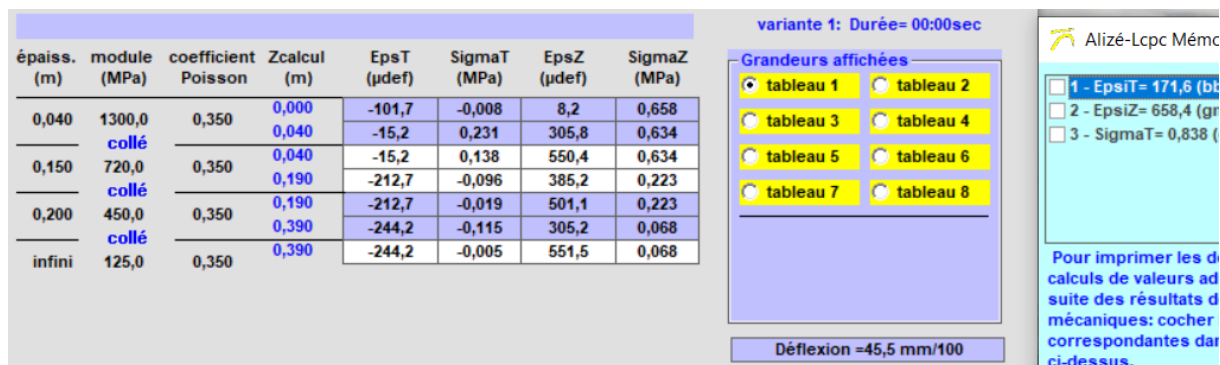
Tableau 10 : Avantages et inconvénients de BB

Avantages	Inconvénients
Les enrobés sont 100 % recyclables.	Impossible de stocker le béton bitumineux à froid (utilisation sous 24 h après réalisation)
Excellente adhérence	Le dosage des constituants doit être effectué précisément pour ne pas être défectueux.
Très bonne résistance	Prix assez élevé
Facilité de mise en œuvre	
Importante durée de vie : entre 10 et 15 ans	

f. Dimensionnement des variantes

Nous utiliserons une approche plus détaillée avec le logiciel Alizé-LCPC. Cette méthode permet de voir comment les couches de la route réagissent sous l'effet du trafic. Le but est de comparer les contraintes générées par les véhicules à la résistance des matériaux utilisés, pour vérifier si les variantes étudiées peuvent bien supporter la circulation prévue.

✓ Variante 1

**Figure 4 : Résultat du dimensionnement de la variante n°1**

Analyse des résultats :

- Les déformations $\varepsilon_z = 551,5$, $\varepsilon_z = 501,1$, $\varepsilon_z = 550,4$ sont toutes inférieures à la limite admissible qui est $\varepsilon_{zadm} = 658,4$ ce qui entraîne une vérification des trois couches ;
- La déformation $\varepsilon_t = -15,2$ est inférieure à $\varepsilon_{tadm} = 171,6$; la couche de revêtement est vérifiée.

✓ Variante 2

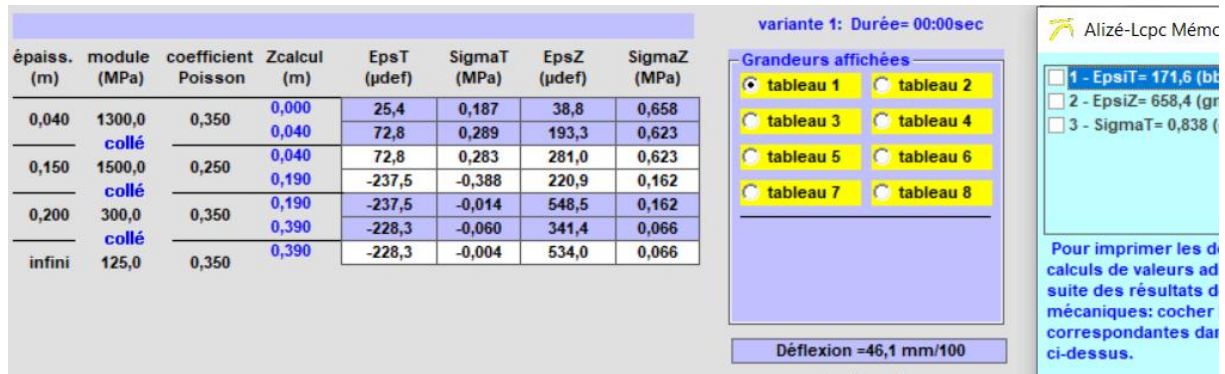


Figure 5 : Résultat du dimensionnement de la variante n°2

Analyse des résultats :

- La contrainte de traction à la base $\sigma_t = -0,388 \text{ MPA}$ est inférieure à la limite admissible $\sigma_{tadm} = 0,838 \text{ MPA}$ donc la couche de base est vérifiée ;
- La déformation à la base de la couche de revêtement $\varepsilon_t = 72,8$ est inférieure à $\varepsilon_{tadm} = 171,6$ donc vérifiée ;
- Les déformations verticales à la surface du sol support et de la couche de fondation, respectivement $\varepsilon_z = 534$, $\varepsilon_z = 548,5$ sont inférieures à la limite admissible $\varepsilon_{zadm} = 658,4$ donc vérifiés.

✓ Variante 3

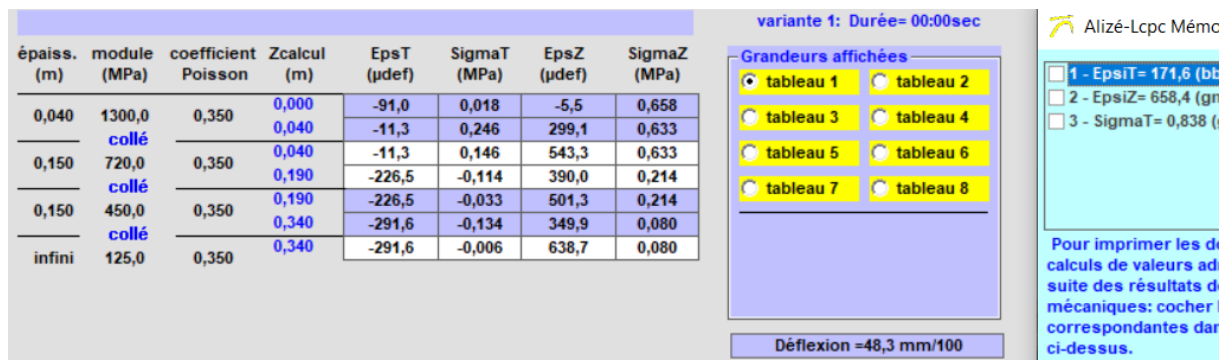


Figure 6 : Résultat du dimensionnement de la variante n°3

Analyse des résultats :

- Les mouvements verticaux observés à la surface du sol porteur et à celle de la couche de fondation, chacun à leur niveau $\varepsilon_z = 638,7$, $\varepsilon_z = 501,3$ sont inférieures à la limite admissible $\varepsilon_{zadm} = 658,4$ donc le sol support et la couche de base-fondation sont vérifiées ;
- La déformation à la base de la couche de revêtement $\sigma_t = -11,3$ est inférieure à $\sigma_{tadm} = 171,6$; la couche de revêtement est vérifiée.

g. Variante retenue

Nous retenons la variante 1 en remplaçant la couche de revêtement par du béton bitumineux car cela augmente la durée de vie de l'ouvrage et convient au mieux au projet.

Tableau 11 : Variante retenue

	Matériaux	Épaisseur (cm)
Roulement	Béton bitumineux	04
Base	Graveleux latéritique naturel (CBR $\geq$ 80)	15
Fondation	Graveleux latéritique naturel (CBR $\geq$ 30)	20
Sol support	S4	Infini

II. Conception géométrique de la route**1. Introduction**

La conception géométrique vise à définir la forme et les dimensions d'une route afin d'assurer la sécurité, le confort et l'efficacité de la circulation des usagers. Elle tient compte de plusieurs facteurs tels que le type de véhicule, la sécurité routière, la topographie, les normes en vigueur et le volume du trafic.

Les caractéristiques géométriques spécifiques de la route sont le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

2. Choix de type et de la catégorie de la route

Il faut faire ce choix en regardant si la route correspond bien aux fonctions qu'on veut qu'elle remplisse. On distingue trois (03) types de routes :

- Les route de type L : elles assurent la liaison entre des localités importantes ou entre des routes de plus grand gabarit (autoroute) ;
- Les routes de type T : ce sont des routes de transit, conçues pour supporter un trafic important ;
- Les routes en R : elles assurent la connexion entre les zones rurales et les routes de plus grande importance.

Pour le choix de la catégorie ou du type de route, on se base sur la vitesse de référence (pas nécessairement la vitesse maximale mais plutôt une vitesse que le conducteur peut maintenir

en tout point de la chaussée) du tracé, sur la topographie et aussi sur les contraintes budgétaires. Chaque catégorie de route propose des différences techniques minimales en termes de profil en long et de tracé en plan.

On relève deux (02) catégories pour les routes de type R :

- Pour les routes en relief vallonné, on a la catégorie R60 ;
- Pour les zones avec des reliefs plutôt faibles, c'est la catégorie R80.

Pour les routes de type T :

- La catégorie T60 est utilisée en terrain vallonné ;
- La catégorie T80 en contraintes de faibles reliefs.

Pour le projet présent, nous prendrons, conformément au TDR :

Tableau 12 : Caractéristiques selon le CCTP

	En agglomération	En rase campagne
Largeur de la chaussée (m)	8	7
Accotement (m)	2×2	$1,5 \times 2$
Vitesse de référence (km/h)	60	100
Durée de vie (ans)	15	15

a. Tracé en plan

C'est la projection à plat sur un repère topographique des points qui forment le tracé de la route.[6]

Tableau 13 : Valeurs limites des rayons pour le tracé en plan, source ARP

		Symbole	En rase campagne T100	En agglomération R60
Rayon en plan	Rayon minimal R_m	m	425	120
	Rayon non déversé R_{nd}	m	1300	450
	Rayon au dévers minimal R_{dm}	m	900	450
Longueur clothoïde		Route à deux (02) voies		$L = \inf.(6R^{0,4}, 67)$

b. Profil en long

On l'obtient en relevant verticalement, selon l'axe de la route, tous les points qui la composent.[6]

Tableau 14 : Valeurs limites des rayons pour le profil en long

Catégorie de route	T100	R60
Déclivité maximale	5%	7%
Rayon minimal en angle saillant (m)	10000	1600
Rayon minimal en angle rentrant (m)	3000	1500

c. Profil en travers

Le profil en travers d'une route est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de la surface définie par l'ensemble des points représentatifs de cette surface.

- Une chaussée de 7m ;
- Une pente des accotements = 2,5% ;
- Une pente des talus de remblai = 2/3 ;
- Une pente transversale de la chaussée = 2,5% ;
- Une pente des talus de déblai = 2/3 ;
- Une pente transversale du fond de forme = 2,5% ;
- Un accotement de 1,5m de chaque côté de la route.

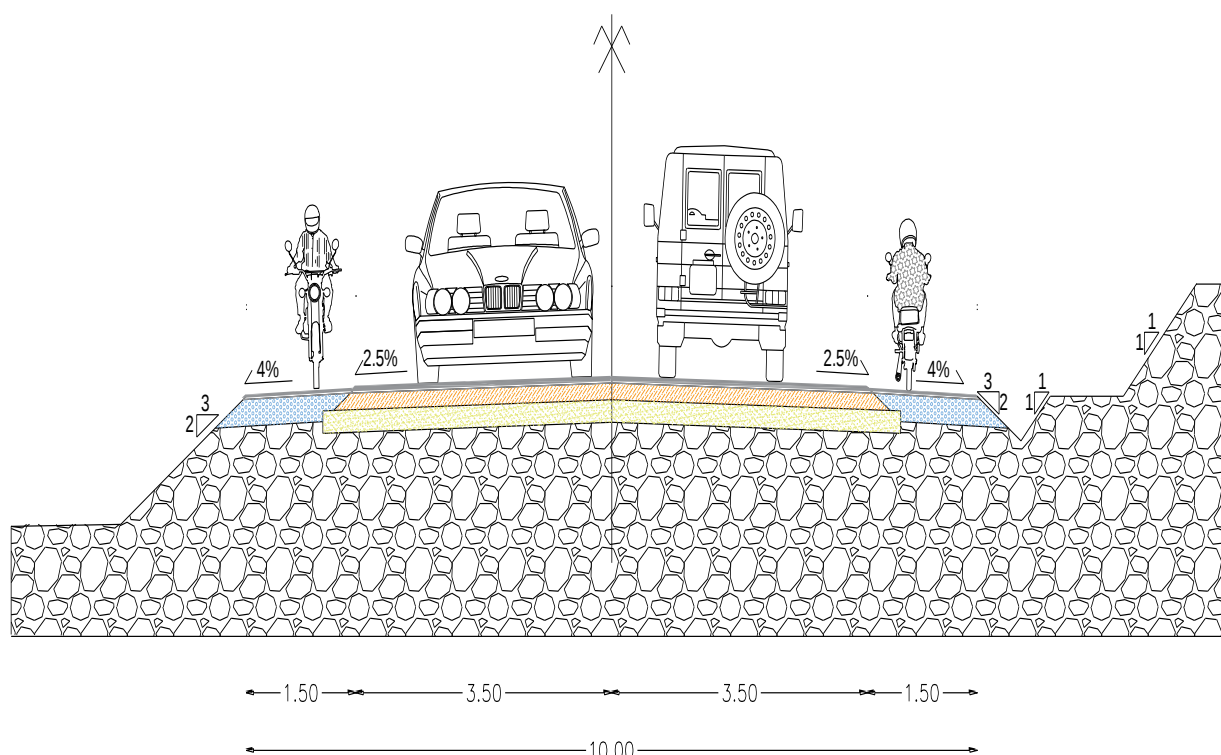


Figure 7 : Profil en travers type

Conclusion : à la fin de ce chapitre, on a pu établir la structure de la chaussée à adopter. Il s'agit de :

- 20 cm de graveleux latéritique pour la fondation ;
- 15 cm de graveleux latéritique pour la couche de base ;
- 4 cm de revêtement en béton bitumineux.

Ce chapitre nous a aussi permis de définir la conception géométrique de la route, en choisissant son type, sa catégorie, et en précisant ses principales caractéristiques comme le tracé en plan, le profil en long et en travers.

C. Etude hydrologique et hydraulique

I. Étude Hydrologique

L'hydrologie est la science qui s'intéresse à tous les aspects du cycle de l'eau, que ce soit souterraine ou de surface. L'étude hydrologique entrant dans le cadre de notre projet est celle des écoulements des eaux de surface. Elle a pour objectif de déterminer les caractéristiques des crues, notamment les débits, la fréquence et la durée. La démarche consistera d'abord en l'identification et la délimitation des bassins versants, suivies de la caractérisation de ceux-ci. La méthodologie de calcul des débits sera ensuite exposée, avant d'aboutir à leur estimation.

1. Identification et délimitation des bassins versants

Le bassin versant est une zone géographique de collecte des eaux pluviales de ruissellement ou d'infiltration par un cours d'eau et ses affluents, ou par une étendue d'eau (lac, marais, mer).

La délimitation des bassins versants a été réalisée à l'aide de trois logiciels distincts qui sont :

- COVADIS pour la conception des infrastructures linéaires ;
- Utilisation de Google Earth pour récupérer le tracé de la route ;
- Emploi de GLOBAL MAPPER pour délimiter et définir les caractéristiques.

La délimitation des bassins versants s'est faite en plusieurs étapes :

- Choisir le système de coordonnées (UTM), le Datum (WGS84) et la zone du projet (Zone 30 N) ;
- Importer le tracé routier avec les coordonnées des différents points dans le logiciel ;
- Télécharger le SRTM correspondant à la zone étudiée ;
- Créer les courbes de niveau ;
- Générer les bassins versants et les cours d'eau (Watershed) ;
- Délimiter les bassins versants en suivant les lignes de crête.

Au final, on a identifié six (06) bassins versants.

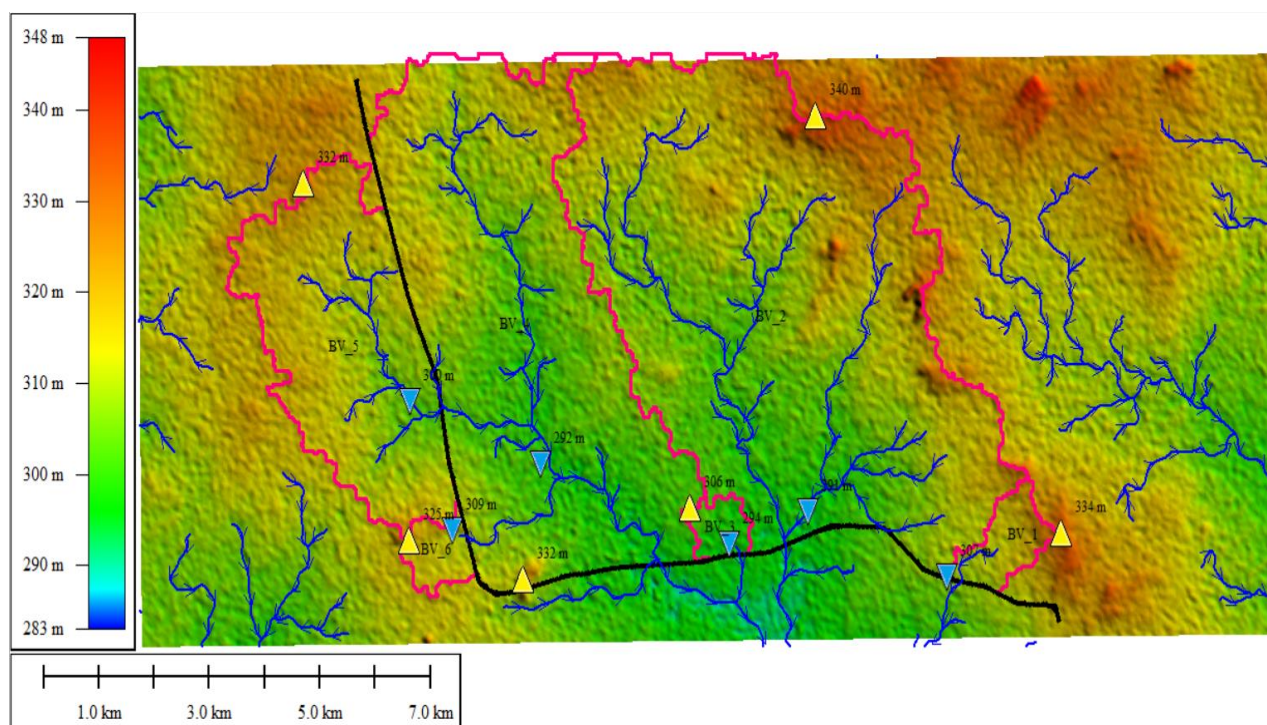


Figure 8 : Délimitation des bassins versants

2. Caractéristiques des bassins versants

Tableau 15 : Caractéristiques des bassins versants

Bassins versants	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Zmax (m)	Zmin (m)	Pente I (%)
BV_1	1.539	8	334	307	2.73
BV_2	40.621	41.251	340	291	2.93
BV_3	0.855	5.324	306	294	2.79
BV_4	28.282	33.542	332	292	2.95
BV_5	12.961	22.304	332	300	2.56
BV_6	1.103	5.921	325	309	2.74

3. Méthodologie de calcul des débits

Le calcul du débit intègre une combinaison de facteurs déterminants, tels que les paramètres climatologiques, les caractéristiques topographiques, les aspects morphologiques du bassin versant, l'occupation et l'usage du sol, etc.

Il y a plusieurs façons pour estimer les débits, mais on va se baser sur les méthodes ORSTORM, CIEH du manuel « *Crues et apports* » [7] et la méthode rationnelle de « *l'Hydraulique routière* ».

a. Méthode ORSTORM

La méthode ORSTORM concerne aux bassins ayant une superficie allant de plusieurs dizaines d'hectares jusqu'à plus de 1500 km², en faisant attention aux bassins où la crue décennale n'est pas toujours unique.

La formule de cette méthode est :

$$Q_{r10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

Avec

- A = Coefficient d'abattement
- P₁₀ = Hauteur de pluie journalière décennale
- K_{r10} = Coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale
- α₁₀ = Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale
- S = Superficie du bassin versant
- T_{b10} = Temps de base correspondant à la crue décennale

b. Méthode CIEH

La méthode CIEH est valable pour les bassins dont la superficie est comprise entre 10 km² et 2500 km² en zone sahélienne et aux bassins dont la superficie est inférieure à 1500 km² en zone tropicale sèche.

Ainsi, le débit s'obtient par la formule :

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

- a, s, p, i, k, d ... sont des paramètres à déterminer;
- S = Superficie du bassin (km²) ;
- I_g = Indice global de pente (m/km) ;
- P_{an} = Pluie annuelle moyenne ;
- K_{r10} = Coefficient de ruissellement décennale (%) ;
- D_d = Densité de drainage (km⁻¹).

Ces coefficients sont déterminés en effectuant une méthode de régression linéaire.

c. Méthode rationnelle

Elle s'applique à de petits bassins dont la superficie est inférieure à 4 km². Le débit maximal se produit quand la durée de la pluie est au moins égale au temps que met l'eau pour parcourir tout le bassin.

La formule de débit est :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

$$\text{Avec} \begin{cases} C = \text{Coefficient de Ruissellement} \\ I = \text{Intensité de l'averse (mm/h)} \\ A = \text{Superficie du Bassin Versant (Km}^2\text{)} \end{cases}$$

$Tc = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{p^{0,38}}$; avec L représentant la distance entre la sortie du bassin et son point le plus loin tandis que p correspond à la pente du bassin versant.

Tableau 16 : Coefficients de Montana, source service météorologique

Ville	Pluie < 1heure				Pluie < 2heures			
	a			b	a			b
	2ans	5ans	10ans	(1 à 10ans)	2ans	5ans	10ans	(1 à 10ans)
Ouahigouya	5,12	6,39	8,39	0,40	35,09	43,46	57,4	0,9
Ouagadougou	6,02	7,29	9,40	0,50	31,89	34,56	39,00	0,9

4. Estimation des débits de crue

Les débits ont été estimés sur la base d'une période de retour de dix (10) ans, conformément aux exigences des termes de référence (TDR). Une analyse comparative des valeurs obtenues sera ensuite menée en vue de sélectionner les débits présentant la marge de sécurité la plus élevée pour les phases ultérieures de l'étude.

a. Méthode CIEH et ORSTORM

Les résultats obtenus après calcul par la méthode CIEH et ORSTORM sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Résultats des méthodes ORSTORM-CIEH

Bassins Versants	S (km ²)	P10 (mm)	Pan (mm)	Pm10 (mm)	Kr10	Tb10 (s)	Q _{CIEH} (m ³ /s)	Q _{ORSTORM} (m ³ /s)
BV_2	40.621	109	679	85,77	18,023	112915,677	32,354	14,458
BV_4	28.282			88,04	17,323	110828,476	24,937	10,119
BV_5	12.961			92,93	19,101	86082,945	18,609	6,949

b. Méthode rationnelle

Après calcul par la méthode rationnelle, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant

Tableau 18 : Résultats de la méthode rationnelle

Bassins Versants	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Pente (%)	Indice de compacité	Longueur (km)	Temps de concentration (min)	Intensité (mm/h)	Débit (m ³ /s)
BV_1	1.539	8	0,027	1,819	2139,332	9,969	178,631	22,93
BV_3	0.855	5.324	0,028	1,624	1391,643	5,306	244,853	17,46
BV_6	1.103	5.921	0,027	1,585	1535,592	6,238	225,822	20,77

Récapitulatif :

Les débits retenus ou débits projets sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 19 : Débits de crue retenus

Bassins Versants	BV_1	BV_2	BV_3	BV_4	BV_5	BV_6
Débits de projet Q (m ³ /s)	22,93	32,35	17,46	24,94	18,61	20,77

Le calcul complet basé sur ces trois méthodes se trouve dans l'**annexe II**.

II. Étude hydraulique

Dans cette partie, il sera question d'effectuer un diagnostic des ouvrages existants et de procéder à la vérification de leur capacité à évacuer les débits.

1. Diagnostic des ouvrages existants

La présence de buses, de dalots et de nombreux passage d'eau a été constatée. Nous allons vérifier si ces ouvrages permettent d'évacuer nos différents débits calculés, puis nous poserons une observation sur les ouvrages à conserver et à projeter.

Tableau 20 : Diagnostique des ouvrages existants, source : entreprise

N° Ouvrages	PK	Ouvrages existants	Etats physiques	Observation et recommandation
OH-01	22+794	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-02	23+119	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-03	23+526	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-04	24+044	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-05	24+664	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-06	24+744	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-07	24+934	Passage d'eau	Zone de bas-fond	Projection d'un dalot
OH-08	25+624	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-09	25+934	Passage d'eau	Zone de bas-fond	Projection d'un dalot
OH-10	26+199	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-11	29+004	Radier de 80ml	Bon	A démolir et remplacer par un dalot
OH-12	31+019	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-13	31+324	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-14	31+549	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-15	31+939	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-16	32+739	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-17	33+059	Passage d'eau	Important	Projection d'un dalot
OH-18	33+355	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot

OH-19	35+239	Dalot de 3x200x100	Bon mais mur en aile endommagé et gabarit insuffisant	Ouvrage à remplacer par un ouvrage de même section
OH-20	35+984	Passage d'eau	-	Projection d'un dalot
OH-21	36+859	Dalot de 3x300x150	Mauvais, bêche affouillée, radier affouiller, pas de mur en aile	Ouvrage à démolir et Projection d'un dalot
OH-22	37+249	Dalot de 2x200x150	Bon mais gabarit insuffisant	Ouvrage à remplacer par un dalot de même section
OH-23	37+414	Dalot de 2x200x100	Bon mais gabarit insuffisant	Ouvrage à remplacer par un dalot de même section
OH-24	39+929	Buse de diamètre 100	Mauvais	Capacité hydraulique insuffisante ; ouvrage à remplacer par un dalot
OH-25	40+204	Dalot de 1x350x100	Mauvais piédroit et mur en aile	Ouvrage à reconstruire
OH-26	40+339	Dalot de 1x300x150	Bon mais gabarit insuffisant	Ouvrage à remplacer par un dalot de même section
OH-27	40+576	Dalot de 2x300x150	Bon mais gabarit insuffisant	Ouvrage à remplacer par un dalot de même section

2. Dimensionnement hydraulique

a. Dimensionnement hydraulique des dalots

Le dimensionnement se fera en sortie libre, en veillant à ce que l'eau en aval ne dépasse pas le sommet du dalot et sans provoquer de ressaut hydraulique.

✓ Critères et hypothèses de calcul

- Selon le BCEOM (page 235), la vitesse maximale d'écoulement dans le dalot est fixée à 3m/s ;[7]
- Les dalots fonctionneront en régime de sortie libre étant situés hors des zones inondables
- L'écoulement est considéré à surface libre ;

- Ils seront équipés de murs en ail inclinés de 30° par rapport à l'axe de l'ouvrage ;
- Il s'agit de dalot cadres en béton armé.

✓ Détermination des sections hydrauliques

Tableau 21 : Résultats du calcul hydraulique des deux dalots

Bassins Versants	Dalot n°	Nombre de cellules	Hauteur de dalot D (m)	Largeur de cellule B (m)	Vitesse de sortie (m/s)
BV_1	1	3	2	3	2,85
BV_2	2	4	3	4	2,63

Les détails et résultats des calculs hydrauliques des dalots sont présentés en **annexe III**.

b. Dimensionnement hydraulique des ouvrages longitudinaux

En zone urbaine, il s'agit de dimensionner les sections de caniveaux destinées à drainer les eaux de ruissellement issues de la chaussée et des concessions riveraines. Dans le cadre du présent projet, le tronçon routier traverse la ville de Boulsa. L'analyse de la répartition des eaux a révélé un écoulement préférentiel des eaux de pluie depuis le côté droit de la route vers la chaussée. En conséquence, les sections de caniveaux dimensionnées concernent uniquement le côté droit de la chaussée dans la ville de Boulsa. Mais concernant notre tronçon, il n'y aura pas de caniveau.

A. Signalisation, équipement de sécurité et aménagement routiers

La signalisation routière regroupe tous les éléments comme les panneaux, les lignes au sol ou encore les feux, qui servent à guider et informer ceux qui circulent sur la route. Elle a surtout pour but de rendre les déplacements plus sûrs et d'organiser la circulation de manière claire pour tout le monde.

I. La signalisation routière

1. La signalisation temporaire

La signalisation temporaire regroupe les différents dispositifs comme les panneaux, les marquages jaunes, les cônes ou encore les barrières qu'on installe pour informer les conducteurs

d'un événement inhabituel, comme des travaux ou une déviation.[6] Elle est visible grâce à sa couleur jaune et, pendant sa mise en place, elle passe avant la signalisation permanente.

Les panneaux de signalisation prévus lors d'un projet routier vont afficher plusieurs types d'informations, notamment :

- L'annonce du démarrage ou de la fin du chantier ;
- La présence d'une déviation, que ce soit à gauche ou à droite ;
- Des inclinaisons comme une chaussée rétrécie, une route bloquée ou des sorties fréquentes de camions ;
- La réduction du nombre de voies praticables.



Figure 9 : Panneaux de signalisation temporaire

2. La signalisation permanente

a. Signalisation horizontale

La signalisation horizontale correspond à l'ensemble des lignes et symboles peints sur la chaussée.[6] Elle fait partie intégrante de la signalisation routière et aide à orienter et sécuriser les usagers pendant leurs déplacements. Elle comprend :

- Les lignes continues qu'on n'a pas le droit de franchir, surtout quand il est risqué de doubler ;
- Les lignes discontinues, qu'on peut couper si les conditions sont bonnes pour dépasser ou changer de voie ;
- La ligne mixte, où seul le côté avec la ligne en pointillés permet le franchissement ;

- La ligne de dissuasion, faite pour décourager les dépassements dans les zones un peu délicates (visuellement semblable à une ligne discontinue rapprochée) ;
- La ligne de rive, qui marque les bords de la route ;
- La ligne d'annonce, qui prévient qu'une ligne continue arrive bientôt ;
- Les lignes transversales comme celles du stop ou du cédez-le-passage, qui obligent à ralentir ou s'arrêter.

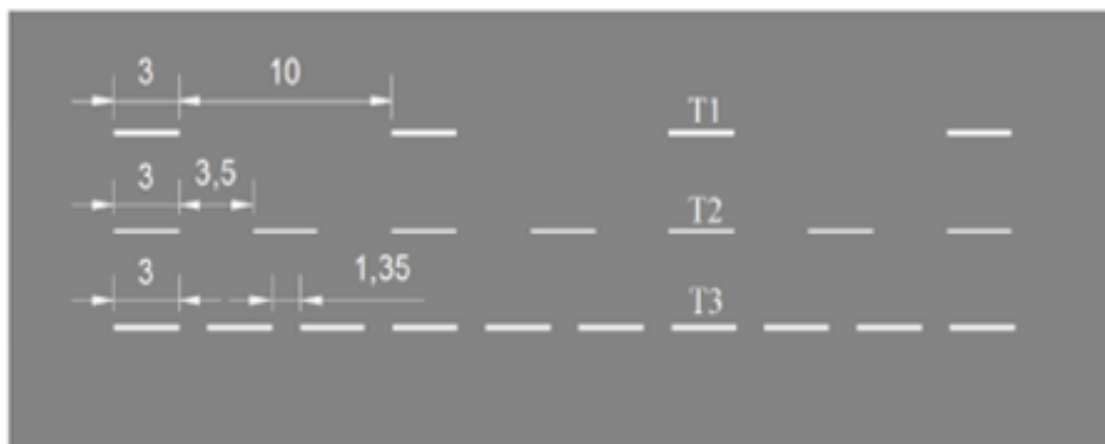
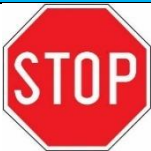


Figure 10 : Types de lignes discontinues

b. Signalisation verticale

La signalisation verticale regroupe tous les éléments placés en hauteur ou posés à côté de la chaussée, comme les panneaux, les balises ou encore les bornes qu'on voit sur les bords des routes.[6] Elle a pour objectif d'avertir des dangers, de signaler une interdiction ou une obligation, de donner des indications et des informations lors d'un trajet.

Tableau 22 : Panneaux de signalisation

Panneaux	Description	Nombre
	AB4	42
	-	2

	C27	10
	A2b	10
 A1c	A1c	2
	A1b	4
	A1a	4
	A13a	5
	C20a	4
	A13b	4
	BK3	2
	B34	2
	B14	6

	B33	6
SANGHIN	EB10	2
SANGHIN	EB20	2
NIEGA	EB10	2
NIEGA	EB20	2
RAOUBOULI	EB10	2
RAOUBOULI	EB20	2

La nomenclature des panneaux est donnée dans l'**annexe IV**.

II. Équipement de sécurité routière

La sécurité routière, c'est tout ce qu'on met en place pour éviter les accidents sur les routes et diminuer les dégâts quand ils se produisent.

1. Ralentisseurs

Dans le but de faire respecter les limites de vitesse et d'éviter les accidents, on prévoit d'utiliser des ralentisseurs. Selon la norme NF P 98-100, il en existe deux types : les modèles trapézoïdaux et ceux en forme de dos d'âne. Pour notre cas, on retient le type dos d'âne en béton bitumineux. Ils devront répondre aux exigences de la réglementation française avec les dimensions suivantes :

- Une hauteur de $0,10 \pm 0,01m$;
- Une longueur $4 \pm 0,20m$;
- Une saillie d'attaque ne dépassant pas $0,005m$.

2. Éclairage public

L'éclairage public, c'est tout ce qu'on installe pour éclairer les endroits accessibles à tous, surtout la nuit. C'est super important pour que les routes restent sûres une fois qu'il fait sombre. Il faut que la lumière soit assez forte pour bien voir sans pour autant gêner la vue des conducteurs. Le choix du type d'éclairage dépend de plusieurs éléments comme la largeur de la route, la hauteur des lampadaires, la distance entre les poteaux et à quelle distance ils sont placés du bord de la chaussée.[8]

En ce qui concerne notre projet, nous auront pour une hauteur de 07m, 383 candélabres simples espacés de uniformément de 50m.

III. Aménagement routier

Quand on parle d'aménagement routier, cela veut dire qu'on y met en place certains équipements pour mieux gérer la circulation dans les zones habitées, les routes ou les passages fréquentés. Ces aménagements doivent respecter les règles et lois en vigueur, histoire d'assurer une sécurité optimale à tous les usagers de la route.[6]

L'aménagement de notre route figure dans l'**annexe V**.

Conclusion : à la fin de ce chapitre, on a présenté les divers éléments de signalisation qui seront mis en place, comme les panneaux et les marquages au sol. Pour les équipements de sécurité, on a parlé de l'éclairage public et des ralentisseurs à prévoir. En plus, un plan d'aménagement de l'axe routier a été proposé pour mieux organiser le tracer.

CHAPITRE III : Notice d'impact environnemental et social

I. Étude d'impact environnemental et social

Les routes régionales jouent un rôle fondamental dans la connexion entre les zones urbaines et rurales, facilitant la circulation des personnes et des biens. Néanmoins, leur mise en œuvre peut engendrer des effets notables sur l'environnement et les communautés riveraines. D'où la nécessité de réaliser une étude d'impact environnemental (EIE), visant à analyser les retombées possibles du projet sur les écosystèmes, les ressources naturelles et les populations concernées. Ce travail se propose de présenter le cadre politique, juridique et institutionnel applicable, d'identifier les impacts du projet et de proposer des mesures pour limiter ses effets négatifs tout en favorisant un développement durable.

1. Cadre institutionnel, juridique et réglementaire

Au Burkina Faso, la gestion environnementale est régie par un code structuré autour de cinq grandes parties : les principes généraux, la lutte contre les changements climatiques et la protection des écosystèmes, les sanctions pour infractions, les dispositions diverses et les dispositions finales. Ce code vise à protéger les êtres vivants des nuisances et dangers liés à la détérioration de leur environnement. Il consacre également le droit à un environnement sain comme un impératif d'intérêt général, obligeant chaque citoyen à s'en soucier activement.

2. Analyse des impacts environnementaux du projet

a. Effets négatifs

- ✓ Environnement naturel et physique
 - Sol : Les opérations de terrassement risquent de provoquer une érosion due aux décapages successifs. Le passage répété d'engins lourds peut entraîner l'affaissement de certaines zones, formant des ornières susceptibles de devenir impraticables en période de pluie. Le prélèvement de matériaux (graviers, terre) laisse aussi des cavités dans le sol ;
 - Eau : Une utilisation intensive de l'eau peut mener à l'assèchement de certains plans d'eau. Les travaux peuvent également causer une pollution des ressources hydriques par les déchets solides, les huiles usagées ou encore des substances chimiques qui pourraient contaminer les nappes phréatiques ;
 - Air : La circulation des véhicules et engins sur le chantier engendre des émissions de poussière et de gaz (CO₂, CO, etc.) issus de la combustion des carburants.

Certains matériaux comme le ciment ou le bitume utilisés dans les travaux contribuent également à la pollution de l'air ;

- Flore : Le déboisement et le décapage du sol nécessaires à la réalisation des travaux entraînent la destruction de la végétation existante, y compris les arbustes et arbres situés dans l'emprise du projet. Les cultures agricoles présentes sont également menacées ;
- Faune : Les activités de construction perturbent l'habitat de la faune locale. Des espèces comme les vers de terre peuvent être éliminées, et d'autres (oiseaux, petits mammifères) peuvent fuir leur milieu naturel. Des collisions avec les engins sont également à craindre, tout comme la contamination des milieux aquatiques.
- ✓ Environnement humain et social
- Activités économiques : L'accès limité à la route pendant les travaux entravera les activités quotidiennes, en particulier celles dépendantes du transport. Des déviations forcées entraîneront une hausse des coûts en carburant. Les cultures proches du chantier risquent d'être endommagées ;
- Cadre de vie : Le bruit des machines, la poussière et les odeurs générées par les travaux constituent des nuisances pour les riverains. Certains habitants pourraient aussi être déplacés si leur logement se trouve dans la zone d'intervention ;
- Santé : Les risques incluent les accidents liés aux engins, les maladies respiratoires dues aux particules en suspension, ainsi que les épidémies favorisées par les regroupements de personnes (COVID-19, infections sexuellement transmissibles, maladies d'origine hydrique ou alimentaire).

b. Effets positifs

- ✓ Cadre environnemental
- Qualité de l'air : Une fois construite, la nouvelle route réduira la poussière par rapport à une piste en terre et permettra une meilleure fluidité du trafic, diminuant les émissions dues aux embouteillages ;
- Sol : La stabilisation de la chaussée préviendra la formation de bourbiers et d'ornières, contribuant à préserver le sol sur le long terme.
- ✓ Cadre socio-économique
- Emploi : La réalisation du chantier offre des opportunités d'emplois directs et indirects pour les populations locales, leur permettant d'acquérir des compétences professionnelles réutilisables dans d'autres projets ;

- Développement local : À long terme, la route facilitera les déplacements, dynamisera les échanges commerciaux et favorisera l'accès aux services. Moins de poussière améliorera aussi la qualité de vie des populations riveraines.

3. Mesures d'atténuation proposées

a. Mesures environnementales

- Sol : Les cavités laissées par l'extraction des matériaux peuvent être comblées par les déblais du chantier ;
- Eau : Il est crucial d'installer des dispositifs pour collecter huiles usées, déchets et produits chimiques afin de protéger les réserves d'eau. L'usage rationnel de l'eau est également recommandé, avec la création éventuelle de forages ou boulis ;
- Air : L'arrosage régulier des pistes réduira la poussière. Une bonne maintenance des engins contribuera à limiter les émissions de gaz ;
- Végétation : Il convient de préserver les arbres en dehors du tracé et de reboiser les zones affectées ;
- Faune : Il faut interdire la chasse et la consommation d'animaux sauvages dans la zone, et sensibiliser à la protection des espèces locales.

b. Mesures sociales et sanitaires

- ✓ Activités économiques : Des voies de contournement doivent être aménagées pour assurer la continuité des déplacements. Les personnes touchées de manière significative devraient bénéficier d'un dédommagement équitable.
- ✓ Santé et sécurité :
 - Employer des matériaux moins nocifs pour l'environnement ;
 - Réduire la poussière par l'arrosage régulier ;
 - Fournir des équipements de protection individuelle (masques, gants) aux ouvriers ;
 - Organiser des sessions de sensibilisation sur les risques sanitaires ;
 - Installer des panneaux de signalisation et entretenir les machines pour prévenir les accidents ;
 - Mettre en place un système de surveillance pour s'assurer du respect des normes de sécurité.

Conclusion : dans ce chapitre, on a identifié aussi bien les effets positifs que négatifs liés à la mise en œuvre du projet. On y a aussi proposé des solutions pour limiter les conséquences néfastes et renforcer les avantages, le tout en tenant compte des lois et règlements en vigueur au Burkina Faso. En résumé, même si certaines retombées peuvent être moins favorables, le projet apporte dans l'ensemble plus d'avantage que d'inconvénients.

CHAPITRE IV : AVANT METRE ET DEVIS ESTIMATIF DU PROJET

On arrive maintenant à la dernière étape avant de présenter le projet aux responsables. A la fin de ce chapitre, on devra avoir une idée claire du coût total prévu pour la réalisation du projet.

I. Avant métré du projet

Cette étape consiste à estimer la quantité de matériaux qu'il faudra pour réaliser le projet, en se basant sur les croquis, l'avant-projet, les plans techniques et autres documents. Le devis quantitatif va donc se structurer autour des points suivants :

- Les travaux préparatoires ;
- Les démolitions ;
- La mise en place du chantier ;
- Les travaux de terrassement ;
- La construction de la chaussée ;
- L'assainissement ;
- L'éclairage, la signalisation et la sécurité ;
- Les aspects sociaux et environnementaux.

II. Devis estimatif du projet

Le but principal ici est de proposer une estimation du coût pour les travaux de construction et de bitumage d'un tronçon de 19,145 km sur la route nationale n°15 (RN15). C'est une étape super importante pour les autorités, car elle leur permet de savoir si le projet peut être réalisé ou non. En utilisant la mercuriale BTP 2025 de la ville de Ouagadougou et l'avant métré du projet, on a pu faire une estimation du coût total.[9] Le tableau qui suit résume ce devis, tandis que les calculs détaillés se trouvent à l'**annexe VI**.

Tableau 23 : Récapitulatif du devis estimatif

RECAPITULATIF DU DEVIS ESTIMATIF	
DESIGNATION	MONTANT (FCFA)
TRAVAUX PREPARATOIRES	489 268 000
DEMOLITIONS	975 000
TRAVAUX DE TERRASSEMENT	1 733 506 000
CONSTRUCTION DE LA CHAUSSEE	3 138 340 330
OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT	2 255 859 792
SIGNALISATION-SECURITE ET ECLAIRAGE PUBLIC	1 842 196 654
ASPECTS SOCIAUX ET ENVIRONNEMENTAUX	124 467 600
TOTAL HORS TAXE (1)	8 932 545 840
TVA (18%) (2)	1 607 858 251
TTC (3) = (1) + (2)	10 540 404 091
COUT AU KM	557 545 839

Au final, le montant total nécessaire pour réaliser notre projet est estimé à **10 540 404 091FCFA** TTC. Ce qui revient à environ **557 545 839FCFA** TTC pour chaque kilomètre de route.

Conclusion : en résumé, ce chapitre nous a permis de déterminer que les travaux de construction et de bitumage du tronçon de 19,145 km sur la route nationale n°15 coûteraient globalement **10 540 404 091FCFA** toutes taxes comprises.

CONCLUSION GENERALE

À la fin de notre projet intitulé « Études techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km) », nous estimons avoir atteint notre objectif principal qui était de produire un dossier technique de qualité pour la réalisation des travaux.

Tout au long du document, les différentes étapes ont été traitées suivant les objectifs spécifiques du projet. D'abord, dans le chapitre 1, nous avons présenté notre structure d'accueil, CAEM INGENIERIE, ainsi que le contexte du projet. Nous avons également situé géographiquement le tronçon, de Kalwartenga à 19,145 km en direction de Boulsa, tout en exposant les données techniques disponibles.

Ensuite, dans le chapitre 2, nous avons effectué le dimensionnement de la chaussée. Nous avons aussi conçu la géométrie de la route en choisissant une classification R60 en agglomération et T100 en rase campagne puis nous avons défini les profils (en plan, long et en travers). Celle-ci est composée d'une couche de roulement en béton bitumineux (4cm), d'une base en graveleux latéritique (15cm) et d'une fondation (20cm) du même matériau.

Le chapitre 3 s'est penché sur l'assainissement. Il comprend une étude hydrologique, une analyse hydraulique et le dimensionnement des ouvrages d'évacuation. Sur l'ensemble du tracé, on a identifié 27 ouvrages longitudinaux. Trois nouvelles sections ont été adoptées : $3,00 \times 2,00 \text{ m}$, $4,00 \times 3,00 \text{ m}$ et $2,00 \times 1,50 \text{ m}$. Pour les eaux de surfaces, des fossés en terre, de forme triangulaire avec des talus 2/3 ou 3/2, seront utilisés en campagne.

Dans le quatrième chapitre, nous avons parlé des éléments essentiels pour garantir la sécurité des usagers sur la route. Il s'agit notamment des différents types de panneaux à installer et des équipements qui assurent la protection des automobilistes et piétons. Nous avons aussi proposé un aménagement général du tronçon.

Le cinquième chapitre, quant à lui, a mis en lumière les effets que le projet pourrait avoir sur l'environnement et la société. Nous avons identifié à la fois les retombées positives et les conséquences moins favorables. Des solutions ont été proposées pour atténuer les impacts négatifs et renforcer les avantages, tout en respectant les textes en vigueur au Burkina Faso. Malgré certains désagréments, ce projet reste globalement bénéfique pour les populations concernées.

Le chapitre 6 s'est concentré sur l'estimation financière. En se basant sur les prix actualisés du BTP pour l'année 2025 dans la ville de Ouagadougou, le montant total du projet a été évalué à **10 553 767 591 FCFA TTC**.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AFNOR (Association Française de Normalisation), « Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage ». AFNOR, mars 1996. Consulté le : 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-p94093/sols-reconnaissance-et-essais-determination-des-references-de-compactage-du/fa185491/43924>
- [2] Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics CEBTP, « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ». La Documentation française, 1984.
- [3] AFNOR (Association Française de Normalisation), « Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau ». AFNOR, mars 1993. Consulté le : 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-p94093/sols-reconnaissance-et-essais-determination-des-references-de-compactage-du/fa185491/43924>
- [4] AFNOR (Association Française de Normalisation), Éd., « Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion, Indice CBR immédiat, Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR ». AFNOR, mai 1997. Consulté le : 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-p94093/sols-reconnaissance-et-essais-determination-des-references-de-compactage-du/fa185491/43924>
- [5] « Dimensionnement Des Structures de Chaussées Trafic (1) - PDFCOFFEE.COM ». Consulté le : 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://pdfcoffee.com/dimensionnement-des-structures-de-chaussées-traffic-1-pdf-free.html>
- [6] SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES et Centre de la Sécurité et des Techniques Routières, « AMENAGEMENT DES ROUTES ». SETRA, août 1994.
- [7] « Routes - BCEOM - HYDRAULIQUE-ROUTIERE PDF | PDF ». Consulté le : 17 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/473632409/Routes-BCEOM-HYDRAULIQUE-ROUTIERE-pdf>
- [8] « GUIDE TECHNIQUE MODULE 3 ECLAIRAGE PUBLIC ». s.d., s.d.

- [9] Autorité de Régulation de la Commande Publique (ARCOP), « Mercuriale 2025 - Ouagadougou ». ARCOP, 2025. Consulté le : 2 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.arcop.bf/mercuriale-2025-ouagadougou>

LISTE DES ANNEXES

<i>ANNEXE I: AXE EN PLAN</i>	51
<i>ANNEXE II: Etude hydrologique et hydraulique</i>	56
<i>ANNEXE III: DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES OUVRAGES</i>	71
<i>ANNEXE IV: SIGNALISATIONS ROUTIERES</i>	141
<i>ANNEXE V: Plans type de géométrie de projet : tracés combinés y compris aménagement.</i>	143

Liste des figures

Figure 1: Pluie totale annuelle à la station de Boulsa	57
Figure 2: Ajustement de la série de données de pluies maximales journalières par la loi de Gumbel	58
Figure 3: Coefficient de ruissellement	59
Figure 4: Fig.77. Sortie libre. Dalot rectangulaire	66
Figure 5: Pente réduite I_c^*	67
Figure 6: Vitesse réduite V_c^*	68
Figure 7: Valeurs moments	74
Figure 8: Efforts piédroits.....	74
Figure 9: Réaction d'appui	74
Figure 10: Caractéristiques du convoi Bc	76
Figure 11: Système Bt	77
Figure 12: Caractéristiques du système Mc120	79

Liste des tableaux

Tableau 1: Axe en plan.....	52
Tableau 2: Caractéristiques des Bassins versants	56
Tableau 3: Résumé des résultats des analyses des pluies maximales quotidiennes	57
Tableau 4: Coefficients de Montana de la zone du projet	60
Tableau 5: Résultats de la méthode rationnelle.....	60
Tableau 6: Les différentes valeurs de Kr10	63
Tableau 7: Les différentes valeurs du temps de base Tb10.....	64
Tableau 8: les débits par la méthode ORSTORM	64
Tableau 9: Les différentes équations de calcul par la méthode CIEH	65
Tableau 10: Les débits obtenus par la méthode CIEH	65
Tableau 11: Dimensionnement des dalots	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 12: Récapitulatif des sollicitations (logiciel Pybar)	81
Tableau 13: Récapitulatif des sections d'aciers	86
Tableau 14: Nomenclature des panneaux de signalisation	142
Tableau 15: Cadre du devis quantitatif et estimatif.....	144

ANNEXE I: AXE EN PLAN

Tableau 1: Axe en plan

Elt's Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 184.19gr	656,353	0+000.000	768777,443	1394105,840
Arc 1	Rayon 4640.401 m	300,053	0+656.353	768938,815	1393469,634
	Centre X 773436.779 m				
	Centre Y 1394610.533 m				
Droite 2	Gisement 180.07gr	982,078	0+956.406	769021,936	1393181,378
Arc 2	Rayon -3234.327 m	133,282	1+938.484	769324,397	1392247,036
	Centre X 766247.282 m				
	Centre Y 1391250.925 m				
Droite 3	Gisement 182.69gr	56,750	2+071.766	769362,821	1392119,423
Arc 3	Rayon 45034.905 m	496,614	2+128.516	769378,060	1392064,757
	Centre X 812758.955 m				
	Centre Y 1404157.754 m				
Droite 4	Gisement 181.99gr	810,444	2+625.130	769514,048	1391587,127
Arc 4	Rayon 1209.600 m	270,859	3+435.575	769740,268	1390808,896
	Centre X 770901.790 m				
	Centre Y 1391146.532 m				
Droite 5	Gisement 167.74gr	136,074	3+706.433	769844,242	1390559,400
Arc 5	Rayon -1257.117 m	122,303	3+842.507	769910,291	1390440,432
	Centre X 768811.199 m				
	Centre Y 1389830.236 m				
Droite 6	Gisement 173.93gr	307,049	3+964.810	769964,365	1390330,786
Arc 6	Rayon -1808.039 m	84,289	4+271.859	770086,624	1390049,127
	Centre X 768428.091 m				
	Centre Y 1389329.214 m				
Droite 7	Gisement 176.90gr	214,784	4+356.148	770118,371	1389971,054
Arc 7	Rayon -1612.249 m	315,288	4+570.932	770194,618	1389770,258
	Centre X 768687.376 m				
	Centre Y 1389197.923 m				

Droite 8	Gisement	189.35gr	896,975	4+886.220	770277,102	1389466,472
Arc 8	Rayon	2744.392 m	282,917	5+783.195	770426,509	1388582,027
	Centre X	773132.561 m				
	Centre Y	1389039.154 m				
Droite 9	Gisement	182.78gr	322,568	6+066.112	770487,917	1388305,983
Arc 9	Rayon	15500.204 m	374,623	6+388.680	770574,092	1387995,139
	Centre X	785510.929 m				
	Centre Y	1392136.059 m				
Droite 10	Gisement	181.24gr	856,265	6+763.302	770678,526	1387635,377
Clothoïde 1	Paramètre	178,349	67,000	7+619.567	770927,153	1386816,003
Arc 10	Rayon	474.750 m	644,101	7+686.567	770948,105	1386752,379
	Centre X	771391.552 m				
	Centre Y	1386921.916 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-178,349	67,000	8+330.668	771463,009	1386452,574
Droite 11	Gisement	85.89gr	11,429	8+397.668	771528,684	1386465,760
Arc 11	Rayon	-664.438 m	88,368	8+409.098	771539,833	1386468,272
	Centre X	771685.905 m				
	Centre Y	1385820.089 m				
Droite 12	Gisement	94.36gr	25,031	8+497.466	771627,075	1386481,918
Clothoïde 3	Paramètre	158,992	65,125	8+522.497	771652,008	1386484,134
Arc 12	Rayon	388.149 m	2,022	8+587.622	771716,671	1386491,709
	Centre X	771650.029 m				
	Centre Y	1386874.094 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-158,992	65,125	8+589.644	771718,662	1386492,062
Droite 13	Gisement	83.34gr	760,122	8+654.769	771781,997	1386507,138
Arc 13	Rayon	-1230.618 m	225,973	9+414.891	772516,248	1386703,761
	Centre X	772834.576 m				
	Centre Y	1385515.028 m				
Droite 14	Gisement	95.03gr	267,698	9+640.864	772738,657	1386741,902
Arc 14	Rayon	729.312 m	95,266	9+908.562	773005,541	1386762,767
	Centre X	772948.695 m				
	Centre Y	1387489.860 m				
Droite 15	Gisement	86.72gr	109,727	10+003.828	773099,763	1386776,366

Arc 15	Rayon	-836.072 m	113,313	10+113.555	773207,110	1386799,094
	Centre X	773380.291 m				
	Centre Y	1385981.156 m				
Droite 16	Gisement	95.35gr	429,853	10+226.868	773319,215	1386814,993
Arc 16	Rayon	-30873.049 m	872,477	10+656.721	773747,919	1386846,395
	Centre X	776003.253 m				
	Centre Y	1356055.834 m				
Droite 17	Gisement	97.14gr	267,692	11+529.198	774618,850	1386897,828
Arc 17	Rayon	652.460 m	85,092	11+796.890	774886,273	1386909,832
	Centre X	774857.015 m				
	Centre Y	1387561.635 m				
Droite 18	Gisement	88.84gr	427,723	11+881.983	774970,790	1386919,172
Arc 18	Rayon	-743.440 m	86,136	12+309.706	775391,960	1386993,758
	Centre X	775521.600 m				
	Centre Y	1386261.708 m				
Droite 19	Gisement	96.22gr	569,233	12+395.842	775477,456	1387003,836
Arc 19	Rayon	841.636 m	235,829	12+965.075	776045,685	1387037,636
	Centre X	775995.710 m				
	Centre Y	1387877.787 m				
Droite 20	Gisement	78.38gr	796,357	13+200.904	776276,080	1387084,223
Arc 20	Rayon	-1903.919 m	686,571	13+997.261	777026,951	1387349,509
	Centre X	777661.193 m				
	Centre Y	1385554.336 m				
Droite 21	Gisement	101.34gr	428,918	14+683.831	777701,160	1387457,836
Clothoïde 5	Paramètre	-180,293	67,000	15+112.749	778129,984	1387448,832
Arc 21	Rayon	-485.156 m	292,089	15+179.749	778196,905	1387445,885
	Centre X	778153.279 m				
	Centre Y	1386962.694 m				
Clothoïde 6	Paramètre	180,293	67,000	15+471.838	778462,882	1387336,221
Droite 22	Gisement	148.46gr	476,861	15+538.838	778512,433	1387291,146
Arc 22	Rayon	974.061 m	460,317	16+015.700	778857,703	1386962,230
	Centre X	779529.563 m				
	Centre Y	1387667.495 m				

Droite 23	Gisement	118.37gr	204,208	16+476.016	779252,362	1386733,710
Arc 23	Rayon	1086.715 m	138,717	16+680.224	779448,126	1386675,596
	Centre X	779757.386 m				
	Centre Y	1387717.377 m				
Droite 24	Gisement	110.24gr	471,843	16+818.941	779583,263	1386644,703
Clothoïde 7	Paramètre	-178,973	67,000	17+290.783	780049,009	1386569,100
Arc 24	Rayon	-478.078 m	57,706	17+357.783	780114,860	1386556,826
	Centre X	780005.406 m				
	Centre Y	1386091.446 m				
Clothoïde 8	Paramètre	178,973	67,000	17+415.489	780170,100	1386540,260
Droite 25	Gisement	126.85gr	317,833	17+482.489	780231,839	1386514,273
Arc 25	Rayon	1054.335 m	397,955	17+800.322	780521,819	1386384,159
	Centre X	780953.439 m				
	Centre Y	1387346.098 m				
Droite 26	Gisement	102.82gr	325,253	18+198.277	780906,722	1386292,799
Clothoïde 9	Paramètre	-107,557	52,091	18+523.529	781231,655	1386278,387
Arc 26	Rayon	-222.085 m	270,979	18+575.620	781283,533	1386274,050
	Centre X	781247.800 m				
	Centre Y	1386054.858 m				
Clothoïde 10	Paramètre	107,557	52,091	18+846.599	781465,929	1386096,591
Droite 27	Gisement	195.43gr	6,722	18+898.689	781471,688	1386044,852
				18+905.411	781472,169	1386038,147
Longueur totale de l'axe 18905.411 mètre(s)						

ANNEXE II: Etude hydrologique et hydraulique

A. Étude Hydrologique

Pour notre étude, le but principal que nous nous fixons est la détermination des débits de projet. Cette détermination ne peut se faire qu'en passant par plusieurs étapes que sont la délimitation des bassins versants, la détermination des caractéristiques de ces bassins versants et pour terminer, l'estimation des débits qui se fera à partir de différentes méthodes de calcul.

I. Caractéristiques des Bassins versants

Tableau 2: Caractéristiques des Bassins versants

Bassins versants	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Zmax (m)	Zmin (m)	Pente I (%)
BV_1	1.539	8	334	307	2.73
BV_2	40.621	41.251	340	291	2.93
BV_3	0.855	5.324	306	294	2.79
BV_4	28.282	33.542	332	292	2.95
BV_5	12.961	22.304	332	300	2.56
BV_6	1.103	5.921	325	309	2.74

S : superficie du bassin versant ; P : périmètre du bassin versant ; Zmin : l'altitude minimale dans le bassin versant ; Zmax : l'altitude maximale dans le bassin versant ; I : pente moyenne du bassin versant.

II. Pluviométrie

L'analyse pluviométrique sera faite à partir des données pluviométriques de la station de référence qui est de Boulsa et représentée dans ce graphique.

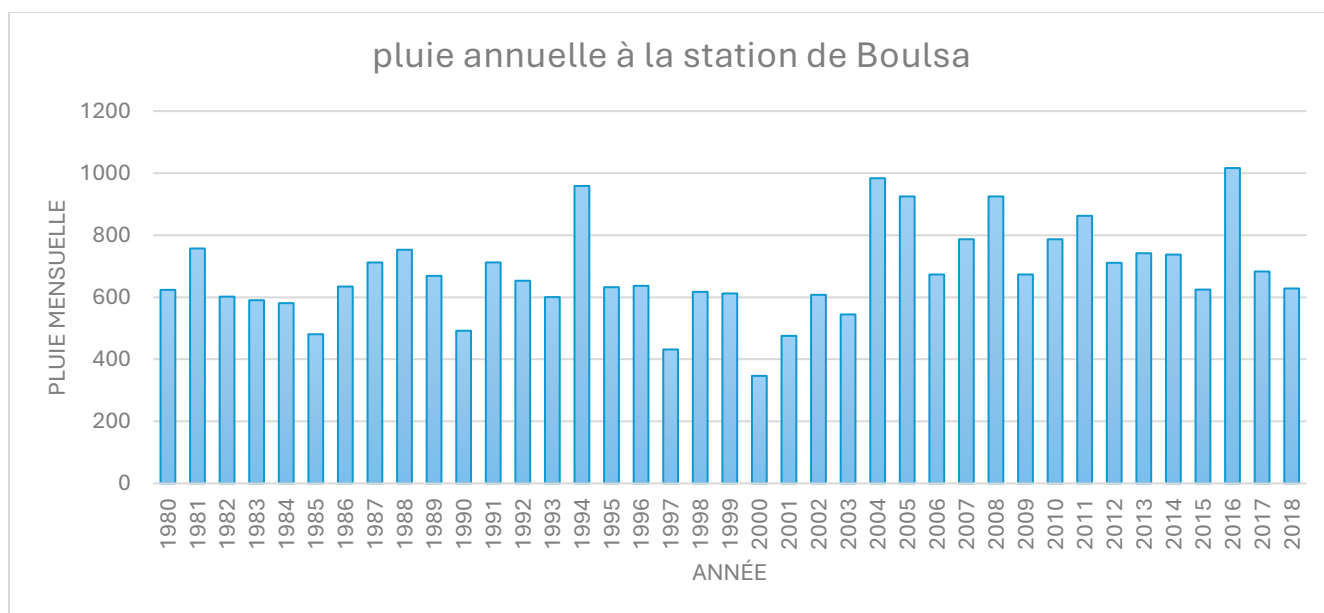


Figure 1: Pluie totale annuelle à la station de Boulsa

III. Détermination de la pluviométrie journalière décennale

Pour avoir ce résultat, on se servira de Hyfran plus, un logiciel qui analyse statistiquement les données de pluies des années passées ainsi que les précipitations maximales journalières.

Tableau 3: Résumé des résultats des analyses des pluies maximales quotidiennes

Période de retour T (année)	q = F(X) (probabilité au non-dépassement)	XT = Pluie maximale journalière (mm)		
		Méthode du maximum de vraisemblance corrigée	Méthode des moments	Méthode des moments pondérés
100	0.99	175	168	149
50	0.98	156	149	133
20	0.95	130	124	113
10	0.9	109	105	97.4
5	0.8	88.5	85.4	81.0

Commentaire : le tableau ci-dessus donne l'ensemble des résultats issus de l'analyse fréquentielle. Dans ce tableau, nous voyons la hauteur des pluies, leur période de retour avec différentes méthodes de détermination. Pour des raisons de sécurité, les valeurs obtenues par la

méthode du maximum de vraisemblance corrigée sont celles adoptées. Ainsi, notre pluie maximale journalière décennale P_{10} correspond à **109mm** et la centennale P_{100} est prise égale à **175mm**. La figure ci-après illustre la courbe d'ajustement statique des pluies maximales journalières de Boulsa.

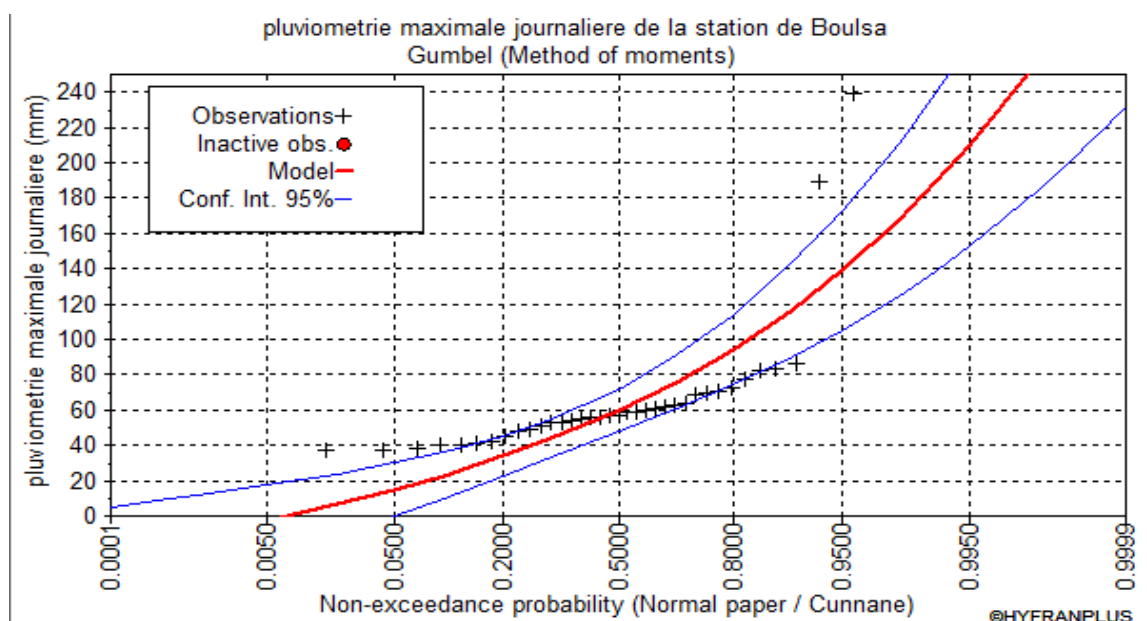


Figure 2: Ajustement de la série de données de pluies maximales journalières par la loi de Gumbel

IV. Estimations des débits

Dans le cas de notre projet, l'estimation des débits se fera par différentes méthodes :

- La méthode Rationnelle ;
- La méthode ORSTOM ;
- La méthode CIEH.

1. La méthode Rationnelle

Avec cette méthode, il faut que la surface du bassin versant soit inférieure ou égale à 4 Km² pour que la formule soit valable.

La formule de cette méthode est :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

$$\text{Avec } \begin{cases} C = \text{Coefficient de Ruissellement} \\ I = \text{Intensité de l'averse (mm/h)} \\ A = \text{Superficie du Bassin Versant (Km}^2\text{)} \end{cases}$$

✓ Le choix du coefficient de ruissellement C est fait dans le BCEOM sur la figure suivante.

TYPE DE SURFACE	COEFFICIENT C, FONCTION DE LA PENTE DU TERRAIN		
	Plat < 2%	Moyenne 2-10%	Raide >10%
Pavées, toitures	0,90	0,90	0,90
Centres urbains	0,80	0,85	0,85
Habitations très denses	0,60	0,65	0,70
Zones suburbaines	0,45	0,50	0,55
Terre naturelle	0,60	0,65	0,70
Zones engazonnées	0,25	0,30	0,30
Zones cultivées			
Terre argileuse	0,50	0,55	0,60
Terre sablonneuse	0,25	0,30	0,35
Prairies	0,25	0,30	0,35
Zones boisées	0,10	0,15	0,20

Figure 3: Coefficient de ruissellement

✓ L'intensité I de l'averse est fonction du temps de concentration Tc et des coefficients de Montana de la zone d'étude.

La formule est :

$$I = a \times Tc^{-b}$$

Nous avons opté pour la formule empirique de KIRPICH pour le calcul du temps de concentration.

$$Tc = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{p^{0,38}}$$

$$\text{Avec } \begin{cases} Tc = \text{Temps de concentration en minute} \\ L = \text{Distance entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin (m)} \\ p = \text{Pente du Bassin Versant} \end{cases}$$

Nous ne disposons pas des coefficients de Montana pour la zone de Boulsa. Nous n'avons par contre que ceux issus de la zone la plus proche du projet que sont Ouahigouya et Ouagadougou.

Comme la ville de Ouagadougou est située à proximité de notre zone d'étude nous avons choisi d'utiliser ses paramètres pour poursuivre nos analyses.

Tableau 4: Coefficients de Montana de la zone du projet

Ville	Pluie < 1heure				Pluie < 2heures			
	a			b	a			b
	2ans	5ans	10ans	(1 à 10ans)	2ans	5ans	10ans	(1 à 10ans)
Ouahigouya	5,12	6,39	8,39	0,40	35,09	43,46	57,4	0,9
Ouagadougou	6,02	7,29	9,40	0,50	31,89	34,56	39,00	0,9

Les résultats des études et des différents paramètres sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 5: Résultats de la méthode rationnelle

BV	L (m)	Pente	T _c (min)	a	b	I (mm/h)	C	Q ₁₀ (m ³ /s)
1	5541,10	0,0273	9,969	9,4	0,5	178,631	0,3	22,93
3	2469,50	0,0279	5,306	9,4	0,5	244,853	0,3	17,46
6	3019,61	0,0274	6,238	9,4	0,5	225,822	0,3	20,77

2. La méthode ORSTOM

Cette méthode s'applique aux Bassins Versants ayant une superficie qui se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 Km², en distinguant néanmoins les Bassins Versants sur lesquels la crue décennale n'est pas généralement unitaire.

La formule est la suivante :

$$Q_{r10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

Avec

- A = Coefficient d'abattement
- P₁₀ = Hauteur de pluie journalière décennale
- K_{r10} : coefficient de ruissellement lié à la crue sur 10 ans
- α₁₀: coefficient de pointe pour la crue décennale
- S : surface totale du bassin versant
- T_{b10} : durée de base associée à la crue de 10 ans

✓ Le coefficient d'abattement A

Il est déterminé par l'équation simplifiée de Villaume (1974).

$$A = 1 - \left[\frac{161 - 0,042 \times P_{an}}{1000} \times \log(S) \right]$$

$$\text{Avec } \begin{cases} S = \text{Superficie du bassin (Km}^2\text{)} \\ P_{an} = \text{Hauteur moyenne de précipitation annuelle} \end{cases}$$

Les précipitations annuelles nous ont été fournies par l'entreprise pour notre étude.

✓ La hauteur de pluie journalière décennale

Cette hauteur est la quantité maximale de pluie que l'on peut enregistrer en 24h sur une période de 10 ans.

✓ Le coefficient de ruissellement K_{r10}

K_{r10} est obtenu par interpolation entre K_{r70} et K_{r100} , correspondant à des précipitations décennales $P_{10,1} = 70mm$ et $P_{10,2} = 100mm$, déterminé en fonction de la superficie du bassin versant, la classe d'infiltration et de l'indice global de pente.

La classe d'infiltrabilité des sols est répartie en six (06) principales classes :

- TI (P1) : bassin rigoureusement imperméable ;
- PI : bassin particulièrement imperméable ;
- I (P2) : bassin imperméable ;
- RI (P3) bassin relativement imperméable ;
- P (P4) : bassin perméable ;
- TP : bassin très perméable.

La classe d'infiltrabilité **RI** relativement imperméable pour nos bassins est celle retenue dans le cas de notre étude.

L'indice global de pente est défini par l'expression suivante :

$$I_g = \frac{\Delta H}{L} = \frac{Z_{5\%} - Z_{95\%}}{L}$$

$$\text{Avec } \begin{cases} I_g = \text{Indice global de Pente (m/km)} \\ \Delta H = \text{Dénivelée déterminée après lecture sur une courbe hypsométrique (m)} \\ L = \text{Longueur du rectangle équivalent (km)} \end{cases}$$

On peut calculer la longueur du rectangle équivalent à partir de la formule suivante :

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

$$\text{Avec } I_{comp} = 0,282 \times \frac{P}{S^{1/2}}$$

$$\begin{cases} I_{comp} \text{ est l'indice de compacité} \\ P \text{ est le périmètre de bassin versant (km)} \\ S \text{ est la superficie du bassin (km}^2\text{)} \end{cases}$$

$$\text{On a } K_{r70} \text{ ou } K_{r100} = \frac{a'}{(S+b')} + c'$$

Où a' , b' et c' sont des paramètres obtenus par interpolation linéaire. Ils sont fonction de la classe d'infiltrabilité et de l'indice global de pente. S est la superficie du bassin versant en km^2 .

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de K_{r10} qu'on a pu obtenir après avoir fait une interpolation (résultats d'interpolations en gras).

Tableau 6: Les différentes valeurs de Kr10

Bassins Versants	Classe infiltrabilité	Valeurs de I_g (m/km)	Coefficients pour K_{r70}			K_{r70} (%)	Coefficients pour K_{r100}			K_{r100} (%)	K_{r10}
			a	b	c		a	b	c		
BV_2	RI	7	200	20	18,5	15,64	240	30	22	17,47	18,02
		1,30	128,81	20	13,517		183,05	30	14,88		
		3	150	20	15		200	30	17		
BV_4	RI	7	200	20	18,5	15,25	240	30	22	16,84	17,32
		0,48	118,45	20	12,791		174,76	30	13,85		
		3	150	20	15		200	30	17		
BV_5	RI	7	200	20	18,5	16,98	240	30	22	18,61	19,10
		0,95	124,33	20	13,203		179,47	30	14,43		
		3	150	20	15		200	30	17		

✓ Le coefficient α_{10}

Le coefficient de pointe décennale, noté α_{10} , représente le rapport entre le débit de ruissellement le plus élevé et le débit moyen. En général, sa valeur tourne autour de 2,6, peu importe la taille du bassin.

✓ Le temps de base T_{b10}

Il est calculé grâce à une formule ou des courbes, en tenant compte de la zone où se trouve le bassin, de sa surface, de la capacité d'infiltration du sol et de la pente globale.

Notre zone étant en climat tropical sec, on a utilisé la formule suivante :

$$T_{b10} = a \times S^{0,36} + b$$

Les valeurs de a et b changent selon la pente du terrain.

Après avoir fait les interpolations nécessaires, on a rassemblé les différentes valeurs de T_{b10} dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Les différentes valeurs du temps de base Tb10

Bassins Versants	Classe d'infiltrabilité	Valeurs de I_g (m/km)	Coefficients pour T_{b10}		T_{b10} (min)
			a	b	
BV_2	RI	7	163	142	1881,91
		1,31	393,63	388,30	
		3	325	315	
BV_4	RI	7	163	142	1847,13
		0,48	427,22	424,16	
		3	325	315	
BV_5	RI	7	163	142	1430,36
		0,95	408,16	403,81	
		3	325	315	

Les débits obtenus par la méthode de ORSTOM :

Tableau 8: les débits par la méthode ORSTORM

BV	S	A	P10	Pm10	Kr10	α_{10}	I_g	Icomp
BV_2	40,621	0,787	109	85,77	18,023	2,6	1,305	1,825
BV_4	28,282	0,808	109	88,04	17,323	2,6	0,476	1,779
BV_5	12,961	0,853	109	92,93	19,101	2,6	0,947	1,75

BV	L	D	Tb10	Pente	Q10
BV_2	11,04	5,06	1881,928	0,0293	14,458
BV_4	1,78	4,25	1847,141	0,0295	10,119
BV_5	1,75	5,6	1434,716	0,0256	6,949

3. La méthode CIEH

Elle est basée sur les méthodes de dégressions multiples et est valable pour les superficies allant de 2 à 2000 km² et recevant des précipitations annuelles comprises entre 95 et 2000mm.

Sa formule est la suivante :

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

- a, s, p, i, k, d ... sont des paramètres à déterminer;
- S = Superficie du bassin (km²) ;
- I_g = Indice global de pente (m/km) ;
- P_{an} = Pluie annuelle moyenne ;
- K_{r10} = Coefficient de ruissellement décennale (%) ;
- D_d = Densité de drainage (km⁻¹).

Les valeurs des paramètres a, s, p, i, k ... ont été tirées d'un tableau proposé dans le document du BCEOM (page 70), en fonction des divers types de zones découpées.

Vu que notre zone d'étude se trouve au Burkina Faso, on va s'appuyer sur les formules suivantes pour continuer les calculs :

Tableau 9: Les différentes équations de calcul par la méthode CIEH

Numéros de équations	Équations
39	$Q_{10} = 0,41 \times S^{0,425} \times K_{r10}^{0,923}$
40	$Q_{10} = 0,254 \times S^{0,462} \times I_g^{0,101} \times K_{r10}^{0,976}$
42	$Q_{10} = 0,0912 \times S^{0,643} \times I_g^{0,399} \times K_{r10}^{1,019}$
43	$Q_{10} = 35600 \times S^{0,342} \times P_{m10}^{-1,808}$
44	$Q_{10} = 203 \times S^{0,459} \times P_{m10}^{-1,301} \times K_{r10}^{0,813}$
45	$Q_{10} = 22400 \times S^{0,363} \times P_{m10}^{-1,748} \times I_g^{0,059}$

Les différents résultats obtenus sont :

Tableau 10: Les débits obtenus par la méthode CIEH

Bassins Versants	Débit 39	Débit 40	Débit 42	Débit 43	Débit 44	Débit 45	Q ₁₀ (m ³ /s)
BV_2	28,55	24,29	20,91	40,38	35,62	36,44	32,35
BV_4	23,60	17,86	10,64	34,03	28,23	28,76	24,94
BV_5	18,53	14,68	9,36	23,63	19,91	20,53	18,61

B. ETUDE HYDRAULIQUE

1. Dimensionnement du dalot en sortie libre

✓ Vérification de la profondeur d'eau en amont :

$$K_S = 67 \text{ et } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- Calcul du débit réduit Q_1^* :

$$Q_1^* = \frac{q}{B \times H \times \sqrt{2 \times g \times h}}$$

- Détermination de la hauteur réduite H^* :

On va se servir de l'abaque pour les dalots rectangulaires à sortie libre avec un mur en aile de 30° , qu'on retrouve à la figure 77, page 248 du document du BCEOM :

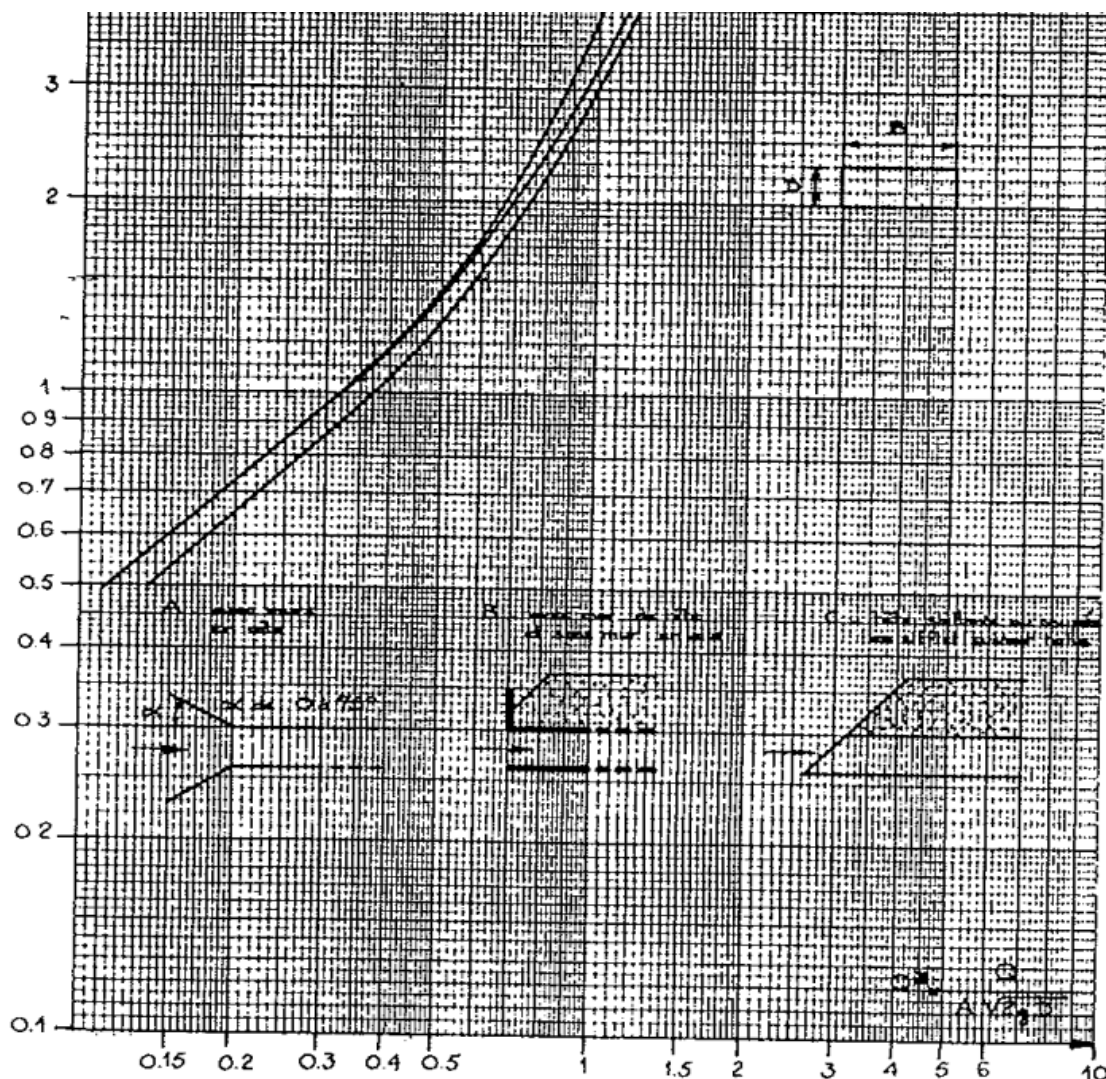


Figure 4: Fig.77. Sortie libre. Dalot rectangulaire

- Calcul de la hauteur d'eau en amont :

$$H^* = \frac{H_1}{D} \Leftrightarrow H_1 = H^* \times D ; \text{ avec } D \text{ la hauteur du dalot.}$$

- Vérification du rapport $\frac{H^*}{D} < 1,25$.
- Calcul de la revanche :

$$R = D - H_1$$

✓ La pente d'écoulement

- Calcul du débit réduit Q^{**} :

$$Q^{**} = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}}$$

- Détermination de la pente réduite critique I_c^* :

On va se servir de l'abaque pour les dalots rectangulaires à sortie libre avec un mur en aile de 30°, qu'on retrouve à la figure 82, page 252 du document du BCEOM :

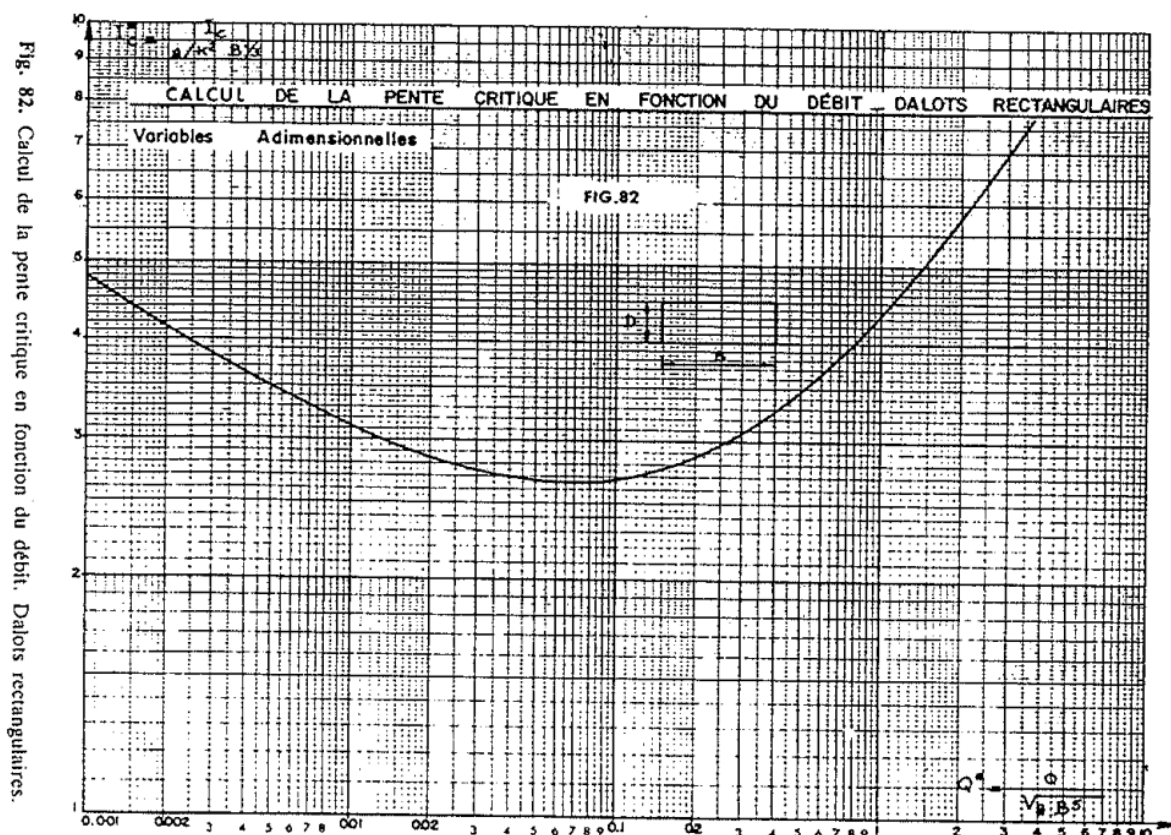


Figure 5: Pente réduite I_c^*

- Calcul de la pente critique I_c :

$$I_c = I_c^* \times \frac{g}{K_s^2} \times H^{1/3}$$

- ✓ La vitesse réelle d'écoulement
- Calcul du débit réduit Q^{**} :

$$Q^{**} = \frac{q}{K_s \times \sqrt{I} \times \sqrt[3]{B^8}}$$

- Détermination de la vitesse critique V_c^* :

On va se servir de l'abaque pour les dalots rectangulaires à sortie libre avec un mur en aile de 30° , qu'on retrouve à la figure 84, page 263 du document du BCEOM :

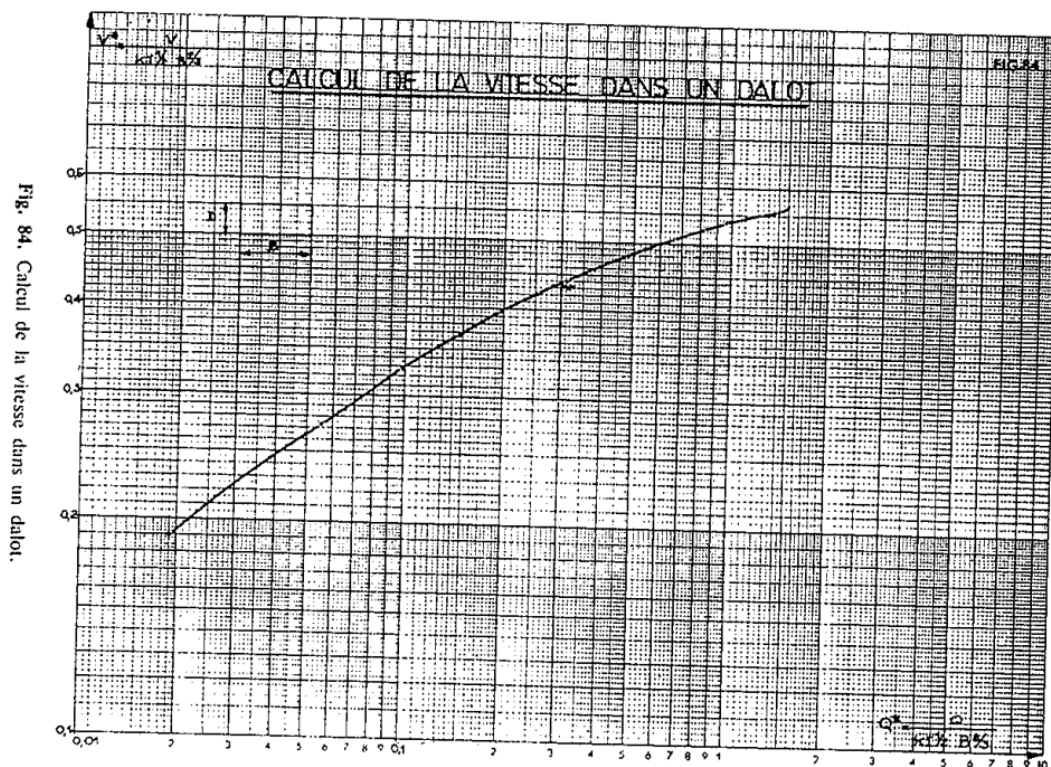


Figure 6: Vitesse réduite V_c^*

- Calcul de la vitesse réelle de sortie V :

$$V = V_c^* \times K_s \times \sqrt{I} \times B^{2/3}$$

La vitesse de sortie doit être inférieure à celle admissible $V_{adm} = 3 \text{ m/s}$, d'où la limite sera respectée.

2. Dimensionnement des dalots restants

Dans le tableau ci-dessous, nous avons les différents résultats du dimensionnement hydraulique.

Tableau 11 : Dimensionnement des dalots

Bassins Versants	BV_1	BV_2	BV_3	BV_4	BV_5	BV_6
Débit à évacuer Q ₁₀ (m ³ /s)	22,928	32,350	17,460	24,940	18,610	20,770
Pesanteur g(m ² /s)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Vitesse admissible V _{adm} (m/s)	3	3	3	3	3	3
Nombre de Cellule n	3	4	4	3	3	3
Débit par cellule Q ₁₀ /n (m ³ /s)	7,643	8,088	4,365	8,313	6,203	6,923
Hauteur du dalot D(m)	2	3	1,5	2	2	2
Largeur d'une cellule B(m)	3	4	2	3	3	3
Calcul de la hauteur d'eau en amont H ₁ (m)						
Débit réduit Q*(m ³ /s)	0,203	0,088	0,268	0,221	0,165	0,184
Hauteur réduite H* (abaque 77 du BCEOM) (m)	0,62	0,5	0,75	0,67	0,57	0,61
Hauteur d'eau en amont H ₁ (m)	1,24	1,5	1,125	1,34	1,14	1,22
Vérification (H ₁ /D ≤ 1,25)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Revanche r (≥ 0,5) = (D - H ₁) (m)	0,76	1,5	0,375	0,660	0,860	0,78
Détermination de la pente longitudinale critique I _c (I du projet ≥ I _c trouvée)						
Débit réduit Q*(m ³ /s)	0,157	0,081	0,246	0,170	0,127	0,142
Pente critique réduite I _c * (abaque 82 du BCEOM) (m)	2,75	2,61	2,88	2,72	2,7	2,65
Coefficient de rugosité K _s	67	67	67	67	67	67
Pente critique I _c	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004
Détermination de la vitesse d'écoulement V _{max}						
Débit réduit Q*(m ³ /s)	0,094	0,050	0,145	0,103	0,077	0,087
Vitesse réduite V* (abaque 84 du BCEOM) (m/s)	0,31	0,26	0,33	0,33	0,29	0,32
Vitesse de sortie V (m/s)	2,789	2,631	2,481	2,953	2,585	2,826
Vérification de la vitesse	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Section retenue	3 x 3 x 2	4 x 4 x 3	4 x 2 x 1,5	3 x 3 x 2	3 x 3 x 2	3 x 3 x 2

ANNEXE III: DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES OUVRAGES**1. Dimensionnement du dalot $4 \times 1,5 \times 2$** **a. Description de l'ouvrage**Épaisseur de la dalle : $e = 0,3m$ Épaisseur du radier : $e = 0,3m$ Épaisseur des voiles : $e = 0,25m$ Hauteur piédroits : $H = 2m$ Largeur roulable : $L_r = 10m$ Largeur chargeable : $L_c = L_r - (0,5 \times 2) = 10 - (0,5 \times 2) \Rightarrow L_c = 9m$ Nombre de voies : $n = \text{partie entière de } \frac{L_c}{3} = \text{part ent de } \frac{9}{3} = 3 \Rightarrow n = 3$ Portée de la travée : $L = 1,5m$ Ouverture hydraulique : $1,5m \times 2m$ Guides roues en béton armé de section : $0,25m \times 0,7m$ Classe de l'ouvrage de franchissement : Première classe car $L_r > 7m$ **b. Hypothèses de calcul**

- Matériaux

Béton

Densité du béton : $25KN/m^3$ Dosage : $400kg/m^3$ Résistance en compression : $f_{c28} = 25MPa$ Résistance en traction : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 2,1MPa$ Contrainte du béton en compression à l'ELS : $\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15MPa$

- Acier

Nuance : acier à haute adhérence (HA) FeE400

Limite d'élasticité : $f_e = 400\text{MPa}$

Contrainte de calcul de l'acier : $\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,83\text{MPa}$

Fissuration préjudiciable : $\overline{\sigma}_{bc} = \min\left\{\frac{2}{3}f_e ; \max(0,5f_e ; 110\sqrt{nft_{28}})\right\}$

$$\overline{\sigma}_{bc} = \min\{266,7 ; \max(200 ; 110\sqrt{1,6 \times 2,1})\}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = \min\{266,7 ; \max(200 ; 201,63)\}$$

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

- Remblais

Remblais d'accès en graveleux latéritique naturel : $\gamma_d = 20\text{KN/m}^3$

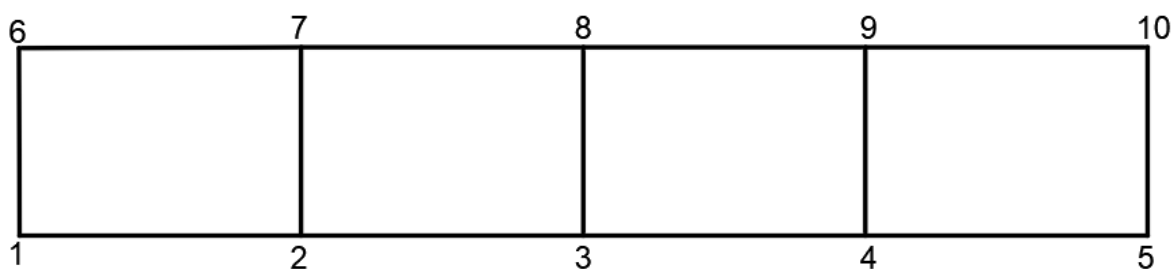
Coefficient de poussée des terres : $K_a = 0,333$

Remblais sur dalot de 0,04m en béton bitumineux : $\gamma_d = 24\text{KN/m}^3$

- Règlement

Les calculs à effectuer suivront la méthode des états limites, plus précisément selon les règles BAEL 91 révisées en 1999, qui concernent la conception et le dimensionnement des ouvrages en béton armé. Pour représenter les charges, on utilisera les systèmes A(L), B (Bc, Bt, Br) ainsi que les convois militaires. En ce qui concerne les structures de la route, elles seront définies selon les indications du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (CPC) français.

- Schéma statique de l'ouvrage



c. Méthode de calcul

- Calcul des sollicitations

Charges permanentes

✓ Sur le tablier

- Poids du remblai au-dessus du tablier :

$$P_{remb} = e_{b+f} \times \gamma_{remb} = 0,35 \times 24$$

$$\Rightarrow P_{remb} = 8,4 \text{ KN/m}^2$$

- Poids propre du tablier :

$$P_{ptab} = e_t \times \gamma_b = 0,3 \times 25$$

$$\Rightarrow P_{ptab} = 7,5 \text{ KN/m}^2$$

- Poids des guides roues en béton :

$$P_{pgr} = e_g \times \gamma_b = 2 \times 25$$

$$\Rightarrow P_{pgr} = 50 \text{ KN/m}^2$$

- Poids du revêtement au-dessus du tablier :

$$P_R = e_b \times \gamma_b = 0,04 \times 25$$

$$\Rightarrow P_R = 1 \text{ KN/m}^2$$

Charge permanente sur le tablier : $P_1 = 8,4 + 7,5 + 50 + 1 \Rightarrow P_1 = 66,9 \text{ KN/m}^2$

✓ Sur le radier

- Poids propre du radier :

$$P_{prad} = e_t \times \gamma_b = 0,3 \times 25 \Rightarrow P_{prad} = 7,5 \text{ KN/m}^2$$

- Poids propre des piédroits :

$$P_{piédroit} = n \times e_v \times H \times \gamma_b = 3 \times 0,25 \times 2 \times 25 \Rightarrow P_{piédroit} = 37,5 \text{ KN/m}^2$$

Charge permanente sur le radier : $P_2 = 66,9 + 7,5 + 37,5 \Rightarrow P_2 = 111,9 \text{ KN/m}^2$

✓ Poussée du remblai sur le piédroit

$$P_t = K_a \times \rho_t \times h$$

$$\text{Avec} \begin{cases} \rho_t = 20 \text{ KN/m}^3 = \text{poids volumique de la terre} \\ h = \text{hauteur du remblai par rapport au point considéré} \\ K_a = 0,333 = \text{coefficient de poussée des terres} \end{cases}$$

- $P(h = 0) = P_{t0} = 0,333 \times 20 \times 0 = 0 \text{ KN/m}^2$
- $P(h = 0,54) = P_{t1} = 0,333 \times 20 \times 0,54 = 3,56 \text{ KN/m}^2$
- $P(h = 2,34) = P_{t2} = 0,333 \times 20 \times 2,34 = 15,44 \text{ KN/m}^2$

➤ Logiciel Pybar

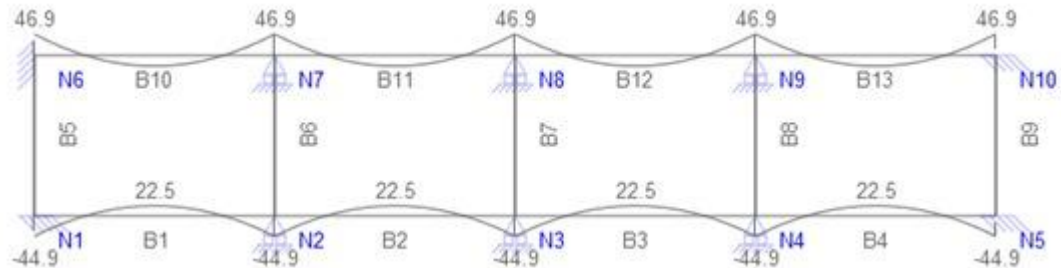


Figure 7: Valeurs moments

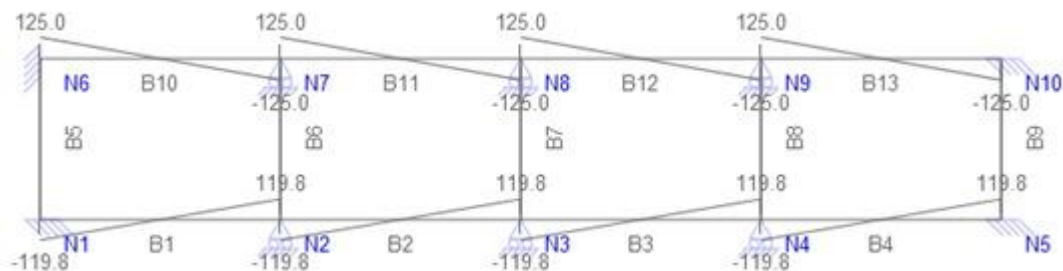


Figure 8: Efforts piédroits

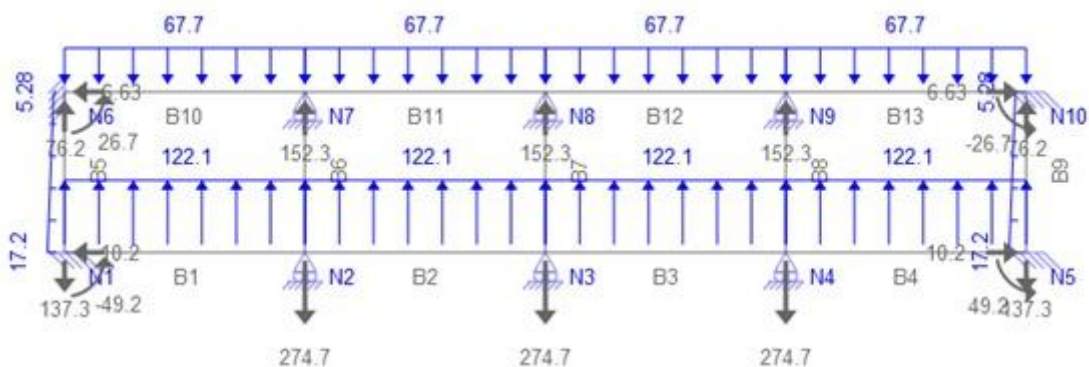


Figure 9: Réaction d'appui

- Systèmes de charges routières=
- ✓ Système de charge A(L)

Nous avons $Q_A = \gamma_q \times a_2 \times q(L)$

Avec :

$$q(L) = \sup\{a_1 \times A(L) ; (4 - 0,002L)\} ; \text{ en KN/m}^2$$

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{L_c + 12}$$

$$\gamma_q = 1,2$$

$$L = 2m$$

a_1 varie selon combien de voies sont sollicitées et du type de pont concerné.

$$a_2 = \frac{v_0}{v} ; \text{ avec } v \text{ la largeur d'une voie et } v_0 \text{ obtenu se la classe du pont}$$

$$L_r > 7m ; \text{ donc un dalot de classe I}$$

$$L_c = 7m$$

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{7+12} = 21,25 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Le nombre de voies chargée } n = \frac{7}{3} = 2,33 \text{ d'où } n = 2 \text{ voies chargées}$$

$$a_1 = 1$$

$$a_2 = \frac{3,5}{3,5} = 1$$

$$q(L) = \sup\{1 \times 21,25 ; (4 - 0,002 \times 7)\} = \sup\{21,25 ; 3,99\} = 21,25 \text{ KN/m}^2$$

- A l'ELS

$$Q_A = 1,2 \times 1 \times 21,25 \Rightarrow Q_A = 25,5 \text{ kN/m}^2/\text{ml}$$

- A l'ELU

$$Q_A = 1,6 \times 1 \times 21,25 \Rightarrow Q_A = 34 \text{ kN/m}^2/\text{ml}$$

- ✓ Système de charge Bc (fascicule 61 titre II)

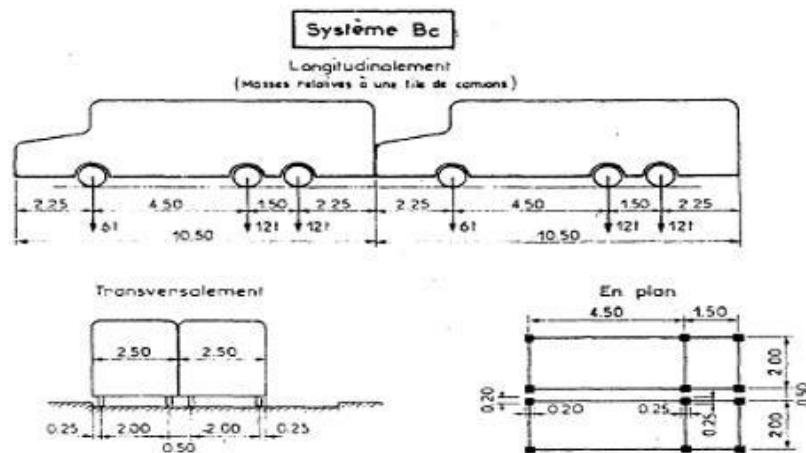


Figure 10: Caractéristiques du convoi Bc

Le coefficient de pondération Bc :

Nombre de files considérées.....		1	2	3	4	> 5
Classe du pont	Première*** ...	1.20	1.10	0.95	0.8	0.7
	Deuxième.....	1.00	1.00	-	-	-
	Troisième.....	1.00	0.8	-	-	-

Figure 11 : Coefficient Bc

$$Bc = 1,1$$

$$P_1 = \frac{Q \times Bc}{S_{encomb}}$$

- Sur le tablier

$$P'_1 = \frac{Q \times Bc}{S_{encomb}} = \frac{12 \times 60 \times 1,1}{4,6 \times 10} = 17,22 \text{ KN/m/ml}$$

- Sur le radier

$$P'_2 = \frac{Q \times Bc}{S_{encomb}} = \frac{12 \times 60 \times 1,1}{4,75 \times 12} = 13,89 \text{ KN/m/ml}$$

- Sur les piédroits

$$P_t = 1,50 \times 10 \text{KN/m}^2 \times 1,1 = 16,5 \text{KN/m/ml}$$

Le coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{Q}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L = \max(\text{largeur roulable ; portée de la travée}) \\ G = \text{charge permanente} \\ Q = \text{poids total maximum des essieux du système (Bt ou Bc)} \end{array} \right.$$

$$G = P_{\text{ptab}} + \text{accessoires}$$

$$G = (25 \times 0,3 \times 10 \times 2) + (24 \times 0,04 \times 10 \times 2) = 169,2 \text{KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 10} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{169,2}{120}} = 1,22$$

✓ Système de charge Bt (fascicule 61 titre II)

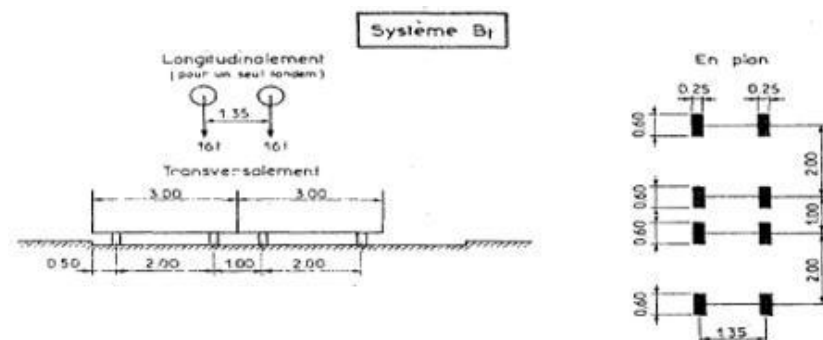


Figure 11: Système Bt

Le coefficient de pondération Bt :

Classe du pont	Première.	Deuxième.
Coefficient	1,0	0,9

Figure 12 : Coefficient Bt

Bt = 1

$$P_1 = \frac{Q \times Bt}{S_{encomb}}$$

- Sur le tablier

$$P'_1 = \frac{Q \times Bt}{S_{encomb}} = \frac{8 \times 80 \times 1}{1,6 \times 6,5} = 61,54 \text{ KN/m/ml}$$

- Sur le radier

$$P'_2 = \frac{Q \times Bt}{S_{encomb}} = \frac{8 \times 80 \times 1}{4,6 \times 10} = 13,91 \text{ KN/m/ml}$$

- Sur les piédroits

$$P_t = 1,50 \times 10 \text{ KN/m}^2 \times 1 = 15 \text{ KN/m/ml}$$

Le coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{Q}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L = \max(\text{largeur roulable ; portée de la travée}) \\ G = \text{charge permanente} \\ Q = \text{poids total maximum des essieux du système (Bt ou Bc)} \end{array} \right.$$

$$G = P_{ptab} + \text{accessoires}$$

$$G = (25 \times 0,3 \times 10 \times 2) + (24 \times 0,04 \times 10 \times 2) = 169,2 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 10} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{169,2}{2 \times 160 \times 2}} = 1,42$$

✓ Charges militaires

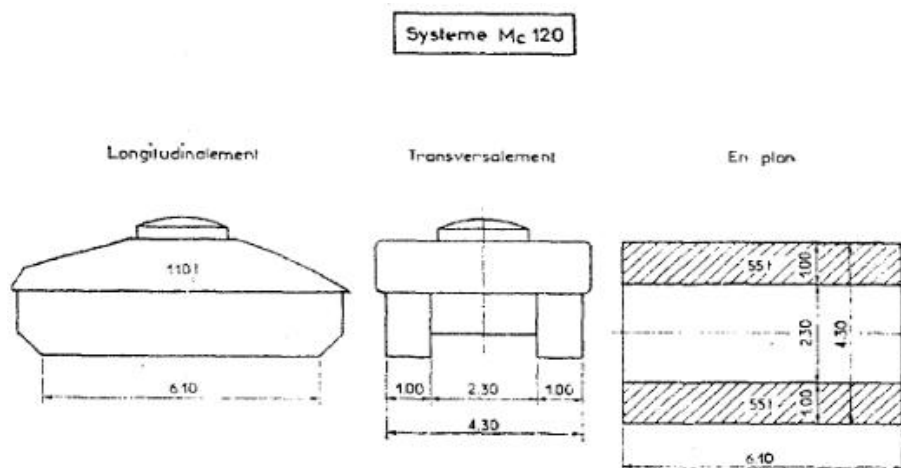


Figure 12: Caractéristiques du système Mc120

$$P_1 = \frac{Q}{S_{encomb}}$$

- Sur le tablier

$$P'_1 = \frac{Q}{S_{encomb}} = \frac{2 \times 550}{2 \times 2 \times 4,30} = \dots \text{KN/m/ml}$$

- Sur le radier

$$P'_2 = \frac{Q}{S_{encomb}} = \frac{2 \times 550}{4,6 \times 6,1} = 39,20 \text{KN/m/ml}$$

- Sur les piédroits

$$P_t = 1,50 \times 10 \text{KN/m}^2 \times 1 = 15 \text{KN/m/ml}$$

Le coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{Q}}$$

$$\begin{cases} L = \max(\text{largeur roulable ; portée de la travée}) \\ G = \text{charge permanente} \\ Q = \text{poids total maximum des essieux du système (Bt ou Bc)} \end{cases}$$

$$G = P_{ptab} + \text{accessoires}$$

$$G = (25 \times 0,3 \times 10 \times 2) + (24 \times 0,04 \times 10 \times 2) = 169,2 \text{KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 10} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{169,2}{2 \times 550}} = 1,50$$

Pour continuer avec les calculs des sollicitations, on va utiliser :

$$\delta = \max(1,22 ; 1,42 ; 1,50) = 1,50$$

- ✓ Calcul des sollicitations

Pour évaluer les sollicitations, on utilise la même démarche que celle appliquée aux charges permanentes. Pour les autres surcharges, seuls les résultats finaux seront présentés, sans reprendre tous les calculs.

- Sous système Bc
 - Sur le tablier

$$P = \delta \times P_1 = 1,50 \times 17,22 = 25,83 \text{KN/ml}$$

- Sur le radier

$$P = \delta \times P_2 = 1,50 \times 13,89 = 20,86KN/ml$$

- Sur le piédroit

$$P = \delta \times P_t = 1,50 \times 16,5 = 24,75KN/ml$$

- Sous système Bt

- Sur le tablier

$$P = \delta \times P_1 = 1,50 \times 61,54 = 92,31KN/ml$$

- Sur le radier

$$P = \delta \times P_2 = 1,50 \times 13,91 = 20,87KN/ml$$

- Sur le piédroit

$$P = \delta \times P_t = 1,50 \times 15 = 22,5KN/ml$$

- Sous système Mc120

- Sur le tablier

$$P = \delta \times P_1 = 1,50 \times 63,95 = 95,93KN/ml$$

- Sur le radier

$$P = \delta \times P_2 = 1,50 \times 39,20 = 58,8KN/ml$$

- Sur le piédroit

$$P = \delta \times P_t = 1,50 \times 15 = 22,5KN/ml$$

Pour continuer le calcul des sections d'armatures, on va se baser sur le système Bt issu du logiciel Pybar.

Tableau 11: Récapitulatif des sollicitations (logiciel Pybar)

Élément de l'ouvrage	Sollicitations en KN.m ; KN		Charges G	Système Bt
Tablier	Moment sur appui (KN)	$N6 = N10$	28,60	46,90
		$N7 = N8 = N9$	28,60	46,90
	Moment en travée (KN.m)	$B10 = B13$	15,80	26,93
		$B1 = B4$	15,80	26,93
	Réaction d'appui (KN)	$R6 = R10$	76,20	122,00
		$R7 = R8 = R9$	152,30	240,90
Radier	Moment sur appui (KN)	$N1 = N5$	51,50	44,90
		$N2 = N3 = N4$	51,50	44,90
	Moment en travée (KN.m)	$B1 = B4$	25,80	22,50
		$B2 = B3$	25,80	22,50
	Réaction d'appui (KN)	$R1 = R5$	137,30	122,70
		$R2 = R3 = R4$	274,70	239,50
Piédroits	Effort en N1 et N5	$N1 \text{ à } N5$	137,30	119,80
	Effort en N6 et N10	$N6 \text{ à } N10$	76,20	125,00
	Moment maximal	$B5 = B9$	10,20	13,80

Sections d'armature du dalot

❖ Armatures du tablier

On a $h = 0,3m$; $b = 1m$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,3 = 0,27m$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15MPa ; f_{su} = 347,83MPa$$

➤ Section d'acier à mi-travée

$$M_{ser} = 26,93KN/m/ml$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

$$Z_{ser} = d \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3}\right)$$

$$AN : Z_{ser} = 0,27 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \Rightarrow Z_{ser} = 0,22$$

Calcul de M_{serb} :

$$M_{serb} = 0,5 \times b_0 \times d^2 \times \alpha_{ser} \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3}\right) \sigma_{bc}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 15 \Rightarrow M_{serb} = 238,58 \text{ kN.m/ml}$$

On a $M_{serf} < M_{serb} \leftrightarrow$ absence d'aciers comprimés.

- Détermination de la section d'acier principale en travée :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{26,93}{0,22 \times 201,63} \times 10 \Rightarrow A_{st} = 6,07 \text{ cm}^2$$

- Détermination de la section minimale :

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$\text{AN : } A_{min} = 0,23 \times 100 \times 27 \times \frac{2,1}{400} \Rightarrow A_{min} = 3,26 \text{ cm}^2$$

Sections retenues : $A_{st} = 6,07 \text{ cm}^2 \Rightarrow 6\text{HA}12$

➤ Section d'acier sur appui

$$M_{ser} = 46,9 \text{ kN.m/ml}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

$$Z_{ser} = d \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3}\right)$$

$$\text{AN : } Z_{ser} = 0,27 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \Rightarrow Z_{ser} = 0,22$$

Calcul de M_{serb} :

$$M_{serb} = 0,5 \times b_0 \times d^2 \times \alpha_{ser} \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3}\right) \sigma_{bc}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3}\right) \times 15 \Rightarrow M_{serb} = 238,58 \text{ kN.m/ml}$$

On a $M_{serf} < M_{serb} \leftrightarrow$ absence d'aciers comprimés.

- Détermination de la section d'acier principale sur appui :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{46,9}{0,22 \times 201,63} \times 10 \Rightarrow A_{st} = 10,57 \text{ cm}^2$$

- Détermination de la section minimale :

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$\text{AN : } A_{min} = 0,23 \times 100 \times 27 \times \frac{2,1}{400} \Rightarrow A_{min} = 3,26 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sections retenues : } A_{st} = 10,57 \text{ cm}^2 \Rightarrow 7\text{HA14}$$

❖ Armatures du radier

$$\text{On a } h = 0,3 \text{ m ; } b = 1 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,3 = 0,27 \text{ m}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa ; } f_{su} = 347,83 \text{ MPa}$$

- Section d'acier à mi-travée

$$M_{ser} = 22,5 \text{ kN.m/ml}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

$$Z_{ser} = d \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3} \right)$$

$$\text{AN : } Z_{ser} = 0,27 \times \left(1 - \frac{0,53}{3} \right) \Rightarrow Z_{ser} = 0,22$$

Calcul de M_{serb} :

$$M_{serb} = 0,5 \times b_0 \times d^2 \times \alpha_{ser} \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3} \right) \sigma_{bc}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3} \right) \times 15 \Rightarrow M_{serb} = 238,58 \text{ kN.m/ml}$$

On a $M_{serf} < M_{serb} \leftrightarrow$ absence d'aciers comprimés.

- Détermination de la section d'acier principale en travée :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{22,5}{0,22 \times 201,63} \times 10 \Rightarrow A_{st} = 5,07 \text{ cm}^2$$

- Détermination de la section minimale :

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$\text{AN : } A_{min} = 0,23 \times 100 \times 27 \times \frac{2,1}{400} \Rightarrow A_{min} = 3,26 \text{ cm}^2$$

Sections retenues : $A_{st} = 5,07 \text{ cm}^2 \Rightarrow 7\text{HA}10$

- Section d'acier sur appui

$$M_{ser} = 44,9 \text{ KN/m/ml}$$

Paramètre de déformation

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} = 0,53$$

$$Z_{ser} = d \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3} \right)$$

$$\text{AN : } Z_{ser} = 0,27 \times \left(1 - \frac{0,53}{3} \right) \Rightarrow Z_{ser} = 0,22$$

Calcul de M_{serb} :

$$M_{serb} = 0,5 \times b_0 \times d^2 \times \alpha_{ser} \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3} \right) \sigma_{bc}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,27^2 \times 0,53 \times \left(1 - \frac{0,53}{3} \right) \times 15 \Rightarrow M_{serb} = 238,58 \text{ kN.m/ml}$$

On a $M_{serf} < M_{serb} \leftrightarrow$ absence d'aciers comprimés.

- Détermination de la section d'acier principale sur appui :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{44,9}{0,22 \times 201,63} \times 10 \Rightarrow A_{st} = 10,12 \text{ cm}^2$$

- Détermination de la section minimale :

$$A_{min} = 0,23 \times b_0 \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$AN : A_{min} = 0,23 \times 100 \times 27 \times \frac{2,1}{400} \Rightarrow A_{min} = 3,26 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sections retenues : } A_{st} = 10,12 \text{ cm}^2 \Rightarrow 9\text{HA}12$$

❖ Armatures des pérodroits

$$\text{Données : } H = 2\text{ m}, h = 0,3, c = 0,03\text{ m}, b = 1\text{ m}$$

➤ Effort normal

$$N_u = 122,4 \text{ KN/ml}$$

$$\text{Longueur de flambement : } l_f = 0,7 \times H = 0,7 \times 2 = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Élancement : } \lambda = 3,46 \times \frac{l_f}{h} = 3,46 \times \frac{1,4}{0,3} = 16,15$$

$$\lambda < 50 \Rightarrow \beta = 1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2 = 1 + 0,2 \times \left(\frac{16,15}{35}\right)^2 = 1,04$$

$$B_r = (h - c) \times (b - c) = (0,3 - 0,03) \times (1 - 0,03) = 0,26 \text{ cm}^2$$

$$\text{Le béton équilibre : } N_b = \frac{B_r \times f_{bu}}{0,9} = \frac{0,26 \times 14,17}{0,9} = 4093,56 \text{ KN}$$

$$\text{Les aciers équilibres : } N_s = \frac{k \times \beta \times N_u - N_b}{0,85} = \frac{1,1 \times 1,04 \times 122,4 - 4093,56}{0,85} = -4651,22 \text{ KN}$$

$N_s < 0 \Rightarrow$ nous calculons la section minimale car le béton est surabondant.

➤ Section minimale

$$u = 2 \times (h + b) = 2 \times (0,3 + 1) = 2,6 \text{ m de périmètre}$$

$$B = h \times b = 0,3 \times 1 = 0,3 \text{ m}^2 \text{ de surface de béton}$$

$$A_{min} = \max \left\{ 4 \text{ cm}^2 \times u \text{ en cm}^2, \frac{0,2 \times B}{100} \right\} = \max \left\{ 4 \times 2,6 = 10,4 \text{ cm}^2, \frac{0,2 \times 1000}{100} = 2 \text{ cm}^2 \right\} \Rightarrow A_{min} = 10,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Vérification : } A_{max} = 5 \times \frac{B}{100} = 5 \times \frac{1000}{100} = 50 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{min} < A_{max}$$

D'où $A_s = 10,4 \text{ cm}^2$; soit $A_s = 5,2 \text{ cm}^2$ sur chaque face $\Rightarrow 7\text{HA}10$ sur chaque face.

Tableau 12: Récapitulatif des sections d'aciers

Partie de l'ouvrage		Moments	Section min (cm ²)	Section d'aciers (cm ²)	
				Théorique	Choix
Tablier	Mi-travée	26,93	3,26	6,07	6HA10
	Sur appui	46,9	3,26	10,57	7HA14
Radier	Mi-travée	22,5	3,26	5,07	7HA10
	Sur appui	44,9	3,26	10,12	9HA12
Piédroit		122,4	10,4	5,2 / face	7HA10 /face

2. Dimensionnement du dalot 4 × 3 × 2 sur CYPE**1.- NORME ET MATÉRIAUX**

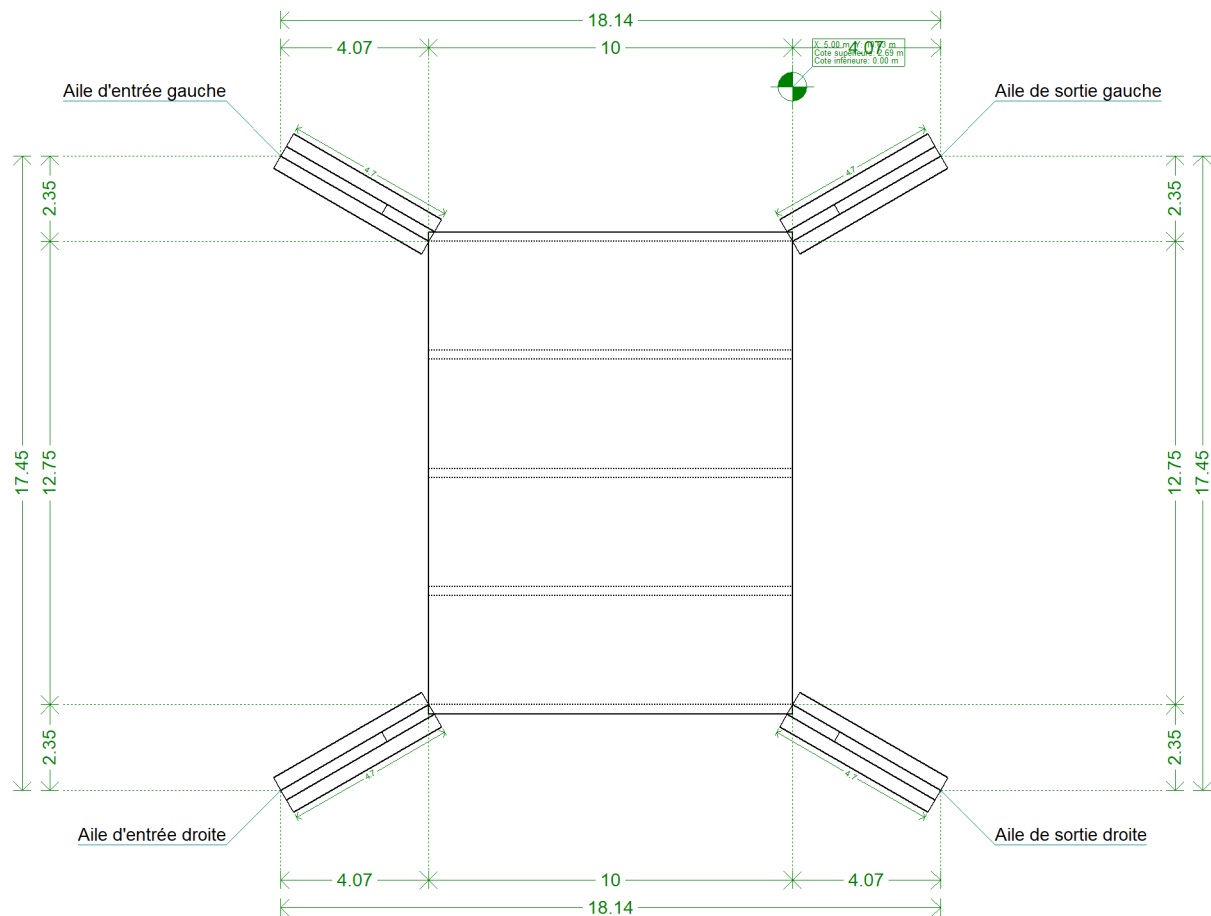
Norme : BAEL-91 (R-99) (France)

Béton : B25

Acier des barres : Fe E400

Enrobage extérieur : 3.0 cm

Enrobage intérieur : 3.0 cm

2.- GÉOMÉTRIE

Plan supérieur module : Par gabarit (2.00 m)

MODULE

Épaisseurs	Piédroits : 25 cm Tablier : 25 cm Radier : 30 cm
Cellule 1	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 300 cm Portée en sortie : 300 cm
Mur intermédiaire 1	Épaisseur : 25 cm
Cellule 2	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 300 cm Portée en sortie : 300 cm
Mur intermédiaire 2	Épaisseur : 25 cm
Cellule 3	Mesure de la portée : Perpendiculairement à la paroi gauche Portée à l'entrée : 300 cm Portée en sortie : 300 cm
Mur intermédiaire 3	Épaisseur : 25 cm

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Longueur totale : 4.70 m
Longueur supérieure : 1.50 m
Épaisseur en extrémité : 1.00 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur : 0.30 m
Épaisseur de la semelle : 0.40 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.40 m
- Avant : 0.40 m

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Longueur totale : 4.70 m
Longueur supérieure : 1.50 m
Épaisseur en extrémité : 1.00 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur : 0.30 m
Épaisseur de la semelle : 0.40 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.40 m
- Avant : 0.40 m

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Longueur totale : 4.70 m
Longueur supérieure : 1.50 m
Épaisseur en extrémité : 1.00 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m²
Épaisseur du mur : 0.30 m
Épaisseur de la semelle : 0.40 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.40 m
- Avant : 0.40 m

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Longueur totale : 4.70 m
Longueur supérieure : 1.50 m
Épaisseur en extrémité : 1.00 m
Surcharge du terrain sur l'arrière : 10.00 kN/m ²
Épaisseur du mur : 0.30 m
Épaisseur de la semelle : 0.40 m
Débords semelle :
- Arrière : 0.40 m
- Avant : 0.40 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 : 30 degrés

Cohésion : 0.00 kN/m²

Pourcentage de frottement terrain-mur : 0 %

Angle de transmission des charges : 45 degrés

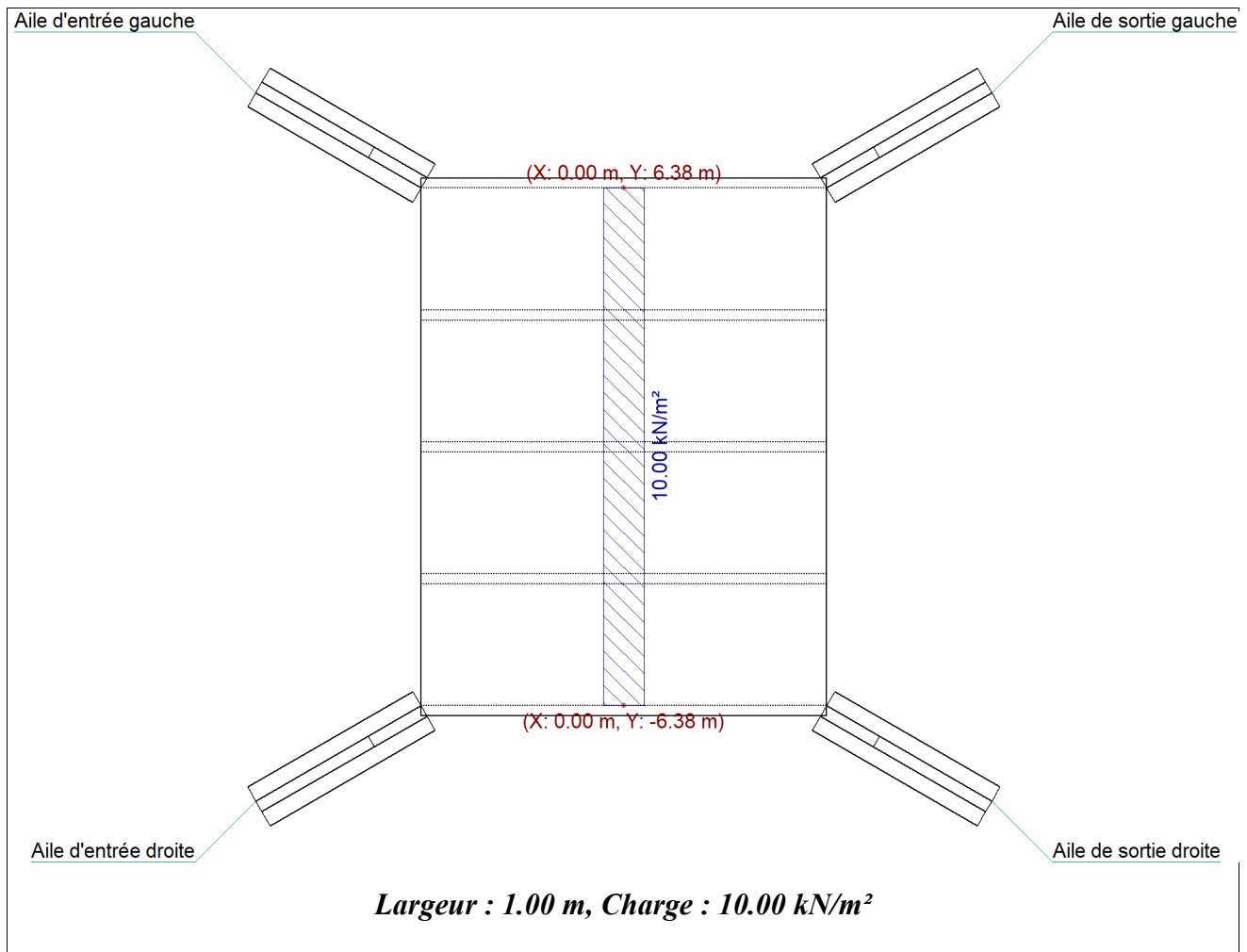
4.- ACTIONS

Surcharge uniforme supérieure : 1.00 kN/m²

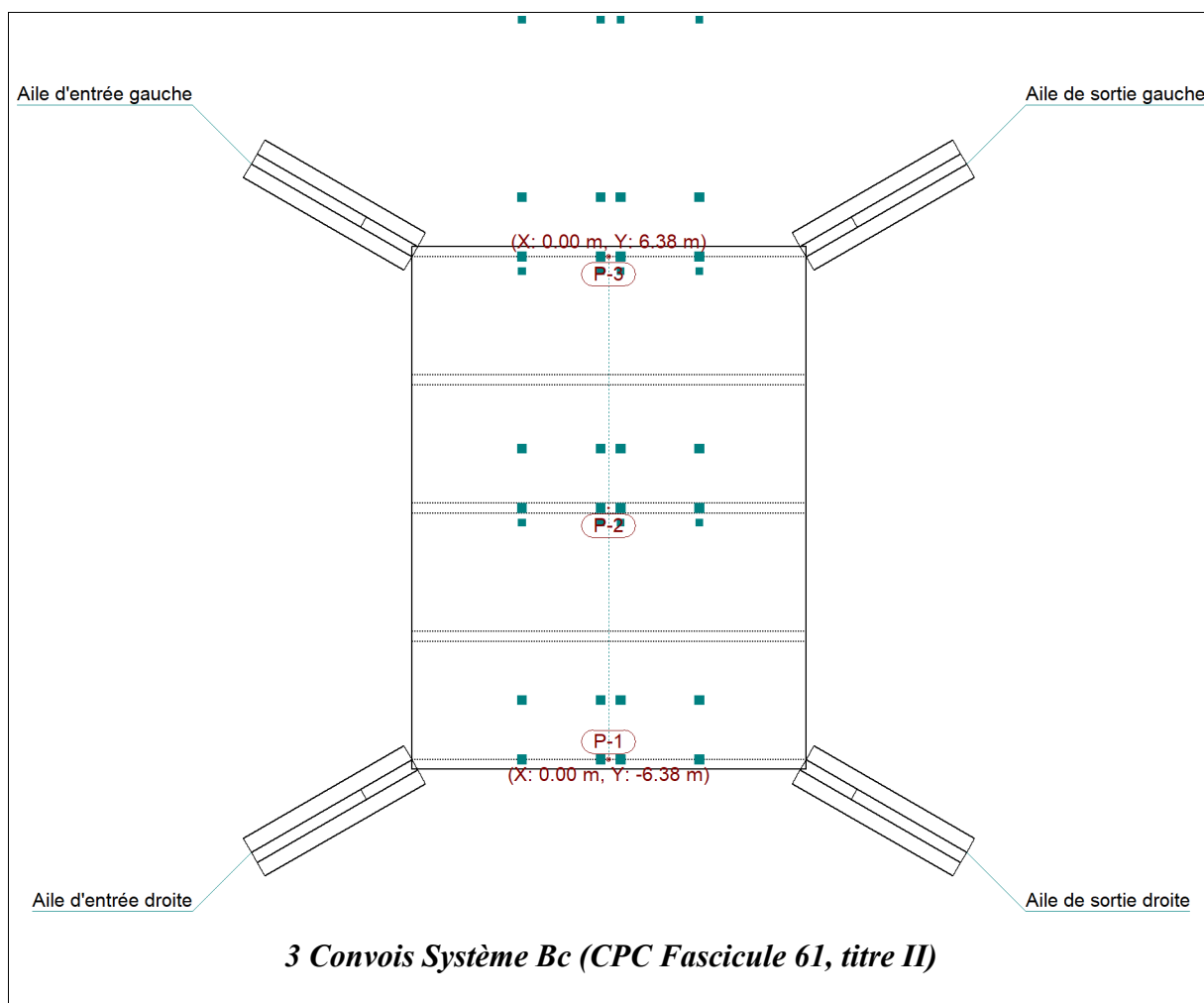
Sans surcharge inférieure

Sans charge hydraulique

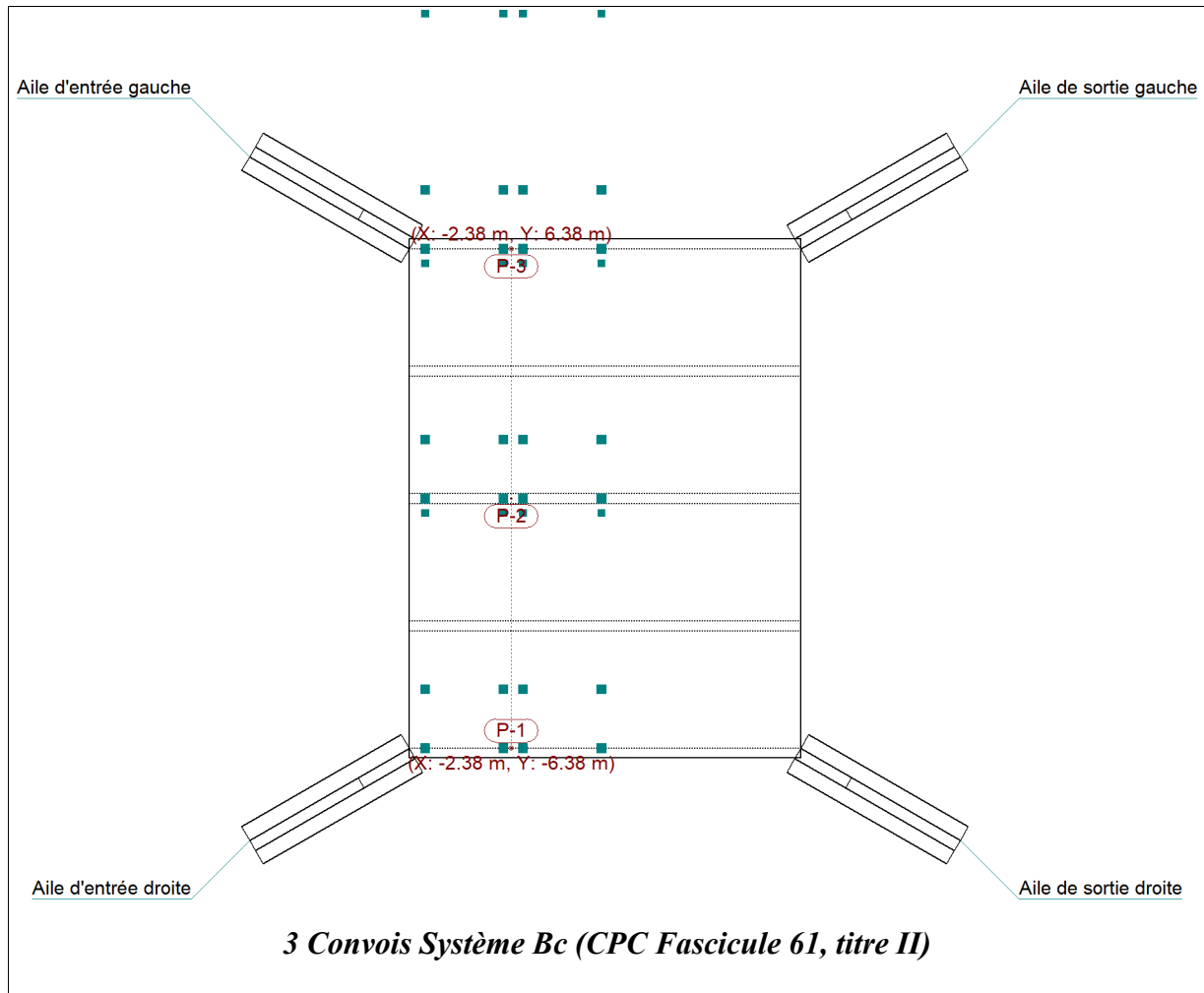
CHARGES EN BANDE



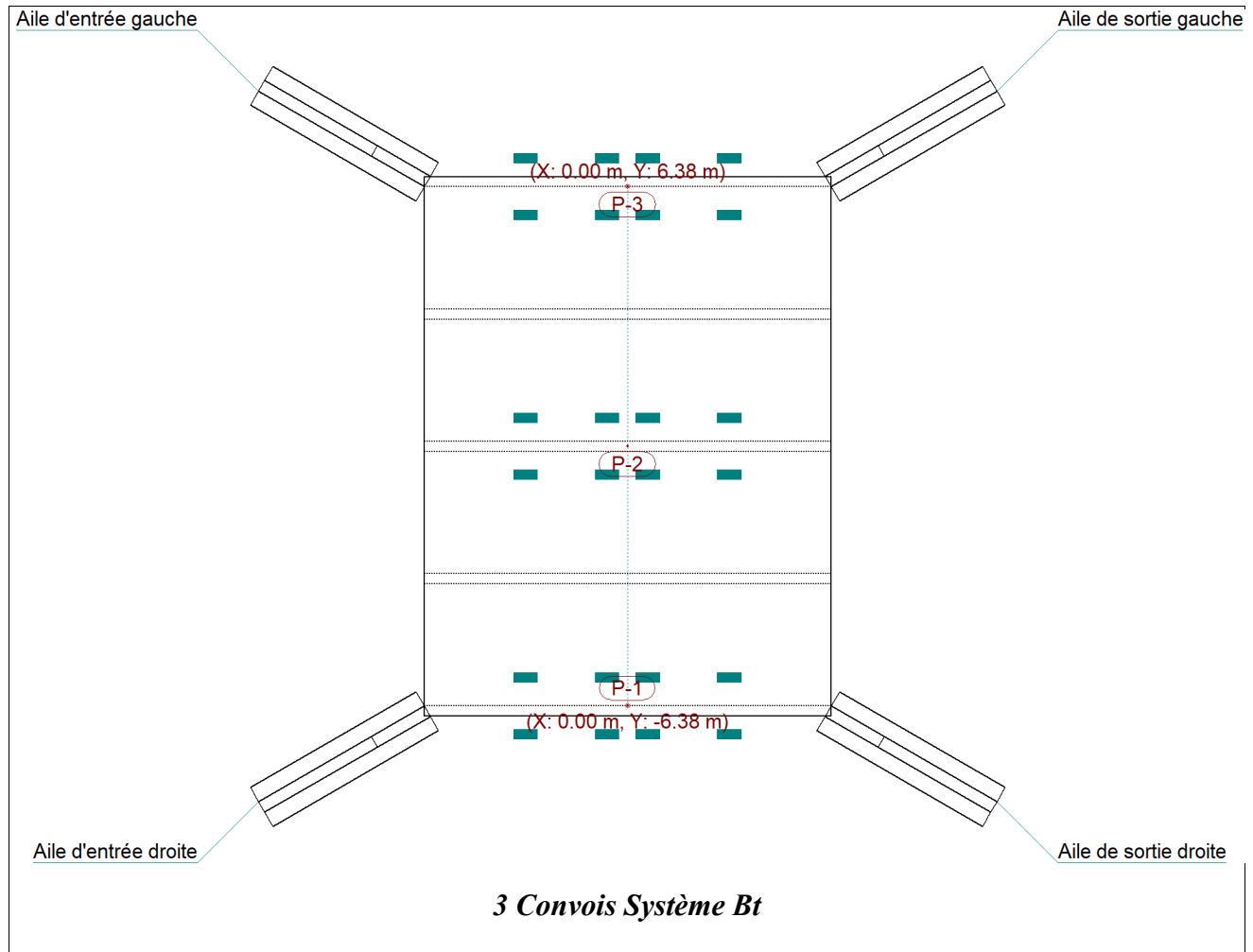
CONVOI DE CHARGE



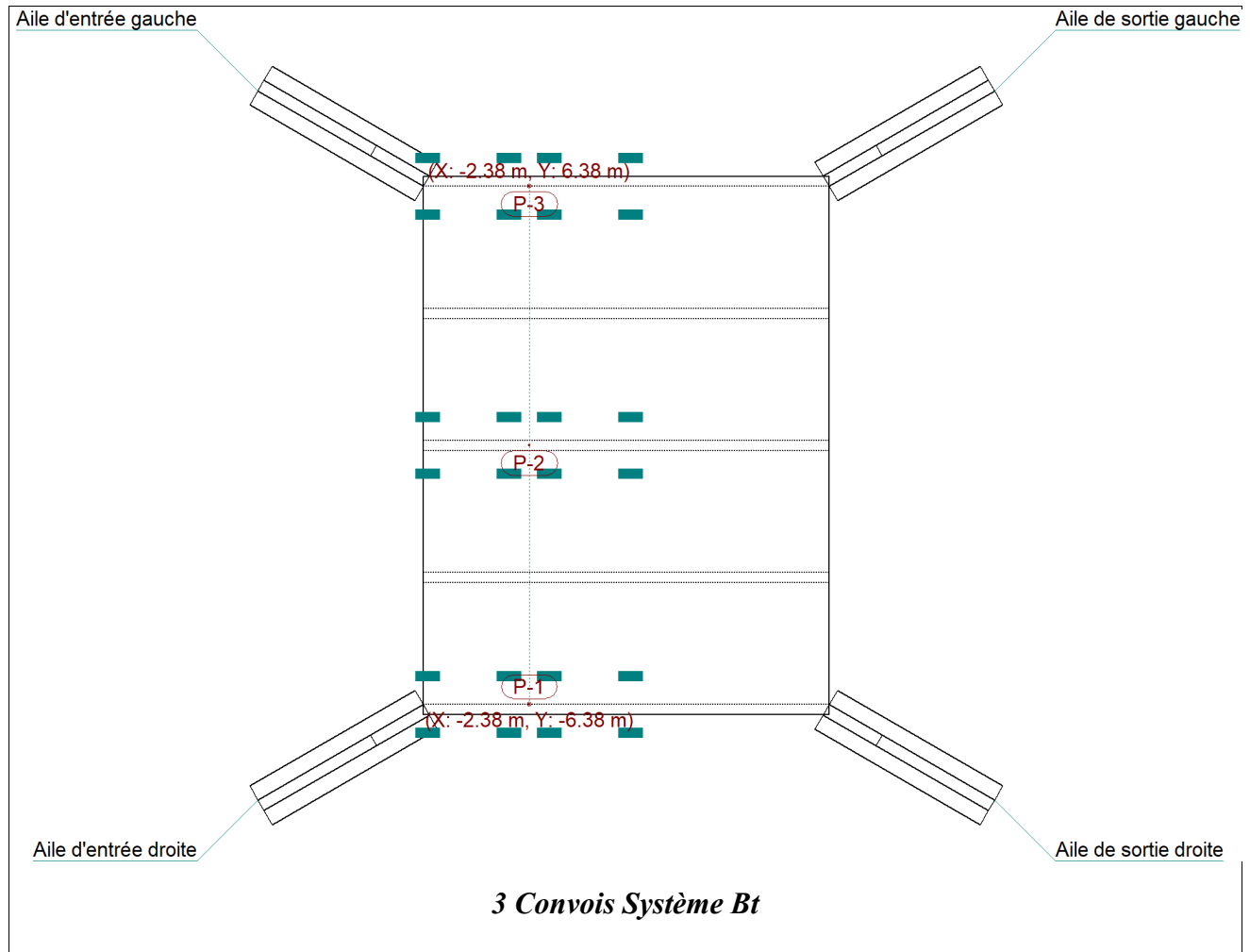
Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).



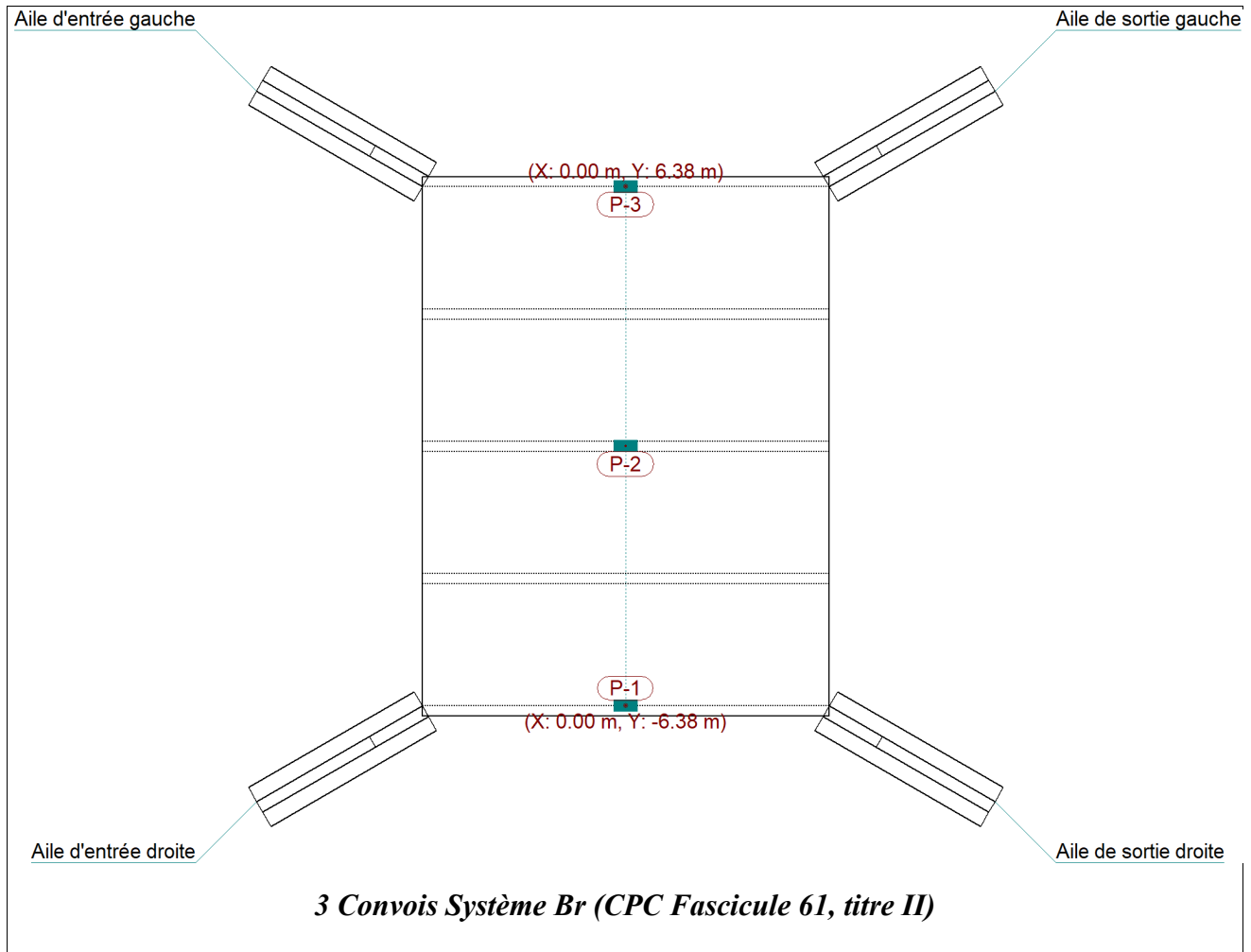
Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).



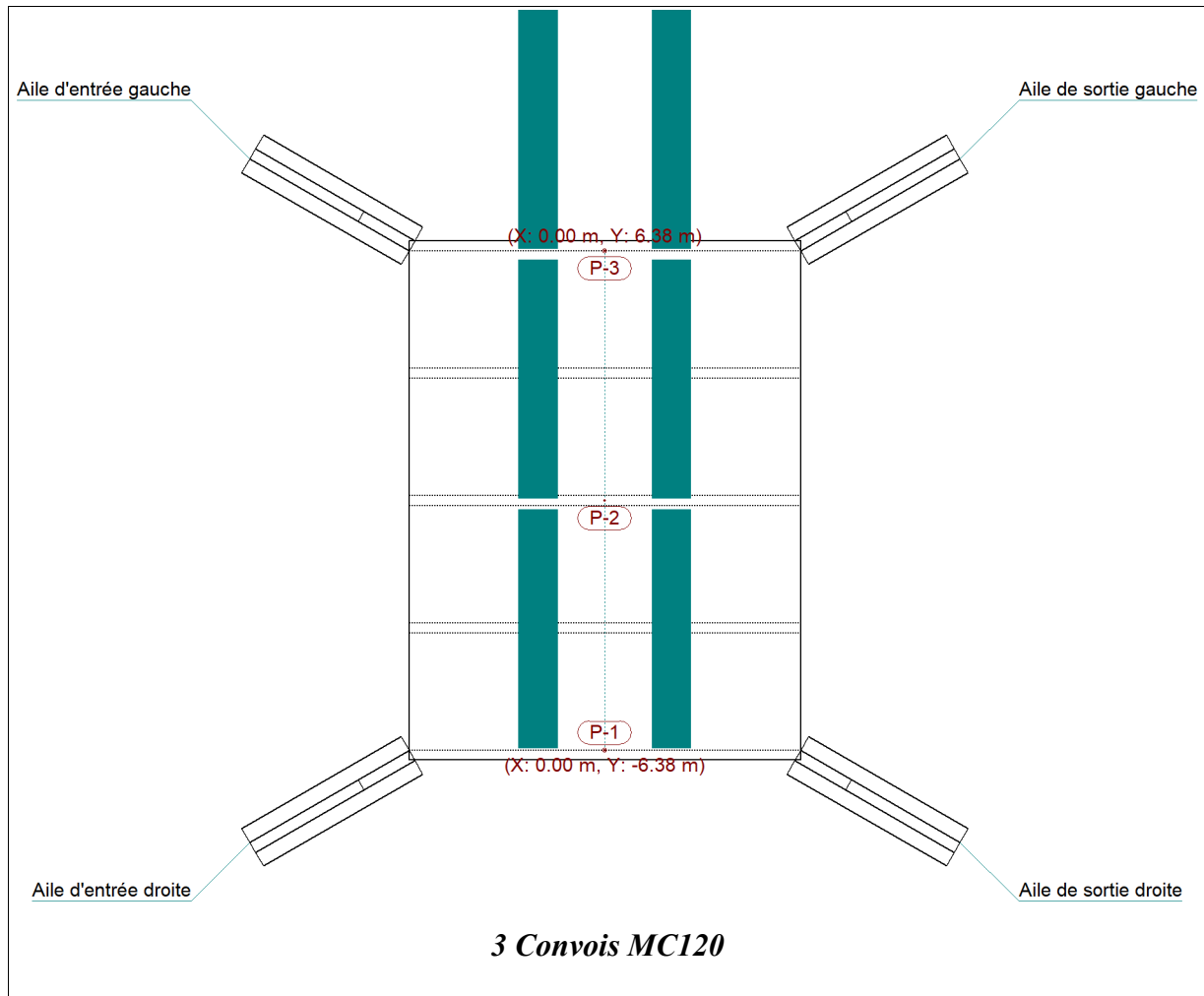
Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).

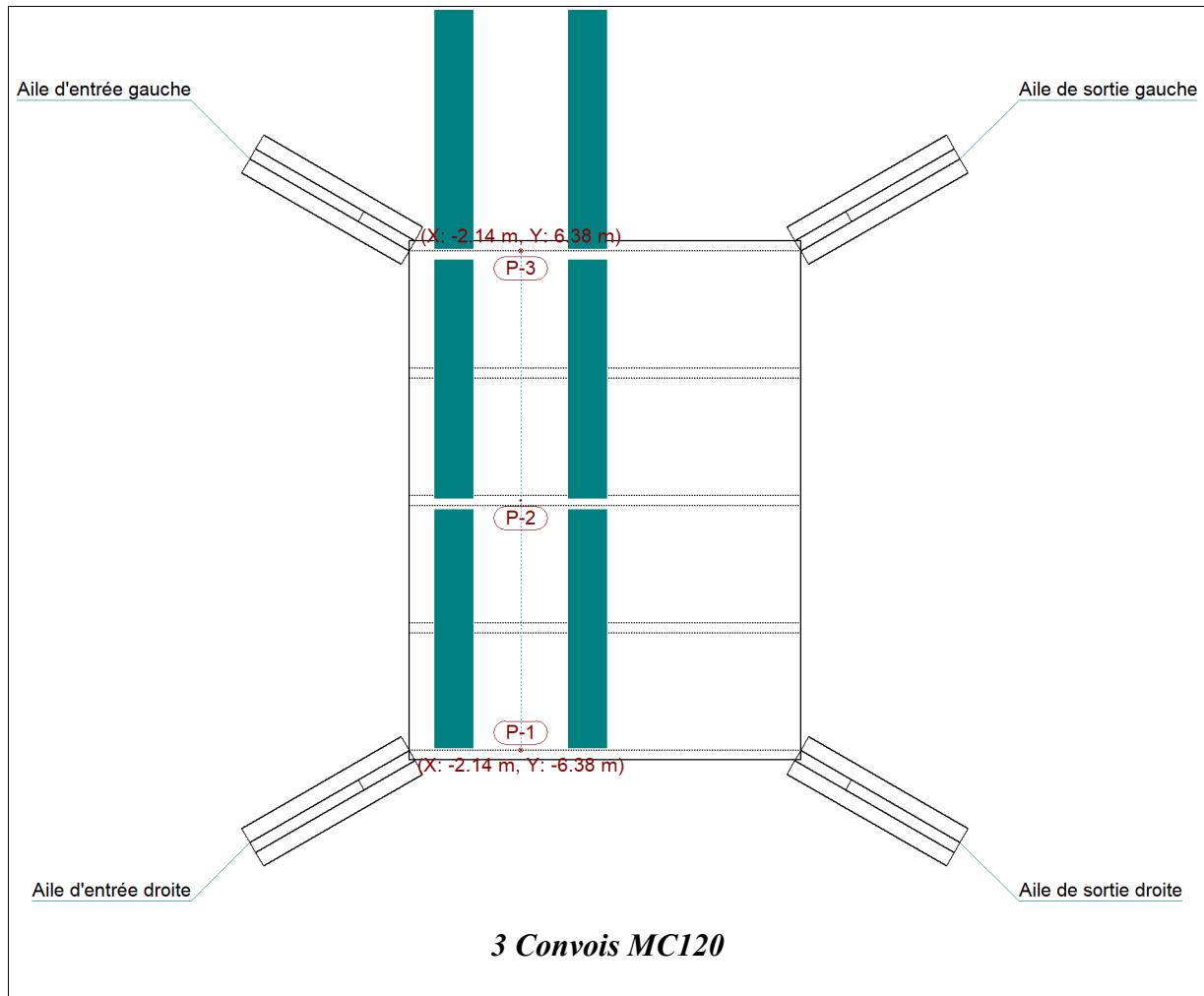


Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).



Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).





5.- MÉTHODE DE CALCUL

Le calcul a été fait à l'aide d'un modèle basé sur des éléments finis de forme triangulaire, représentant une structure en 3D avec des lamelles épaisses, capable de prendre en compte les effets du cisaillement. Chaque élément comporte six points (aux coins et milieux des côtés) et chaque point a six degrés de liberté. Le maillage du pont-cadre dépend de sa taille (épaisseur, portée).

Une fois l'analyse linéaire et élastique faite, on obtient huit efforts au niveau de chaque nœud, qui servent ensuite pour calculer et vérifier la section en béton et les armatures. À partir des déplacements trouvés, on peut aussi contrôler la flèche, les pressions sur le sol, le soulèvement du radier, etc.

6.- Présentation de l'acier utilisé pour le ferrailage.*MODULE*

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA12e=10, crosse=45cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=10, crosse=45cm	
	Inférieur	Longitudinal	HA10e=10, crosse=45cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=10, crosse=45cm	
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA12e=10, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=10, crosse=25cm	
	Supérieur	Longitudinal	HA12e=10, crosse=42cm	
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=10, crosse=25cm	
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	Renfort supérieur : HA10 - Longueur=1.33 m, crosse=45 cm Renfort inférieur : HA12 - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	

**Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).**

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
	Avant	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	Renfort supérieur : HA12 - Longueur=1.33 m, crosse=45 cm Renfort inférieur : HA12 - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
	Avant	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
Mur intermédiaire 1	Gauche	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
	Droite	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	

Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa :
Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort
Mur intermédiaire 2	Gauche	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
	Droite	Vertical	HA12e=20, crosse=45cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=45 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
Mur intermédiaire 3	Gauche	Vertical	HA12e=20, crosse=25cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=100 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	
	Droite	Vertical	HA12e=20, crosse=25cm - Attente=0.21 m - Longueur crosse en pied=100 cm	
		Horizontal	HA12e=20, crosse=45cm	

MUR EN AILE D'ENTRÉE GAUCHE

Armature horizontale : HA10e=10	
Armature longitudinale inférieure : HA10e=10, crosse=40cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA10e=10	Transversal inférieur : HA10e=10
- Recouvrement =0.40m	-Longueur crosse arrière=40cm
- Crosse =40cm	-Longueur crosse avant=40cm
- Ancrage face supérieure =0.20m	
Armature verticale avant : HA10e=10	
- Recouvrement =0.40m	
- Crosse =40cm	
- Ancrage face supérieure =0.20m	

MUR EN AILE D'ENTRÉE DROITE

Armature horizontale : HA10e=10	
Armature longitudinale inférieure : HA10e=10, crosse=45cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA12e=10	Transversal inférieur : HA12e=10
- Recouvrement =0.45m	-Longueur crosse arrière=45cm
- Crosse =45cm	-Longueur crosse avant=45cm
- Ancrage face supérieure =0.30m	
Armature verticale avant : HA12e=10	
- Recouvrement =0.45m	
- Crosse =45cm	
- Ancrage face supérieure =0.30m	

MUR EN AILE DE SORTIE GAUCHE

Armature horizontale : HA10e=10	
Armature longitudinale inférieure : HA10e=10, crosse=40cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA10e=10	Transversal inférieur : HA10e=10
- Recouvrement =0.40m	-Longueur crosse arrière=40cm
- Crosse =40cm	-Longueur crosse avant=40cm
- Ancrage face supérieure =0.40m	
Armature verticale avant : HA10e=10	
- Recouvrement =0.40m	
- Crosse =40cm	
- Ancrage face supérieure =0.40m	

MUR EN AILE DE SORTIE DROITE

Armature horizontale : HA10e=10	
Armature longitudinale inférieure : HA10e=10, crosse=40cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière : HA10e=10	Transversal inférieur : HA10e=10
- Recouvrement =0.40m	-Longueur crosse arrière=40cm
- Crosse =40cm	-Longueur crosse avant=40cm
- Ancrage face supérieure =0.40m	
Armature verticale avant : HA10e=10	
- Recouvrement =0.40m	
- Crosse =40cm	
- Ancrage face supérieure =0.40m	

7.- VÉRIFICATION

Référence : Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité :		
<i>Critère de CYPE</i>		
Semelle superficielle :		
- Coefficient de sécurité au renversement :	Minimum : 1.8 Calculé : 2	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement :	Minimum : 1.5 Calculé : 2	Vérifiée
Épaisseur minimale :	Minimum : 15 cm	
- Semelle superficielle :		
<i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 40 cm	Vérifiée
- Mur :		
<i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement : Guide de conception générale"</i>	Calculé : 30 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales :		
<i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur :		
- Arrière :	Calculé : 9 cm	Vérifiée
- Avant :	Calculé : 9 cm	Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales :		
<i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
Mur :		
- Arrière :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Avant :	Calculé : 10 cm	Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face : <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur :		
- Arrière (0.00 m) :	Calculé : 0.00261	Vérifiée
- Avant (0.00 m) :	Calculé : 0.00261	Vérifiée
Séparation maximale entre barres : <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Semelle superficielle.		
Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Mur :		
- Armature verticale Arrière, vertical :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Séparation minimale entre barres :		
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 10 cm	
<i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum :		
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 0.001	
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Calculé : 0.00196	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal :		
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 0	
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Calculé : 0.00196	Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification au cisaillement en amorce du mur : -Mur : <i>Critère de CYPE</i>	Maximum : 393.7 kN/m Calculé : 44 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face : <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i> Mur : - Arrière : - Avant :	Minimum : 0.00065 Calculé : 0.00261 Calculé : 0.00261	 Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue : Mur : - Arrière (0.00 m) : <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00261	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue : Mur : - Arrière (0.00 m) : <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum : 0.0012 Calculé : 0.00261	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée : Mur : - Avant (0.00 m) : <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00261	Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée : Mur : - Avant (0.00 m) : <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Minimum : 4 cm ² /m Calculé : 7.85 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total : Mur : - (2.25 m) : <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum : 0.05 Calculé : 0.00523	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales : <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur : - Arrière, vertical : - Avant, vertical :	Minimum : 2.5 cm Calculé : 8 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales : - Mur : <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales : - Mur : <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	Vérifiée
Vérification sous flexion composée : - Mur : <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification à l'effort tranchant : -Mur : <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum : 309.1 kN/m Calculé : 36.6 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres : -Mur : <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum : 201.633 MPa Calculé : 153.731 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement : <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur : - Base arrière : - Base avant :	Calculé : 0.4 m Minimum : 0.35 m Minimum : 0.21 m	Vérifiée Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure : <i>Critère de CYPE</i> Mur : - Arrière : - Avant :	Minimum : 18.5 cm Calculé : 20 cm Calculé : 20 cm	Vérifiée Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

Référence : Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité : <i>Critère de CYPE</i> Semelle superficielle : - Coefficient de sécurité au renversement : - Coefficient de sécurité au glissement :	Minimum : 1.8 Calculé : 2 Minimum : 1.5 Calculé : 2	Vérifiée Vérifiée
Épaisseur minimale : - Semelle superficielle : <i>Critère de CYPE</i> - Mur : <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement : Guide de conception générale"</i>	Minimum : 15 cm Calculé : 40 cm Calculé : 30 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales : <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur : - Arrière : - Avant :	Minimum : 3.7 cm Calculé : 9 cm Calculé : 9 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales : <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i> Mur : - Arrière : - Avant :	Maximum : 25 cm Calculé : 10 cm Calculé : 10 cm	Vérifiée Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face : <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur :		
- Arrière (0.00 m) :	Calculé : 0.00261	Vérifiée
- Avant (0.00 m) :	Calculé : 0.00261	Vérifiée
Séparation maximale entre barres : <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Semelle superficielle.		
Armature longitudinale inférieure :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Mur :		
- Armature verticale Arrière, vertical :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical :	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Séparation minimale entre barres :		
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 10 cm	
<i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum :		
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 0.001	
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Calculé : 0.00196	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal :		
Semelle superficielle :		
- Armature longitudinale inférieure :	Minimum : 0	
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Calculé : 0.00196	Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification au cisaillement en amorce du mur : -Mur : <i>Critère de CYPE</i>	Maximum : 498 kN/m Calculé : 44 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face : <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i> Mur : - Arrière : - Avant :	Minimum : 0.00094 Calculé : 0.00261 Calculé : 0.00261	Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue : Mur : - Arrière (0.00 m) : <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00377	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue : Mur : - Arrière (0.00 m) : <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum : 0.0012 Calculé : 0.00377	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée : Mur : - Avant (0.00 m) : <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00377	Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée : Mur : - Avant (0.00 m) : <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	 Minimum : 4 cm ² /m Calculé : 11.31 cm ² /m	 Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total : Mur : - (2.25 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	 Maximum : 0.05 Calculé : 0.00754	 Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales : <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur : - Arrière, vertical : - Avant, vertical :	 Minimum : 2.5 cm Calculé : 7.6 cm Calculé : 7.6 cm	 Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales : - Mur : <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	 Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	 Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales : - Mur : <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	 Minimum : 0.6 cm Calculé : 1.2 cm	 Vérifiée
Vérification sous flexion composée : - Mur : <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		 Vérifiée

Référence : Mur en aile d'entrée droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification à l'effort tranchant : -Mur : <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum : 308 kN/m Calculé : 36.6 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres : -Mur : <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum : 201.633 MPa Calculé : 108.785 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement : <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur : - Base arrière : - Base avant :	Calculé : 0.45 m Minimum : 0.42 m Minimum : 0.25 m	Vérifiée Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure : <i>Critère de CYPE</i> Mur : - Arrière : - Avant :	Minimum : 18.4 cm Calculé : 30 cm Calculé : 30 cm	Vérifiée Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
Tablier : - Armature (Longitudinal): - Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Transversal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 1.84 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 1379	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Longitudinal:	Calculé : 1691	Vérifiée
- Transversal:	Calculé : 1732	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum : 100	
	Calculé : 46	Vérifiée
- Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 45 cm	
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum : 25 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum : 35 cm	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 9 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Armature de base transversale extérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Radier:		
- Armature (Longitudinal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature (Transversal):		
- Ratio minimal supérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal inférieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 1.13 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 1874	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Longitudinal:	Calculé : 2781	Vérifiée
- Transversal:	Calculé : 2761	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum : 100	
	Calculé : 38	Vérifiée
- Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum : 25 cm	
	Calculé : 25 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum : 13 cm	
	Calculé : 25 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum : 42 cm	
	Calculé : 42 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum : 42 cm	
	Calculé : 42 cm	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base transversale extérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 19 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Armature de base transversale extérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature de base transversale intérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale extérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature de base longitudinale intérieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Piédroit gauche:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 0.2 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 2781	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Vertical:	Calculé : 47634	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé : 9526	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum : 100	
	Calculé : 35	Vérifiée
- Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 45 cm	
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum : 25 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base extérieure:	Minimum : 20 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Renfort extérieur supérieur:	Minimum : 18 cm	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Attente renfort extérieur supérieur:	Minimum : 20 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum : 25 cm	
- Attente armature de base extérieure:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Armature de base verticale extérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Piédroit droit:		

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal intérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal extérieur:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 0.24 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 2522	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Vertical:	Calculé : 8050	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé : 40252	Vérifiée
- Élancement mécanique:	Maximum : 100	
	Calculé : 35	Vérifiée
- Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 45 cm	
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum : 25 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum : 13 cm	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Attente armature de base extérieure:	Minimum : 20 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Renfort extérieur supérieur:	Minimum : 25 cm	Vérifiée
- Attente renfort extérieur supérieur:	Minimum : 20 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum : 25 cm	
- Attente armature de base extérieure:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Attente armature de base intérieure:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale extérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature extérieure - intérieure:	Minimum : 2 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature de base verticale extérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale intérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale extérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale intérieure:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Mur intermédiaire 1:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 0.13 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 9261	Vérifiée
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Vertical:	Calculé : 14400	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé : 72002	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
-Élancement mécanique:	Maximum : 100 Calculé : 35	Vérifiée
-Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 45 cm	
-Armature de base verticale gauche:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
-Armature de base verticale droite:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
-Attente armature de base gauche:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
-Attente armature de base droite:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
-Armature de base horizontale gauche:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
-Armature de base horizontale droite:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
-Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum : 25 cm	
-Attente armature de base gauche:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
-Attente armature de base droite:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
-Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
-Armature de base verticale gauche:	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
-Armature de base verticale droite:	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
-Armature de base horizontale gauche:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
-Armature de base horizontale droite:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature gauche - droite:	Minimum : 2 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Mur intermédiaire 2:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 0.13 mm	Vérifiée
- Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150 Calculé : 6316	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Flèche relative:	Minimum : 250	
- Vertical:	Calculé : 72864	Vérifiée
- Horizontal:	Calculé : 14572	Vérifiée
- Élançement mécanique:	Maximum : 100	
	Calculé : 35	Vérifiée
- Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Calculé : 45 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base gauche:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Minimum : 13 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum : 42 cm	Vérifiée
- Longueur de recouvrement:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum : 25 cm	
- Attente armature de base gauche:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres:		
<i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum : 2 cm	
	Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum : 2 cm	
	Calculé : 18 cm	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature gauche - droite:	Minimum : 2 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Mur intermédiaire 3:		
- Armature (Vertical):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Armature (Horizontal):		
- Ratio minimal gauche:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Ratio minimal droit:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment positif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Flexion composée moment négatif:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Effort tranchant maximum:	Vérification à 100%	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
-Déplacement maximum.	Maximum : 50 mm	
Perpendiculaire au plan du plancher:	Calculé : 0.13 mm	Vérifiée
-Distorsion angulaire maximale:	Minimum : 150	
	Calculé : 5245	Vérifiée
-Flèche relative:	Minimum : 250	
-Vertical:	Calculé : 14764	Vérifiée
-Horizontal:	Calculé : 73822	Vérifiée
-Élancement mécanique:	Maximum : 100	
	Calculé : 35	Vérifiée
-Longueur d'ancrage:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
-Armature de base verticale gauche:	Minimum : 13 cm	
	Calculé : 25 cm	Vérifiée
-Armature de base verticale droite:	Minimum : 13 cm	
	Calculé : 25 cm	Vérifiée
-Attente armature de base gauche:	Minimum : 13 cm	
	Calculé : 100 cm	Vérifiée
-Attente armature de base droite:	Minimum : 13 cm	
	Calculé : 100 cm	Vérifiée
-Armature de base horizontale gauche:	Minimum : 42 cm	
	Calculé : 45 cm	Vérifiée
-Armature de base horizontale droite:	Minimum : 42 cm	
	Calculé : 45 cm	Vérifiée
-Longueur de recouvrement:		
<i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>	Minimum : 25 cm	

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
- Attente armature de base gauche:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Attente armature de base droite:	Calculé : 30 cm	Vérifiée
- Séparation minimale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>		
- Armature de base verticale gauche:	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Minimum : 2 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Minimum : 3 cm Calculé : 18 cm	Vérifiée
- Armature gauche - droite:	Minimum : 2 cm Calculé : 14 cm	Vérifiée
- Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Armature de base verticale gauche:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base verticale droite:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale gauche:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
- Armature de base horizontale droite:	Calculé : 20 cm	Vérifiée
Terrain:		
- Soulèvement:	Vérification à 100%	Vérifiée
- Contrainte admissible:	Maximum : 200 kN/m ² Calculé: 101.832 kN/m ²	Vérifiée

Référence : Module		
Vérification	Valeurs	État
Toutes les conditions sont vérifiées		

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i>		
Semelle superficielle:		
- Marge de sécurité contre basculement:	Minimum : 1.8 Calculé : 2	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum : 1.5 Calculé : 2	Vérifiée
Épaisseur minimale:	Minimum : 15 cm	
- Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 40 cm	Vérifiée
- Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Calculé : 30 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum : 3.7 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé : 9 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 9 cm	Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
Mur:		

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
- Arrière:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum : 0.0015	
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Calculé : 0.00261	Vérifiée
- Avant (0.00 m):	Calculé : 0.00261	Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum : 25 cm	
- Semelle superficielle.		
Armature longitudinale inférieure:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Mur:		
- Armature verticale Arrière, vertical:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant, vertical:	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Séparation minimale entre barres:		
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure:	Minimum : 10 cm	
<i>Critère de CYPE</i>	Calculé : 10 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:		
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure:	Minimum : 0.001	
<i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Calculé : 0.00196	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage mécanique minimal: Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0 Calculé : 0.00196	Vérifiée
Vérification au cisaillement en amorce du mur: - Mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum : 393.7 kN/m Calculé : 44 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i> Mur: - Arrière: - Avant:	Minimum : 0.00065 Calculé : 0.00261 Calculé : 0.00261	Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00261	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum : 0.0012 Calculé : 0.00261	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00261	Vérifiée
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Minimum : 4 cm ² /m Calculé : 7.85 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (2.25 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum : 0.05 Calculé : 0.00523	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Minimum : 2.5 cm Calculé : 8 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie gauche		
Vérification	Valeurs	État
Vérification sous flexion composée: -Mur: <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		Vérifiée
Vérification à l'effort tranchant: -Mur: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum : 309.1 kN/m Calculé : 36.6 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: -Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum : 201.633 MPa Calculé : 153.731 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur: -Base arrière: -Base avant:	Calculé : 0.4 m Minimum : 0.35 m Minimum : 0.21 m	Vérifiée Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: <i>Critère de CYPE</i> Mur: -Arrière: -Avant:	Minimum : 18.5 cm Calculé : 40 cm Calculé : 40 cm	Vérifiée Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Critère de CYPE</i> Semelle superficielle: - Coefficient de sécurité au renversement: - Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum : 1.8 Calculé : 2 Minimum : 1.5 Calculé : 2	Vérifiée Vérifiée
Épaisseur minimale: - Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i> - Mur: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Minimum : 15 cm Calculé : 40 cm Calculé : 30 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière: - Avant:	Minimum : 3.7 cm Calculé : 9 cm Calculé : 9 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i> Mur: - Arrière: - Avant:	Maximum : 25 cm Calculé : 10 cm Calculé : 10 cm	Vérifiée Vérifiée

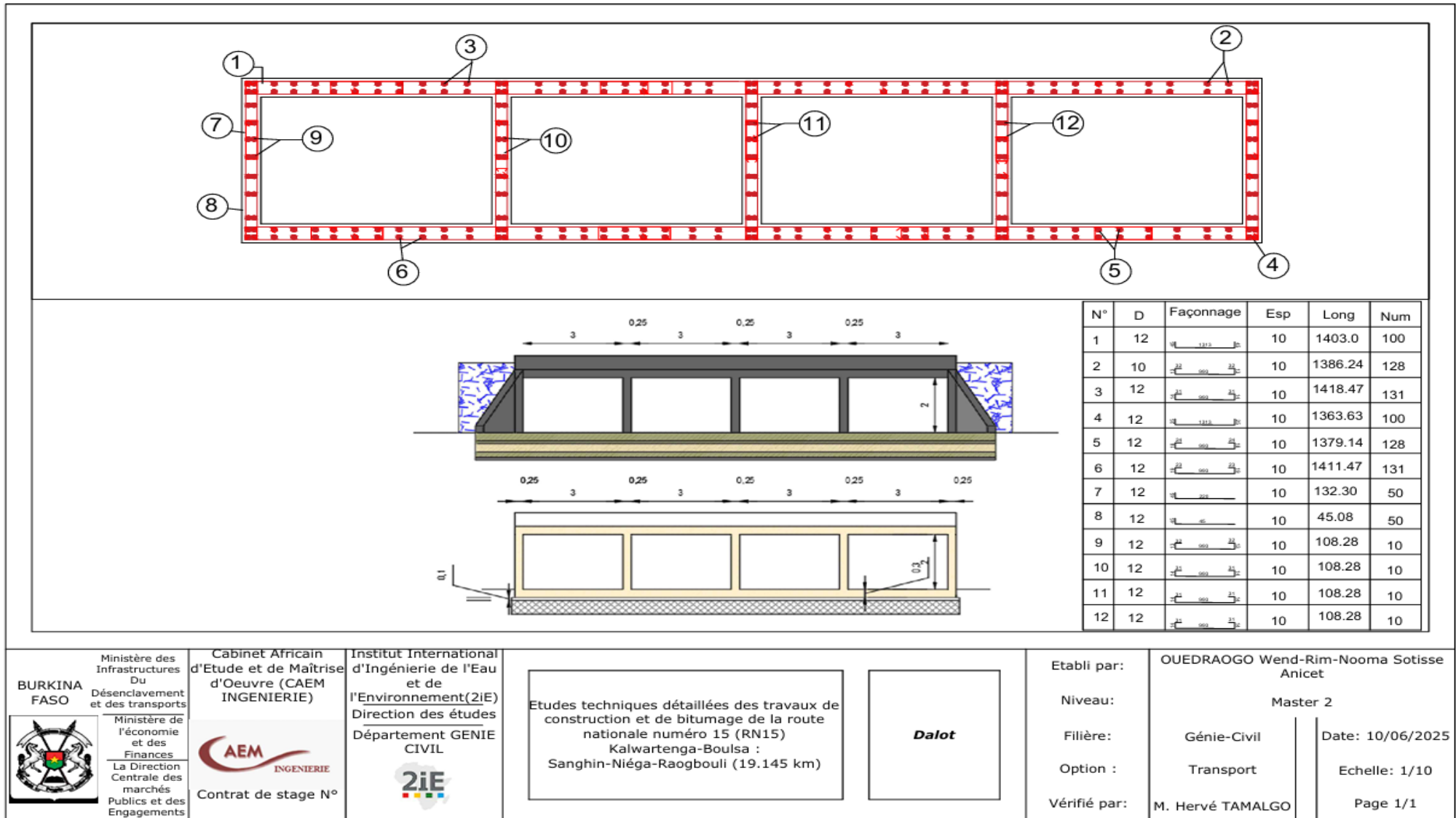
Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i> Mur: - Arrière (0.00 m): - Avant (0.00 m):	Minimum : 0.0015 Calculé : 0.00261 Calculé : 0.00261	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i> - Semelle superficielle. Armature longitudinale inférieure: - Mur: - Armature verticale Arrière, vertical: - Armature verticale Avant, vertical:	Maximum : 25 cm Calculé : 10 cm Calculé : 10 cm Calculé : 10 cm	Vérifiée Vérifiée Vérifiée
Séparation minimale entre barres: Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum : 10 cm Calculé : 10 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum: Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00196	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal: Semelle superficielle: - Armature longitudinale inférieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum : 0 Calculé : 0.00196	Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification au cisaillement en amorce du mur: -Mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum : 393.7 kN/m Calculé : 44 kN/m	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i> Mur: - Arrière: - Avant:	Minimum : 0.00065 Calculé : 0.00261 Calculé : 0.00261	Vérifiée Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00261	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: Mur: - Arrière (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum : 0.0012 Calculé : 0.00261	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum : 0.001 Calculé : 0.00261	Vérifiée

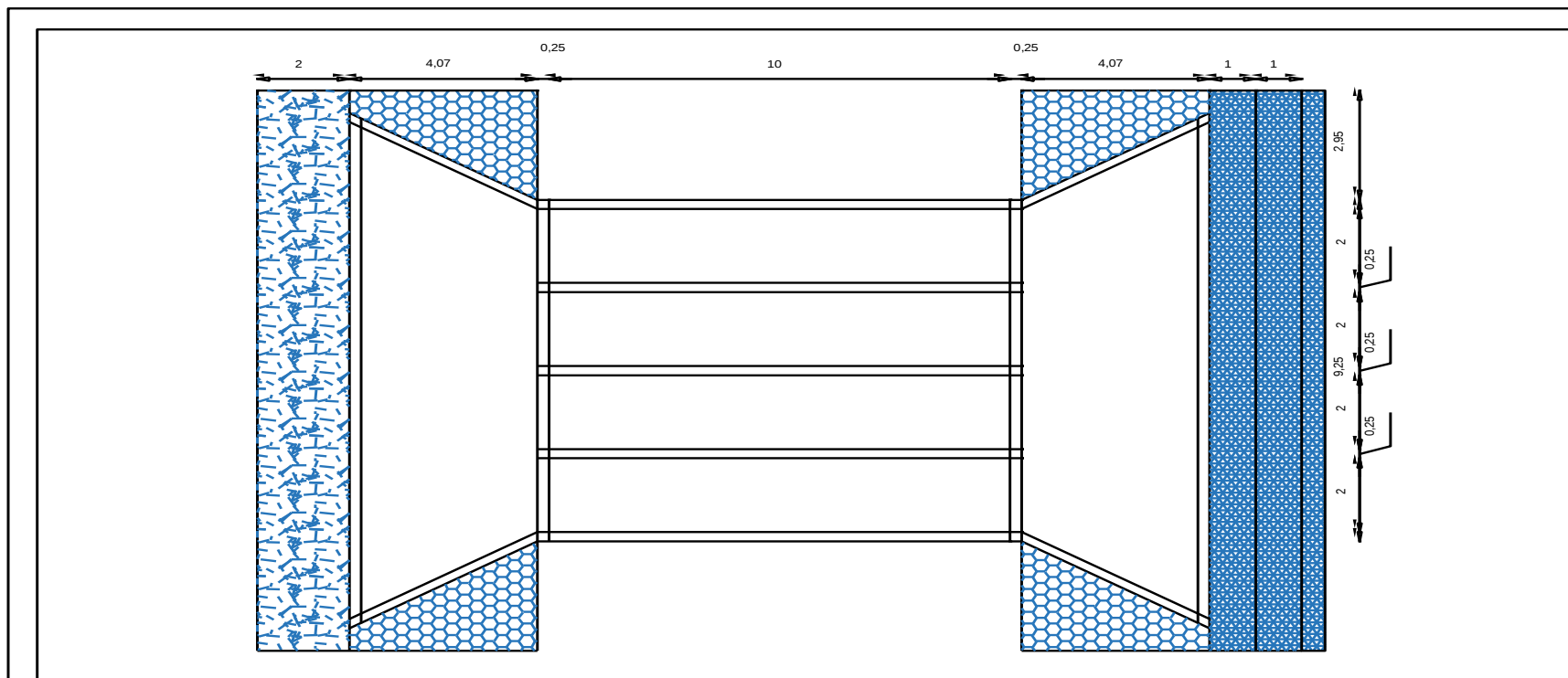
Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée: Mur: - Avant (0.00 m): <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Minimum : 4 cm ² /m Calculé : 7.85 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: Mur: - (2.25 m): <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum : 0.05 Calculé : 0.00523	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> Mur: - Arrière, vertical: - Avant, vertical:	Minimum : 2.5 cm Calculé : 8 cm Calculé : 8 cm	Vérifiée Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum : 0.6 cm Calculé : 1 cm	Vérifiée
Vérification sous flexion composée: - Mur: <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		Vérifiée

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification à l'effort tranchant: -Mur: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum : 309.1 kN/m Calculé : 36.6 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: -Mur: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum : 201.633 MPa Calculé : 153.731 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i> Mur: - Base arrière: - Base avant:	Calculé : 0.4 m Minimum : 0.35 m Minimum : 0.21 m	Vérifiée Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: <i>Critère de CYPE</i> Mur: - Arrière: - Avant:	Minimum : 18.5 cm Calculé : 40 cm Calculé : 40 cm	Vérifiée Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

3. Plan d'exécution

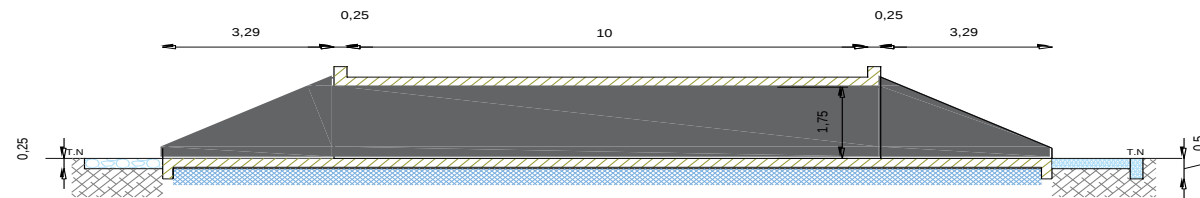


Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Niéga-Raogbouli (19,145km).



BURKINA FASO Ministère des Infrastructures Du Désenclavement et des transports Ministère de l'économie et des Finances La Direction Centrale des marchés Publics et des Engagements	Cabinet Africain d'Etude et de Maîtrise d'Oeuvre (CAEM INGENIERIE) AEM INGENIERIE Contrat de stage N°	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement(2iE) Direction des études Département GENIE CIVIL 2iE	Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Niéga-Raogbouli (19.145 km)	Vue en plan	Etabli par: OUEDRAOGO Wend-Rim-Nooma Sotisse Anicet	
					Niveau: Master 2	
					Filière: Génie-Civil	Date: 10/06/2025
					Option : Transport	Echelle: 1/10
					Vérifié par: M. Hervé TAMALGO	Page 1/1

Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).



	Ministère des Infrastructures Du Désenclavement et des transports		Cabinet Africain d'Etude et de Maîtrise d'Oeuvre (CAEM INGENIERIE)	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) Direction des études Département GENIE CIVIL		Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Nièga-Raogbouli (19.145 km)	Coupe longitudinale B-B	Etabli par:	OUEDRAOGO Wend-Rim-Nooma Sotisse Anicet	
	Ministère de l'économie et des Finances La Direction Centrale des marchés Publics et des Engagements							Niveau:	Master 2	
								Filière:	Génie-Civil	Date: 10/06/2025
								Option :	Transport	Echelle: 1/10
								Vérifié par:	M. Hervé TAMALGO	Page 1/1

ANNEXE IV: SIGNALISATIONS ROUTIERES

Nomenclature des panneaux :

Panneaux	Description	Nomenclature
	AB4	Arrêt obligatoire à l'intersection
	-	Feu tricolore
	C27	Présence du ralentisseur de type dos-d'âne
	A2b	Annonceur de la présence de ralentisseur de type dos-d'âne
 A1c	A1c	Succession de virages
	A1b	Virage dangereux à gauche
	A1a	Virage dangereux à droite
	A13a	Endroit fréquenté par les enfants
	C20a	Passage piéton
	A13b	Proximité d'un passage piéton

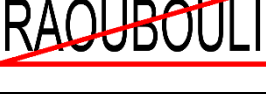
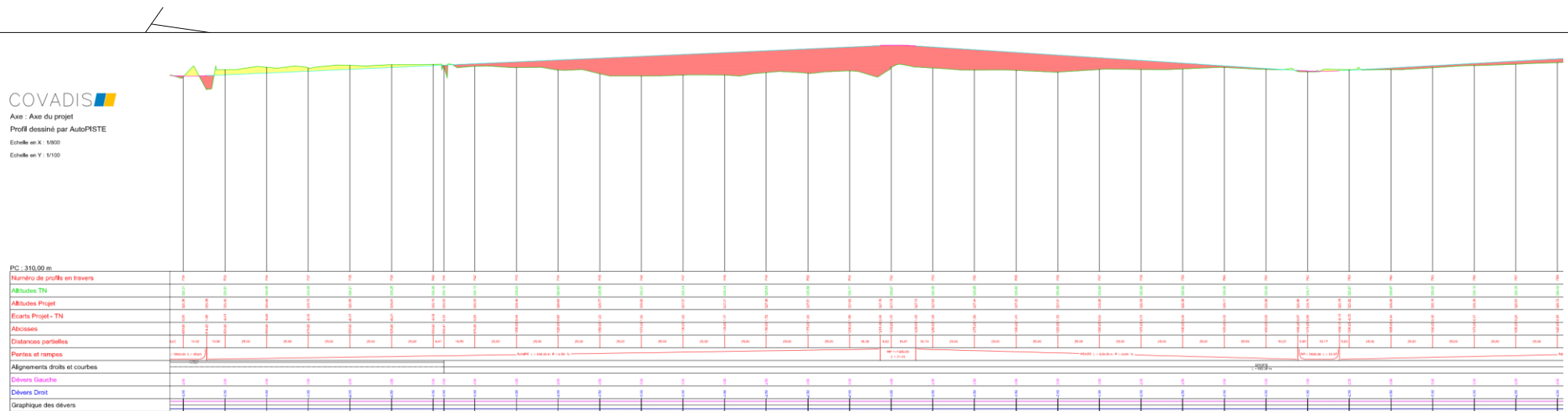
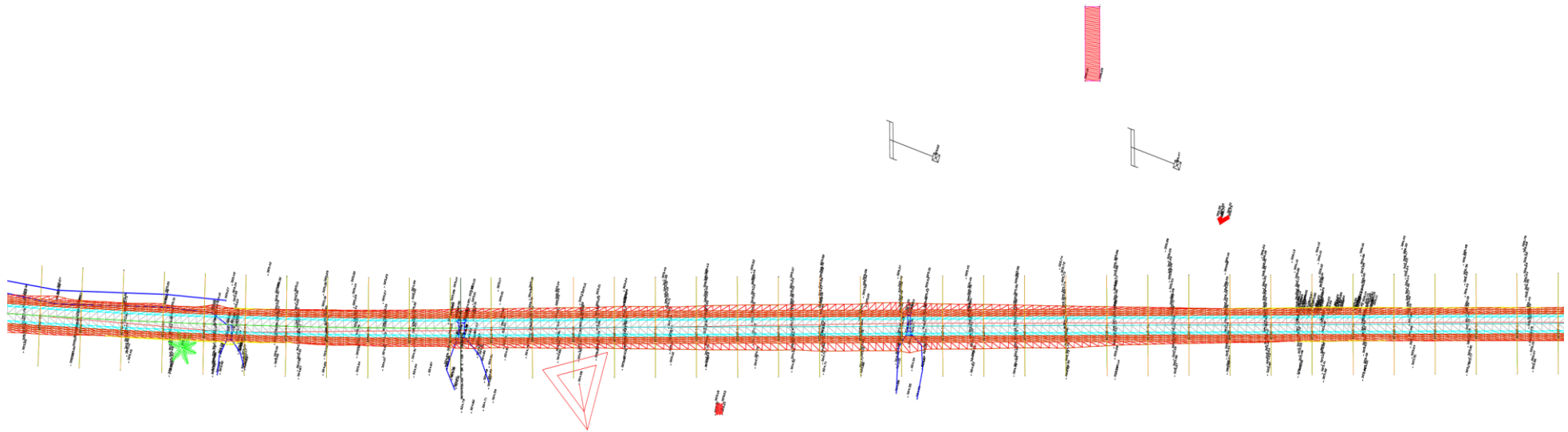
	BK3	Interdiction de déplacer les véhicules à moteur autre que ceux à deux roues
	B34	Fin de l'interdiction de déplacer les véhicules à moteur autre que ceux à deux roues
	B14	Limitation de vitesse à 50km/h
	B33	Fin de la limitation de vitesse à 50km/h
	EB10	Panneau d'entrée dans la ville de SANGHIN
	EB20	Panneau de sortie de la ville de SANGHIN
	EB10	Panneau d'entrée dans la ville de NIEGA
	EB20	Panneau de sortie de la ville de NIEGA
	EB10	Panneau d'entrée dans la ville de RAOUBOULI
	EB20	Panneau de sortie de la ville de RAOUBOULI

Tableau 13: Nomenclature des panneaux de signalisation

ANNEXE V:Plans type de géométrie de projet : tracés combinés y compris aménagement

Etudes techniques détaillées des travaux de construction et de bitumage de la route nationale numéro 15 (RN15) Kalwartenga-Boulsa : Sanghin-Nièga-Raogbouli (19,145km).



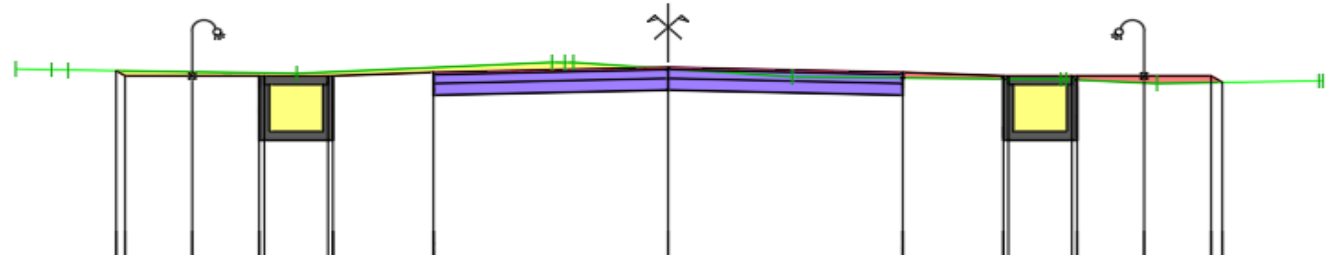
COVADIS
Profil dessiné par AutoPISTE

Axe : Axe du projet
Profil n°: P02
Abscisse : 25.00 m
Echelle des longueurs : 1/100
Echelle des altitudes : 1/100

- Remblai
- Déblai
- BB
- BETON
- GRAVELEUX LATÉRITIQUE

Dévers Gauche 2.50 %
Dévers Droite -2.50 %
X= 768783.59
Y= 1394081.61
Gisement : 284.19 gr

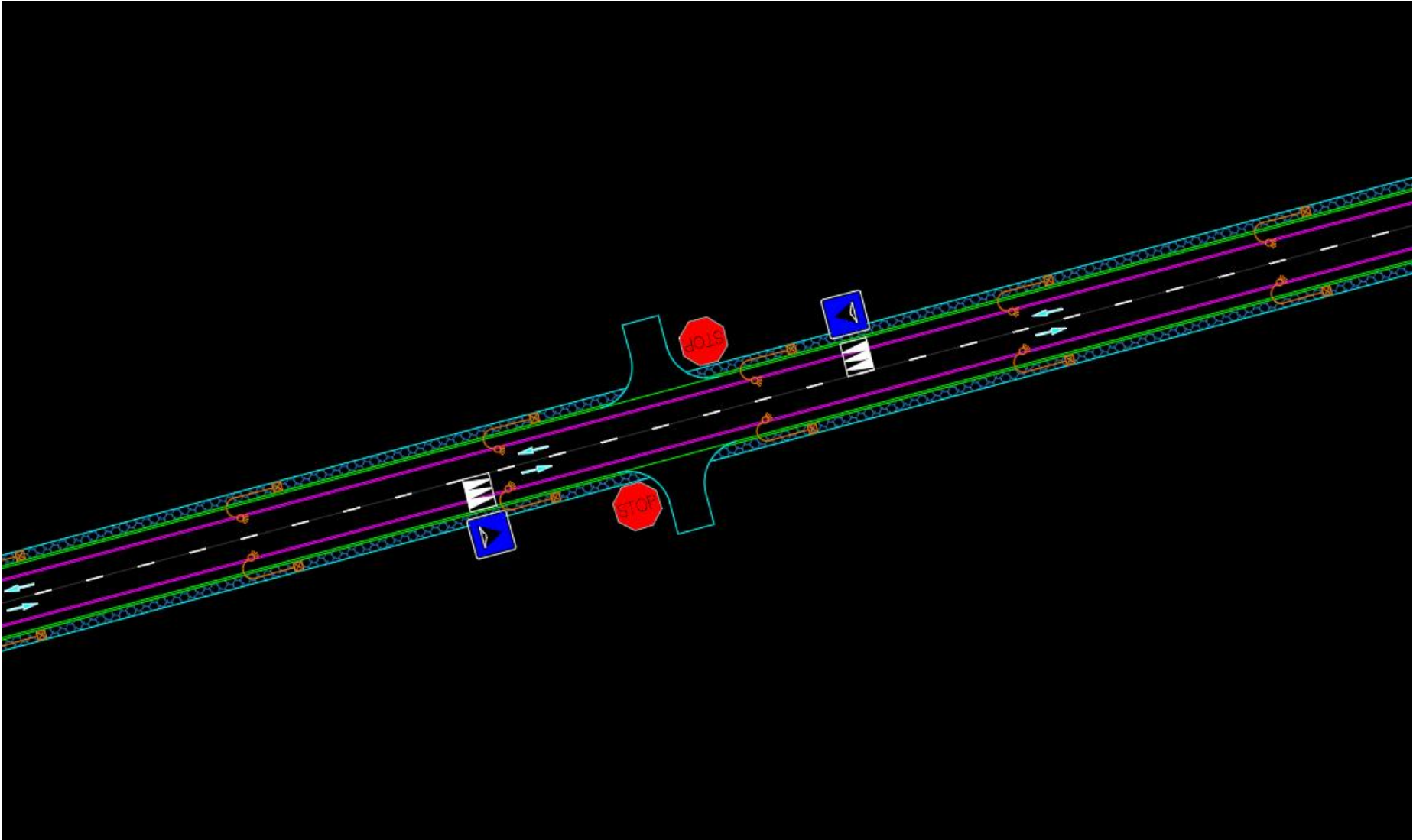
PC : 324.00 m

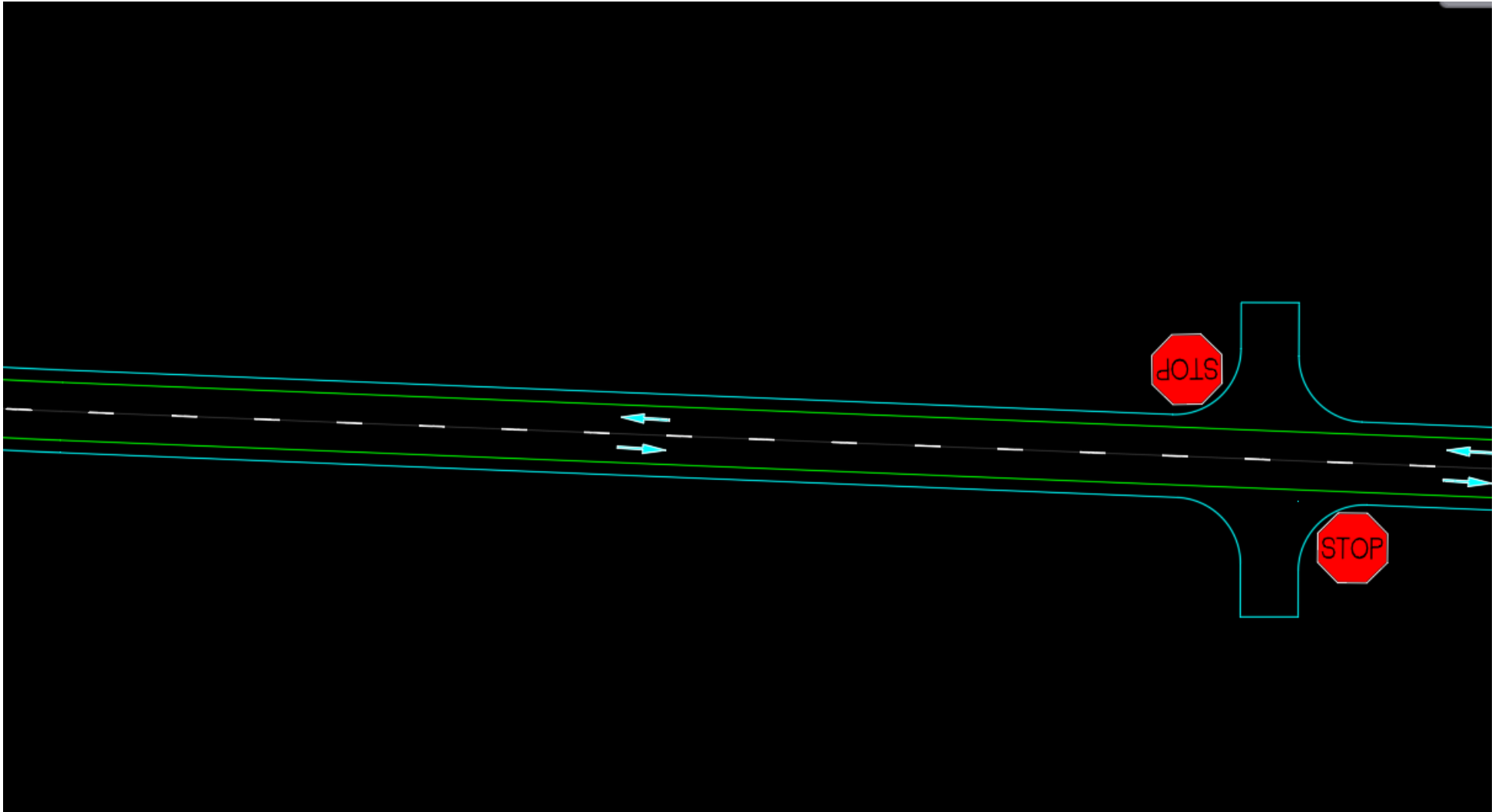


Altitudes TN	327.28	327.25	327.24	327.19	327.27	327.27	327.19	327.09	327.01	327.08
Distances à l'axe TN	-4.73	-0.20	-0.04	-5.64	-1.24	-1.44	1.06	8.64	7.20	9.77
Altitudes Projet	327.23	327.14	327.14	327.14	327.20	327.20	327.20	327.14	327.14	327.08
Distances à l'axe Projet	-4.73	-7.10	-0.03	-0.03	-0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Distances partielles Projet	1.00	1.00	0.55	1.00	3.00	3.00	1.50	0.50	1.00	1.00
Distances à l'axe Arase	4.73	7.10	4.10	4.10	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Altitude Arase	327.14	327.14	327.14	327.14	327.20	327.20	327.20	327.14	327.14	327.08

Date : 19/06/2025

Fichier : Axe mémoire





ANNEXE VI : Devis quantitatif et estimatif

Tableau 14: Cadre du devis quantitatif et estimatif

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU PROJET					
N°	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix Total
1	Travaux préparatoires				
2	Installation du chantier	ff	1,00	350 000 000	350 000 000
3	Amené et repli du matériel	ff	1,00	127 268 000	127 268 000
4	Laboratoire du chantier	ff	1,00	12 000 000	12 000 000
	Sous total				489 268 000
100	Démolitions				
101	Démolition des ouvrages en béton armé	u	7,00	45 000	315 000
102	Démolition des ouvrages en maçonnerie	u	20,00	33 000	660 000
	Sous total				975 000
200	PREPARATION DU TERRAIN				
201	Abattage des arbres	u	182,00	31 000	5 642 000
202	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise	km	355 000,00	350	124 250 000
	Sous total				129 892 000
300	Terrassement				
301	Volume déblai	m3	40 126,00	6 000	240 756 000
302	Décapage de la terre végétale (10cm)	m2	105 000,00	350	36 750 000
303	Remblais provenant d'emprunts y compris extraction, transport, et mise en œuvre	m3	280 000,00	5 200	1 456 000 000
304	Reprofilage des espaces de l'emprise (largeur emprise-chaussée et son assainissement)	m²	52 300,00	5 100	266 730 000
	Sous total 300				1 733 506 000
400	Chaussée et revêtement				
401	Fourniture et mise en œuvre du revêtement en Béton bitumineux	m3	5 292,20	505 000	2 672 561 000
402	Fourniture et mise en œuvre de graveleux latéritique naturel pour couche de base et fondation	m3	46 306,50	8 500	393 605 250
404	Fourniture et mise en œuvre couche de roulement accotement monocouche	m²	1 408,00	51 260	72 174 080

	Sous total 400				3 138 340 330
500	Ouvrage d'assainissement				
506	Caniveau et dalle en béton armé 80x80	ml	21546,7	80 630	1 737 310 421
512	Exécution des fossés trapézoïdale	ml	6 349,90	22 830	144 968 202
513	Exécution des fossés triangulaire	ml	5 669,55	18 880	107 041 161
514	4xDalot de 3x300x200				
514.1	Béton dosé à 400kg/m3 pour joint	m3	360,00	255 000	91 800 000
514.2	Acier HA en FeE400	kg	28 800,00	1 400	40 320 000
515	1xDalot de 4x400x300				
515.1	Béton dosé à 400kg/m3	m3	105,00	255 000	26 775 000
515.2	Acier HA en FeE400	kg	15 827,20	1 400	22 158 080
516	1xDalots de 4x200x150				
516.1	Béton dosé à 400kg/m3	m3	230,24	255 000	58 711 200
516.2	Acier HA en FeE400	kg	18 419,20	1 400	25 786 880
	Sous total				2 255 859 792
600	Signalisation-Sécurité-Eclairage				
	Signalisation horizontale				
601	Marquage de chaussée : ligne d'axe discontinue (Modulation T1)	ml	18905,41	3 690	69760962,9
602	Marquage flèche de direction	ml	1 002,00	3 690	3 697 380
603	Marquage de dos d'âne	m2	208,00	293 125	60 970 000
604	Marquage STOP	m2	765,00	293 125	224 240 625
	Sous total signalisation horizontale				358 668 968
	Signalisation verticale	u	8,00	140 000	1 120 000
603	Panneau de type A	u	29,00	3 600	104 400
604	Panneau de type AB	u	42,00	3 600	151 200
605	Panneau de type EB	u	8,00	5 750	46 000
606	Panneau de type B	u	16,00	3 500 000	56 000 000
607	Panneau de type C	u	4,00	1 800 000	7 200 000
	Sous total signalisation verticale				781 959 536
	Sécurité				
608	Ralentisseur type : Dos d'âne	ml	52,00	46 765,00	2 431 780
609	Feu tricolore sur support haut acier galvanisé en console	u	2,00	80 685,00	161 370
	Sous total Sécurité				2 593 150
	Éclairage public				

610	Candélabre simple crosse	u	383,00	1 825 000,00	698 975 000
	Sous total Eclairage public				698 975 000
	Total SIGNALISATION - SECURITE ET ECLAIRAGE PUBLIC				1 842 196 654
700	Mesures environnementales et sociales				
701	Indemnisation social	ff	1,00	43 000 000	43 000 000
702	Information-éducation-communication (IEC)	ff	1,00	32 000 000	32 000 000
703	Déplacement de tombes et vestiges et mesures de préservations de sites culturels et culturel	ff	1,00	15 000 000	15 000 000
704	Remise en état des zones d'emprunt	ff	1,00	7 500 000	7 500 000
705	Plantation des arbres non fruitiers	u	1 526,00	2 600	3 967 600
706	Réalisation de forage positif à motricité humaine y compris toutes Sujétion	u	2,00	5 500 000	11 000 000
707	Sensibilisation sur les MST, VIH	ff/camp	1,00	12 000 000	12 000 000
	Sous total				124 467 600
I	Total général HT				8 932 545 840
II	TVA 18%				1 607 858 251
III	Total général TTC				10 540 404 091
IV	Cout kilométrique				557 545 839