



**ÉTUDES DÉTAILLÉES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PONT ET
SES VOIES D'ACCÈS SUR LE FLEUVE NYONG À ÉKOMBITIÉ : AU
PK24+00 DE LA ROUTE MFOU-NKILZOK-ÉKOMBITIÉ-
NKOLNGUET DANS LA RÉGION DU CENTRE-CAMEROUN (LOT 1)**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2IE
AVEC GRADE DE MASTER**

Spécialité : GÉNIE CIVIL – BÂTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement par :

EDOUMA EDZEGUE Rémy Fabrice

Matricule: 20180774

Date: Juillet 2021

Directeur de mémoire : **M. Abdou LAWANE GANA, Maitre de Conférences**
(Enseignant Chercheur en Génie Civil)

Maitre de stage : **M. KUETCHE TALLA Hans, Ingénieur études et Contrôle ECTA-BTP**
(Ingénieur de Génie Civil)

Jury d'évaluation du stage :

President: Dr Dail NIANG

Examineurs:

- Dr Philbert NSHIMIYIMANA
- M. Célestin OVONO MEZUI

STRUCTURE D'ACCUEIL : ETCTA-BTP

BP : 785-Yaoundé-Cameroun Tél : +237 222 22 00 87 Fax : +237 222 22 91 16

Promotion : 2020/2021

DÉDICACES

Je dédie ce travail

*À mon feu Père **EDZEGUE EBASSA Christophe,***

*À ma mère **NGA Adeline Louisette,***

*Et à ma fiancée **MANGA OWONA Jacqueline Stéphanie***

*Afin qu'ils trouvent en cette dédicace ma reconnaissance pour leur amour, soutien et tous
leurs sacrifices*

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, il m'est très agréable et judicieux d'exprimer toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes sincères remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail.

En particulier, mes sincères remerciements à l'endroit de :

- ✦ L'admiration et les enseignants de l'institut 2iE, pour l'encadrement de qualité ;
- ✦ Pr LAWANE GANA, Chef de département du Génie Civil et Hydraulique de 2iE, Directeur de mémoire, qui malgré ses multiples occupations a toujours trouvé le temps pour m'accompagner dans mes travaux ;
- ✦ M. MENDJI Ernest, Directeur Technique de ECTA-BTP, Ingénieur de Génie Civil, pour la confiance accordée en m'intégrant dans le projet, duquel est ressorti le thème de mon mémoire ;
- ✦ M. KUETCHE TALLA Hans, Ingénieur de Génie Civil, encadreur professionnel, pour sa disponibilité, sa modestie et le sérieux avec lequel il a supervisé ce travail ;
- ✦ Et à tous les membres du jury, pour avoir consenti à examiner ce travail.

RÉSUMÉ

Le projet objet de ce mémoire est un ensemble d'études détaillées pour la construction d'un pont et ses voies d'accès sur le fleuve Nyong à Ekombitié, au PK 24+00 de la route Mfou-Nkilzok-Ekombitié-Nkolguet dans la région du Centre-Cameroun. Les études ont été confiées à ECTA-BTP, structure d'accueil pour mon stage, suite au résultat de l'Appel d'Offre National Restreint dudit projet lancé par le Ministère des Travaux Publics du Cameroun, Maître d'Ouvrage. Les prestations du Consultant avaient pour but d'apporter au Maître d'Ouvrage, les éléments de faisabilité technique, environnementale, économique et financière du projet, et permettant d'établir et de préciser les caractéristiques techniques détaillées des travaux à réaliser.

Après la présentation du projet, de sa zone d'étude et les contraintes liées au à son exécution, et par suite des études préliminaires menées par les équipes du consultant, trois (03) variantes de tracés ont été présélectionnées. Après une analyse multicritère, la variante de tracé 3 a été retenue et des variantes de ponts ont également été proposées. Le pont mixte bipoutre à entretoises de portée principale 65,00m a été classé premier à l'issue de l'analyse multicritère des variantes de ponts. Le tracé et le pont retenus ont été dimensionnés par la suite.

Le pont dimensionné est composé de trois (03) travées continues, pour une longueur totale du pont égale à 165,00m. Il est composé d'un tablier en béton armé d'épaisseur variable reposant sur deux (02) poutres métalliques de hauteur 2,54m rédiées entre elles par des HEA 550 disposés tous les 6,5 m sur la longueur du pont. Son profil en travers est identique à celui de la voie d'accès constitué de deux (02) trottoirs de 1,50 m de large et deux (02) voies de 3,50 m chacune. L'ouvrage prend appuis sur des éléments en béton (culées et piles) reposés sur des fondations superficielles.

Le coût estimatif des travaux après établissement de l'avant métré et application des prix moyens de la zone pour les ouvrages similaires est de 6 038 462 364 Franc CFA (Six Milliards Trente-huit Millions Quatre Cent Soixante Deux milles Trois Cent Quatre Franc CFA)

Il sera réévalué après élaboration des sous détails de prix unitaires par le Consultant.

Mots clés :

1. **Ouvrage d'art ;**
2. **Pont mixte ;**
3. **Voies d'accès ;**
4. **Profilé Reconstitué Soudé (PRS).**

ABSTRACT

This thesis is based on a project consisting in a set of detailed studies for the construction of a bridge and its access roads over the Nyong river at Ekombitié, at PK24+00 of the Mfou-Nkilzok-Ekombitié-Nkolguet road in Centre region of Cameroon. The studies were entrusted to ECTA-BTP, the host company for my internship, following the result of the National Restricted Call for Tenders for the said project launched by the Ministry of Public Works of Cameroun, the projet owner. The aim of Consultant's services was to provide the project owner with the technical, environmental, economic and financial feasibility elements of the project, and to establish and specify the detailed technical characteristics of the works to be carried out.

After the presentation of the projet, its study area and the constraint likend to its outworking, and following the preliminary studies carried out by the consultant's teams, three (03) alternative road were pre-selected. After a multi-criteria analysis, alignment variant 3 was selected and bridge variants were also proposed. The double-girder compodite bridge with a amin sapan of 65.00 m was ranked first in the multi-criteria analysis of the bridge varaints. The selected route and bridge were subsequently dimensioned. The designed bridge is composed of three(03) continuous spans, for a total bridge lenth of 165.00 m. it's composed of a reinforced concrete deck of variable thickness resting on two(02) metal girders of 2,54 m height linked together by HEA550 arranged every 6.5 m along the lenth of the bridge. Its cross-section is identical to that of access road, consisting of two(02) pavements 1.50 m wide and two(02) lanes each 3.50m wide. The structure is supported by contrete elements (abutments and piers) resting on surface fondations.

The estimated cost of the works after drawing up the preliminary bill of quantities and applying the average prices in the area for similar works is 6 038 462 364 (Six Billion Thirty eight Million Four Hundred and Sixty Two Thousand Three Hundred and Four CFA Frans)

It will be re-evaluted after the preparation of the sub-unit price details by the Consultant.

Keywords :

- 1. Engineering works ;**
- 2. Mixed Bridge ;**
- 3. Access road ;**
- 4. Welded Reconstituted profile.**

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

- A.N.E** : Axe Neutre Élastique ;
- A.N.P** : Axe Neutre Plastique
- B.B** : Béton Bitumineux ;
- D.T.U** : Documents Techniques Unifiés ;
- E.L.S** : État l'imite de service ;
- E.L.U** : État limite ultime ;
- G.B** : Grave Bitume ;
- G.B.T** : Grave Bitume Traitée ;
- I.N.S** : Institut National de la Statistique ;
- MINADER** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural ;
- MINFOF** : Ministère de la Faune et des Forêts.
- MINPMEESA** : Ministère des Petites et Moyennes Entreprises, de l'Économie et de l'Artisanat ;
- MINTOUL** : Ministère du Tourisme et du Loisir ;
- MINTP** : Ministère des Travaux Publics ;
- P.D.R** : Plan Directeur Routier ;
- P.B.E** : Cotes des Plus Basses Eaux ;
- P.H.E.C** : Cotes des Plus Hautes Eaux Connues ;
- P.H.E.N** : Cotes des Plus Hautes Eaux Navigables ;
- P.G.E.S** : Plan de Gestion Environnemental et social ;
- P.R.S** : Profilé Reconstitué Soudé ;
- R.R.N** : Réseau Routier National ;
- SETRA** : Service d'Étude des Routes et Autoroutes ;
- T.D.R** : Termes de Références ;
- T.R.I** : Taux de Rentabilité Interne ;
- V.A.N** : Valeur Actuelle Nette ;
- ZIP** : Zone d'Influence du Projet.

SOMMAIRE

DÉDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I / PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	2
INTRODUCTION	2
I.1. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEILLE	2
I.1.1 HISTORIQUE	2
I.1.2 LOCALISATION	2
I.1.3 BREF APERÇU DE L'ORGANISATION	2
I.1.4 QUELQUES RÉALISATIONS DE ECTA-BTP	2
I.2. PRÉSENTATION DU PROJET	3
I.2.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE ET JUSTIFICATION DU PROJET	3
I.2.2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	4
I.2.3 DONNÉES GÉNÉRALES DU PROJET	8
I.2.4 CONTRAINTES LIÉES AU PROJET	15
CONCLUSION PARTIELLE	16
CHAPITRE II / ÉTUDES PRÉLIMINAIRES D'OUVRAGES D'ART (E.P.O.A)	17
INTRODUCTION	17
II.1. MATÉRIELS UTILISÉS	17
II.2. MÉTHODOLOGIE DES ÉTUDES PRÉLIMINAIRES	17
II.2.1. TRAITEMENT DES DONNÉES COLLECTÉES	18
II.2.2. ÉTUDE DES SOLUTIONS ENVISAGÉES ET ESTIMATION DU COÛT DE CHAQUE VARIANTE	23
II.2.3. ÉTUDE DE LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DU PROJET	34
CONCLUSION PARTIELLE	34
CHAPITRE III / DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE RETENU	35
INTRODUCTION	35
III.1. MATÉRIELS UTILISÉS	35
III.2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE	35
III.2.1. DOCUMENTS DE REFERENCE ET HYPOTHÈSES DE CALCULS	35
III.2.2. CONCEPTION ET PRE DIMENSIONNEMENT	37

III.2.3. DIMENSIONNEMENT DU TABLIER.....	38
III.2.4. VÉRIFICATIONS A L'ÉLU DU PRS EN PHASE DE SERVICE.....	47
III.2.5. INFRASTRUCTURE.....	50
<i>CHAPITRE IV ÉTUDE DES VOIES D'ACCÈS DE LA VARIANTE RETENUE.....</i>	<i>58</i>
IV.1. ÉTUDES GÉOTECHNIQUES.....	58
IV.2. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE.....	59
<i>CHAPITRE V / NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL, ESTIMATION DU COÛT DES TRAVAUX.....</i>	<i>60</i>
V.1. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....	60
V.2. ESTIMATION DU COÛT DES TRAVAUX.....	67
<i>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</i>	<i>71</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>	<i>72</i>
<i>ANNEXES.....</i>	<i>73</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Plan de situation du projet.....	6
Figure 2: Implantation des points des essais in-situ	14
Figure 3: Organigramme des études préliminaires.....	17
Figure 4: Ajustement des débits maximaux à l'aide du logiciel HyfranPlus	21
Figure 5: Types de ponts en fonction de la portée principale.....	27
Figure 6: Organigramme de l'étude de l'ouvrage d'art retenu	35
Figure 7: Éléments du tablier et géométrie de la poutre principale	37
Figure 8: Section étudiée	39
Figure 9: Disposition des armatures principales.....	41
Figure 10: Répartition du ferrailage longitudinal en zone d'appui et zone courante.....	41
Figure 11: Nombre indicatif de changements d'épaisseurs des semelles dans une travée intermédiaire	43
Figure 12: Répartition de la matière du PRS	44
Figure 13: Vue longitudinale du pont.....	45
Figure 14: Disposition des voies de circulation pour l'étude en flexion longitudinal d'un PRS.....	45
Figure 15: Sections étudiées pour la justification du PRS.....	47
Figure 16: Géométrie de la section ($\Sigma 1$)	47
Figure 17: Géométrie de la section ($\Sigma 2$).....	48
Figure III-13: Coupe transversale en mi-portée de la travée P1-P2	48
Figure 19 : Modélisation du chevêtre	52
Figure 20: Modélisation de la colonne	53
Figure 21: Model du mur garde grève	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Intervenants du projet d'étude	3
Tableau 2: Évolution de la population de la ZIP	8
Tableau 3: Répartition des infrastructures scolaires de la ZIP	8
Tableau 4: Évolution du nombre des organisations de l'économie sociale de la ZIP	9
Tableau 5: Quelques productions de la ZIP en 2017	9
Tableau 6: Récapitulatif de l'activité forestière de la ZIP	9
Tableau 7: Principaux cheptels de la ZIP	10
Tableau 8: Sites touristiques de la ZIP	10
Tableau 9: Comptages routier sur la R0143 et la N09	11
Tableau 10: Répartition du trafic origine destination par type de véhicules	11
Tableau 11: Caractéristiques géométriques du tracé en plan	12
Tableau 12: Caractéristiques géométriques du profil en long	12
Tableau 13: Niveaux caractéristiques des eaux dans la zone du projet	14
Tableau 14: Classe de sol	18
Tableau 15: Caractéristiques des matériaux d'emprunts	18
Tableau 16: Résultats des essais Los Angeles et Micro Deval	18
Tableau 17: Caractéristiques des sables	19
Tableau 18: Traitement des zones marécageuses	19
Tableau 19: Structures de chaussée proposées	19
Tableau 20: Estimation de la fonction de dépassement P(X) et du temps de retour T en fonction des données collectées	20
Tableau 21: Estimations du débit Décennal et Centennal du projet	21
Tableau 22: Valeurs des affouillements pour la variante de tracé 1	22
Tableau 23: Analyse multicritère des variantes de tracés	26
Tableau 24: Analyse comparative des d'ouvrages présélectionnés du type 1	28
Tableau 25: Analyse comparative des d'ouvrages présélectionnés du type 2	29
Tableau 26: Analyse comparative des d'ouvrages présélectionnés du type 3	29
Tableau 27: Caractéristiques des ouvrages présélectionnés	30
Tableau 28: Récapitulatif des coûts du projet sur la variante de tracé 3	32
Tableau 29: Analyse multicritère des variantes d'ouvrages d'art	33
Tableau 30: Synthèse des indicateurs de rentabilité	34
Tableau 31: Dimensions des éléments du tabliers	38

Tableau 32: Charges appliquées sur la dalle dans le sens transversale	39
Tableau 33: Évaluation des efforts internes dans la dalle dues aux charges routières	39
Tableau 34: Combinaison d'actions de calculs	40
Tableau 35: Sollicitations selon le BOA n°54.....	40
Tableau 36 : Ferrailage de la dalle.....	41
Tableau 37: Vérification de la dalle à l'ELS	42
Tableau 38: Autres vérifications sur la dalle	42
Tableau 39: Simulation de la répartition de la matière.....	44
Tableau 40: Évaluations des charges permanentes.....	45
Tableau 41: Répartition des charges LM1 sur le tablier.....	46
Tableau 42: Sollicitations longitudinales dans la poutre	46
Tableau 43: Combinaison d'actions longitudinale sur le PRS	47
Tableau 44: Rigidité des appuis.....	50
Tableau 45: Efforts de freinage sur les appuis.....	51
Tableau 46: Charges du tablier	51
Tableau 47: Efforts sur le chevêtre.....	52
Tableau 48: Ferrailage en appui du chevêtre.....	52
Tableau 49: Ferrailage au centre du chevêtre.....	52
Tableau 50: Efforts sur la colonne.....	53
Tableau 51: Prédimensionnement de la culée	54
Tableau 52: Model LM1 réduit à 30%	54
Tableau 53: Sollicitations sur le mur garde grève	55
Tableau 54: Combinaisons d'action	55
Tableau 55: Ferrailage du mur garde grève.....	55
Tableau 56: Ferrailage du mur de front	56
Tableau 57: Sollicitations sur la semelle de la culée	57
Tableau 58: Ferrailage de la semelle sous culée.....	57
Tableau 59: Identification des impacts	63
Tableau 60: Caractérisation des impacts	65

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Conformément à la politique du Gouvernement de la République du Cameroun en matière de développement des conditions de cheminement sur le Réseau Routier National (R.R.N) telle qu'impulsée par le Plan Directeur Routier (P.D.R), il est envisagé pour l'exercice 2017, des études détaillées de construction de certains ouvrages d'art dans les régions du Centre et de l'Est. Parmi ces projets, nous avons les « *Études détaillées pour de la construction d'un pont et ses voies d'accès sur le fleuve Nyong à Ekombitié, au PK 24+00 de la route Mfou-Nkilzok-Ekombitié-Nkolnguét dans la Région du Centre-Cameroun* ».

En effet, la situation d'enclavement de ces localités constitue une contrainte primordiale, au point où la problématique réside dans la recherche des voies pour relever le défi qui handicape les échanges entre des partenaires économiques. La réalité se traduit par un système fragile de ravitaillement des populations en produits de première nécessité, en raison de l'absence d'ouvrages de franchissement sur le fleuve concerné ; la traversée se faisant actuellement par bacs. En outre, au-delà de sa fonction de désenclavement, le pont projeté doit contribuer à l'amélioration de la mobilité ainsi qu'au développement desdites localités, sans oublier l'accessibilité en zone urbaine et la réduction des coûts de transport.

Ce mémoire de fin d'études a pour but de donner au Maître d'Ouvrage, tous les éléments de faisabilité technique, environnementale, économique et financière du projet en vue de répondre à la problématique susmentionnée. Ce travail qui s'inscrit dans cette logique est structuré comme suit :

- ✦ **Le chapitre 1 « Présentation de la structure d'accueil et du projet »** faisant un bref aperçu de la structure d'accueil, de la présentation du projet et sa zone d'étude en passant par les données et contraintes liées au projet ;
- ✦ **Le chapitre 2 « Études Préliminaires d'Ouvrages d'Art (EPOA) »** consistant à proposer au Maître d'Ouvrage les différentes solutions en termes de tracé des voies d'accès (03 variantes au moins) ainsi que les types d'ouvrages à construire sur le fleuve. Elle comporte, les études de trafic, géotechnique, l'étude hydraulique et hydrologique, les études des solutions envisagées et la rentabilité économique du projet ;
- ✦ **Le chapitre 3 « Dimensionnement de l'ouvrage retenu »** rassemblant les études hydraulique et hydrologique, le dimensionnement proprement dit de l'ouvrage ;
- ✦ **Le chapitre 4 « Étude des voies d'accès de la variante retenue »**
- ✦ **Le chapitre 5** portant sur « *Notice d'impact environnemental et évaluation du coût des travaux* ».

CHAPITRE I / PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

INTRODUCTION

Ce travail a été réalisé suivant les exigences de formation d'un ingénieur 2iE qui demandent à chaque étudiant en fin de cycle de réaliser un stage en entreprise afin de rédiger son mémoire de fin d'études. C'est dans ce cadre que le travail ici présenté est le fruit de l'accompagnement minutieux de ECTA-BTP présenté ci-dessous sur le projet objet de notre mémoire.

I.1. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEILLE

I.1.1 HISTORIQUE

ISO 9001 VERSION 2015. ECTA-BTP Sarl a été fondée en 1989 par un groupe de techniciens Camerounais. En 1998, elle se transforme en SARL pour se conformer à l'acte uniforme OHADA. En 2010, le système de management mis en place a été certifié suivant la norme ISO 9001 :2008 certificat renouvelé en 2013 puis en 2016. À ce jour, ECTA-BTP Sarl est en pleine transformation vers la norme ISO.

I.1.2 LOCALISATION

ECTA-BTP Sarl a son siège social à Yaoundé-Cameroun à l'adresse suivante : 289 Avenue Mvog Fouda Ada au quartier Elig-Essono Précisément à l'immeuble Ancien FONADER aux 1^{er}, 2^e et 3^e étages.

BP : 785-Yaoundé-Cameroun Tél: +237 222 22 00 87 / +237 222 22 04 65 Fax : +237 222 22 91 16

Email : contact@ecta-btp.com

I.1.3 BREF APERÇU DE L'ORGANISATION

(Voir annexe 1)

I.1.4 QUELQUES RÉALISATIONS DE ECTA-BTP

- ✦ Études techniques et institutionnelles de construction du pont sur le fleuve Ntem situé sur la route transactionnelle Kribi-campo reliant le Cameroun et la Guinée équatoriale (**portée estimée à 1000 m**) ;
- ✦ Études techniques en vue de la construction d'un fleuve et ses accès sur le fleuve Nchianyang dans l'arrondissement de Deuk, département du Mbam et Inoubou, Région du Centre-Cameroun (**portée estimée à 130 m**) ;

Réalisation des études en vue de la construction de certains ponts et leurs accès sur le Réseau National. Lot 1 : Études en vue de la construction d'un pont sur le fleuve NLOBO au PK 52+00 sur la route Mekomo-Ayos (portée estimée à 90 m)

I.2. PRÉSENTATION DU PROJET

I.2.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE ET JUSTIFICATION DU PROJET

Notre travail porte sur l'étude de la construction d'un pont d'une longueur estimée à 165 m sur le fleuve Nyong et ses voies d'accès d'un linéaire total de 1,8 Km sur la route Mfou-Nkolzok-Ekombitié dans le département de la Mefou et Afamba dans la région du Centre-Cameroun.

Les travaux projetés s'inscrivent dans la politique du gouvernement Camerounais en matière de développement des conditions de cheminement sur le réseau National telle qu'impulsé par le Plan Directeur Routier (P.D.R) pour l'exercice 2017.

Le projet permettra à son terme de résoudre les problèmes suivants :

- ✦ L'enclavement de la zone ;
- ✦ Les mauvaises conditions de traversée du fleuve Nyong ;
- ✦ L'isolement et par conséquent le manque de cohésion entre les communautés des deux rives.

I.2.1.1. Informations sur le projet

Ledit projet d'étude est l'objet de l'appel d'offre national restreint N° 036/AONR/PR/MINMAP/SG/DGMI/DMAI/CE5/NBJM du 16/04/2018 pour la réalisation des études détaillées en vue de la construction de certains ponts et leurs voies d'accès sur le réseau national, Lot 1 dont les différents intervenants ainsi que les données de base sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: Intervenants du projet d'étude

INTITULÉ DU MARCHÉ	Études détaillées pour la construction d'un pont et ses accès sur le fleuve Nyong à Ékombitié, au PK24+00 sur la route Mfou-Nkilzok-Ékombitié-Nkolnguét dans la région du Centre-Cameroun (Lot 1)
MAITRE D'OUVRAGE	Ministère des Travaux Publics (MINTP)
TITULAIRE DU MARCHÉ	ECTA BTP Sarl
FINANCEMENT	Budget d'investissement publics du MINTP, exercice 2019 et suivants
DÉLAI D'EXÉCUTION	Onze (11) mois

I.2.1.2. Les composantes du projet

L'étude porte sur deux (02) principaux ouvrages :

- ❖ **Les voies d'accès** avec une chaussée de 7m et deux accotements de 1,5 m sur un linéaire total estimée à 1,8 km. La vitesse de référence est de 80 km/h et pouvant être réduit à 60 km/h si les contraintes sont très fortes.
- ❖ **Le pont route sur le fleuve Nyong** d'environ 165 m avec un passage supérieur dont les caractéristiques géométriques sont identiques à celles des voies d'accès. Le nombre de travées ainsi que leurs longueurs sont à déterminer.

I.2.1.3. Rappel des termes de références (T.D.R)

Les exigences du cahier de charges sont les suivantes :

- Mener les études devant aboutir au choix de la zone d'implantation de l'ouvrage ;
- Effectuer la conception et le dimensionnement de l'ouvrage et de ses voies d'accès ;
- Établir le devis quantitatif et estimatif de l'ouvrage d'art et de ses voies d'accès.

I.2.1.4. Objectifs de l'étude

Objectif général

Le but poursuivi par ce travail est de proposer et dimensionner une variante de pont et sa voie d'accès pour assurer le franchissement du fleuve Nyong au lieu-dit Ekombitié.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce travail sont les suivants :

- Faire une brève analyse de la situation socio-économique de la zone du projet ;
- Dimensionner les éléments principaux de l'ouvrage retenu et la chaussée de la voie d'accès ;
- Faire une estimation du coût des travaux.

I.2.2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I.2.2.1. Localisation de la zone

Le projet se situe entre les localités de Mfou (Ekombitié) et Nkolnguét (Mbéga) dans les départements de la Mefou & Afamba et le Nyong & So'o (Région du Centre-Cameroun) entre 3°19'00'' Nord, 11°23'00'' Est et le 4°27' 00'' Nord ; 11°38'00''. Les deux départements sont séparés par le fleuve Nyong long de 690 Km et se jette dans le Golfe de Guinée au lieu-dit Bataga, village situé à 65 Km au Sud-Ouest de la ville d'Edéa. Le débit moyen du fleuve est de 446 m³/s. (fig.1 page 6)

I.2.2.2. Zone d'influence du projet

D'une superficie de 6 919 km², la Zone d'Influence du Projet (ZIP) est essentiellement située dans la région du Centre-Cameroun. Son relief appartient au domaine du plateau Sud-Cameroun, vaste plateau vallonné de 650 m d'altitude moyenne. Elle est couverte par une végétation dense et se situe dans le prolongement de la forêt congolaise. La ZIP comporte une aire protégée : le Parc National de la Mefou. (fig.1 page 6)

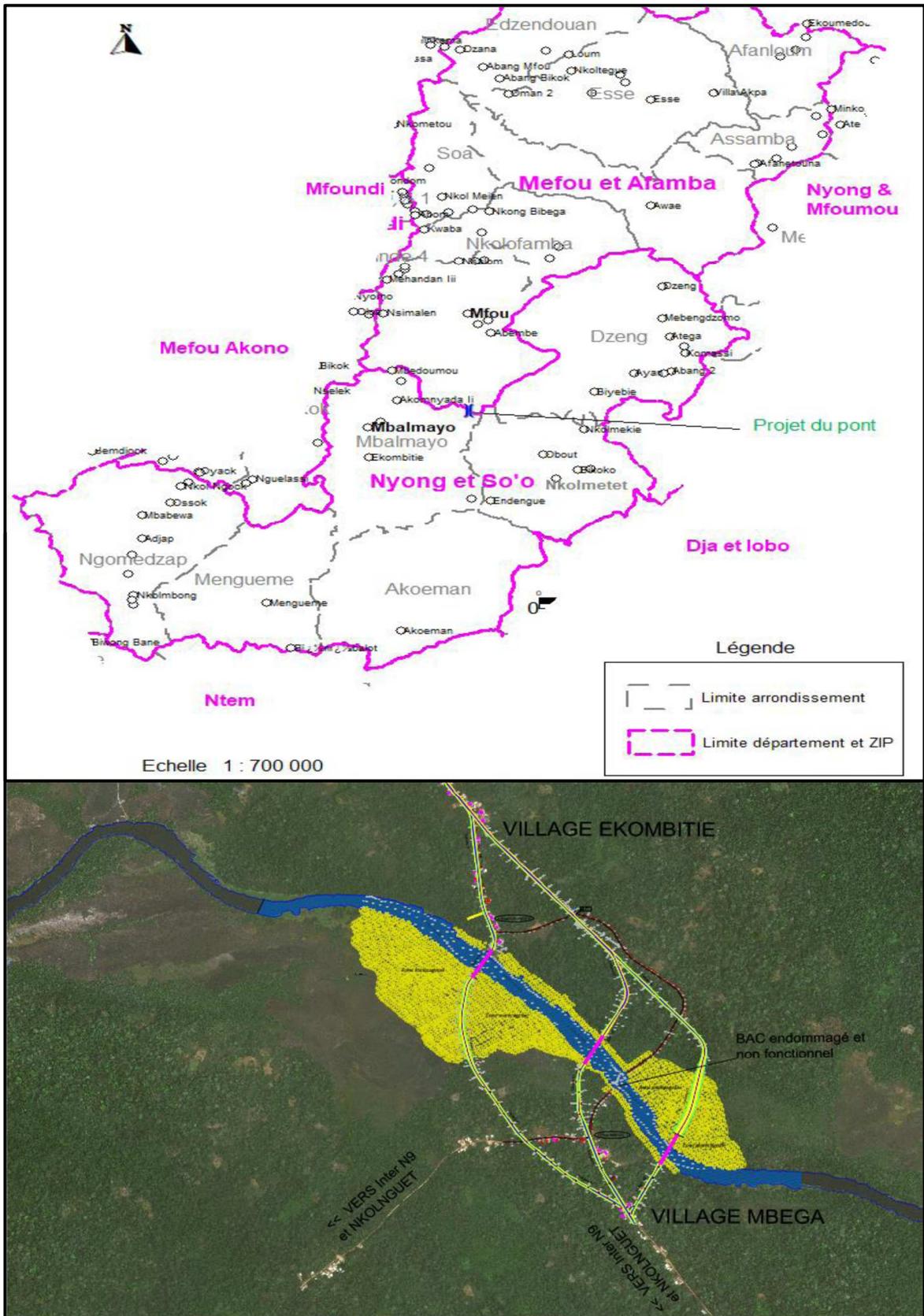


Figure 1: Plan de situation du projet

I.2.2.3. Environnement géographique du projet

A. Pluviométrie

La zone reçoit en moyenne 1 700 mm de pluie par an. La répartition moyenne des précipitations est la même sur toute l'étendue du Sud Cameroun, avec deux saisons pluvieuses bien marquées, encadrées par des saisons sèches d'importance variable. Les maximas de précipitations moyennes mensuelles se situent en octobre (293 mm) pour la grande saison de pluie et les minimas en juillet (121 mm).

B. Humidité

L'humidité relative a des maximas comprise entre 97 et 99%, observables généralement en Octobre ; les minimas compris entre 52% en février à Akonolinga et 75% en Juillet-Août à Yaoundé. L'amplitude annuelle de l'humidité relative diminue avec la latitude sont : 17% à Yaoundé et 12 % à Ebolowa.

C. Températures

La température annuelle est d'ordre de 24°C. les moyennes mensuelles oscillent entre 23,4°C et 26,5°C. l'amplitude thermique observée est en moyenne de 2,1°C.

D. Régime de vent

Les vents sont modérés à cause de la disposition du relief qui présente des vallées couvertes par les forêts galeries. Cependant, en début et en fin de saison pluvieuse, les températures occasionnent des chutes d'arbres (Anonyme 2010). Suivant les informations obtenues des riverains, ces vents sont en majorité orientés vers le Nord-Sud.

E. Géologie, séisme et salinité de la zone du projet

Selon le site web <http://thinkhazard.org/fr/report/45Cameroun/EQ>, la zone du projet est de faible sismicité comprise entre 0,1 et 0,02. Les conséquences du séisme sont donc négligées dans le projet, même si, d'après les informations de l'IRGM, un séisme d'ondes primaires et secondaires de magnitude 5,7 capté à Edéa ayant pour épicerne l'océan atlantique au large de Sao Tomé et Principe a été ressenti par les habitants en date du 19/12/2019.

La salinité des eaux de la zone de projet est considérée très faible étant donné que l'océan le plus proche (océan atlantique) se trouve à environ 212 km du lieu des travaux.

F. Effets chimiques et abrasion

Selon SIGHA-NGADJOU (1994), les eaux du fleuve Nyong sont bicarbonatées calco-magnésiennes. Les teneurs en sodium et potassium sont relativement élevées. La valeur moyenne du PH est de 5,8. Les teneurs en nitrates sont comprises entre 0,1 et 2,5. Pour ce qui est des matières en suspensions (MES), les teneurs sont de 5,7 et 24,5 mg/l à Akonolinga et Mbalmayo.

G. Chocs des corps flottants et actions hydrodynamiques du courant

Le fleuve Nyong est non navigable. Les corps en suspensions ont un flux particulaire moyen de 6,3 T/km²/an. La présence des chutes (de Mpoumé, Makat, Milly, Moge, Moulla et Ndjock) en amont du fleuve le rendant vulnérable aux mouvements de marée sur la zone du projet.

I.2.3 DONNÉES GÉNÉRALES DU PROJET

I.2.3.1 Données socio-économiques

I.2.3.1.1 Données sociales

A. Démographie

En 2020, la population de la ZIP est estimée à 297 320 habitants, avec une densité moyenne de 42,9 habitants/km², un taux de croissance faible comparativement à d'autres départements de la même région et moins dense que la moyenne nationale (52%). Elle est essentiellement rurale (64,20%) et légèrement dominée par la gent féminine (50,3%).

Tableau 2: Évolution de la population de la ZIP

Département	Superficie (km ²)	Population 2005	Population 2015	Croissance 2005-2020	Population 2020
Mefou et Afamba	3338	126 028	144 445	1,014	154 843
Nyong et So'o	3581	115 960	132 909	1,014	142 477
Total	6919	241 988	277 354	1,014	297 320

Source : BUCREP et projection en 2020 de ECTA-BTP.

B. Enseignement et éducation

La ZIP est dominée par plusieurs établissements publics et privés des secteurs primaires et secondaires y compris les établissements d'enseignement normal. La répartition des effectifs des élèves par classe est de 44 élèves pour le secteur primaire et 35 élèves pour le secondaire.

Tableau 3: Répartition des infrastructures scolaires de la ZIP

Département	Établissements du secteur primaire	Établissements du secteur secondaire	Écoles normales
Mefou et Afamba	540	97	37
Nyong et So'o	175	56	0
Total	715	153	37

Source : Délégation Régionale des Enseignements Secondaires du Centre.

C. Emploi

Dominée par les activités agricoles, les populations de la ZIP ont pour activité principale l'agriculture à coté de laquelle on trouve les activités du secteur informel (commerce, artisanat, NTIC, esthétique, couture, etc.).

Tableau 4: Évolution du nombre des organisations de l'économie sociale de la ZIP

Département	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Mefou et Afamba	145	145	147	137	138	-	661
Nyong et So'o	59	59	71	71	143	-	34
Total	204	204	218	208	281	-	695

Source : MINPMEESA, Délégation Régionale du Centre.

I.2.3.1.2 Données économiques

A. L'agriculture

C'est la principale activité de la zone avec les exploitants à prédominance familiale, où les travailleurs sont sous fonds propres, sans main d'œuvre qualifiée, sans mécanisation et faible utilisation des engins. Les principales cultures de la ZIP sont les cultures de rente (cacao, palmier à huile, café, tabac, hévéa, etc.), les produits vivriers, les tubercules et les légumes.

Le tableau I-5 présente quelques chiffres de ces cultures pour l'année 2017.

Tableau 5: Quelques productions de la ZIP en 2017

Produits	Département de la Mefou et Afamba		Département du Nyong et So'o	
	Superficie (Hectares)	Production en (Tonnes)	Superficie (Hectares)	Production en (Tonnes)
Cacao	19 831	16 452	21 901	16 940
Palmier à huile	1 401	6 653	732	3 853
Café robusta	367	220	101	110
Maïs	5 664	11 660	2 659	5 151
Manioc	5 357	84 967	1 179	17 021
Macabo et ignames	9 598	6 5020	4 045	20 775
Arachide	7 035	4 354	4 978	5 456
Banane plantain	21 470	127 021	25 881	153 118

Source : MINADER, Délégation Régionale du Centre, 2018

B. L'exploitation forestière

La zone étant couverte par une grande forêt, elle est exposée à l'exploitation de ses nombreux produits ligneux. On peut citer, le sapelli, la fraka, l'iroko, le moabi, l'ayous, le tabi, etc. ces produits sont exploités et transformés par quelques entreprises installées dans la zone. Le tableau 6 est un récapitulatif de l'activité forestière de la ZIP.

Tableau 6: Récapitulatif de l'activité forestière de la ZIP

Département	Production de grumes		Unités de transformation		Transformations industrielle (m ³)		Placage (m ³)	Contre-Plaqué (m ³)
	2013	2014	2014	2015	2014	2015	2015	2015
Mefou et Afamba	-	-	7	6	18 238	32 699	-	2 640
Nyong et So'o	14 200	1 582	6	5	14 595	14 488	4 583	4 434
Total	14 200	1 582	13	11	32 833	47 187	4 583	7 074

Source : MINFOF, Délégation régionale du Centre, 2018

C. L'élevage

L'activité est dominée par la production du cheptel (les bovins, les petits ruminants, les porcins, les poulets, etc.).

Tableau 7: Principaux cheptels de la ZIP

Département	Bovins	Petits ruminants	Porcins	Poulets	Élevage non conventionnel
Mefou et Afamba	3 077	26 190	11 103	430 072	50 270
Nyong et So'o	541	7 240	3 214	39 785	778
Total	3 618	33 430	14 317	469 857	51 048

Source : INS/RGE

D. La pêche

Elle est pratiquée dans le fleuve Nyong, mais aussi dans les cours d'eau et rivière de la ZIP. La production s'élève à 65 tonnes en 2018, en raison de 10 tonnes dans le Nyong et So'o et 55 tonnes dans la Mefou et Afamba.

E. Le tourisme

Ce secteur est en développement dans la ZIP et de nombreux sites touristiques y sont identifiés, allant des sites naturels aux sites construits. Le tableau 8 présente la situation des sites touristiques de la zone.

Tableau 8: Sites touristiques de la ZIP

Nature du site	Mefou et Afamba	Nyong et So'o	Total ZIP
Chutes et cascades	-	1	1
Berges	-	1	1
Monts, Cols, grottes, rochets	4	5	9
Monuments historiques	1	1	2
Artisanats et marchés	-	2	2
Jardins Zoologiques	1	-	1
Édifices religieux	1	1	2

Source : MINTOUL, Délégation Régionale du Centre

I.2.3.1.3 Les transports

Le transport routier est dominant dans la ZIP. Son réseau routier est constitué des routes nationales, des routes régionales et des routes communales réparties en réseau principal prioritaire et réseau principal non prioritaire pour besoins de programmation des travaux et d'allocation des ressources disponibles.

Les réseaux régional et communal bien que denses sont en mauvais état et constitue un facteur bloquant du développement de la région.

I.2.3.1.4 Données techniques du projet

A. Données du trafic

Des enquêtes de trafic ont été organisées de part et d'autre du fleuve Nyong dans les arrondissements de Mfou et Nkolmetet pour appréhender le trafic actuel sur les voies d'accès du futur pont. Elles ont permis de faire des comptages routiers sur la R0143 et la N09 d'une part, et d'autre part de réaliser une enquête origine-destination sur la N09(Mbalmayo-Sangmélima).

À l'issue de la campagne de comptage routier, des fiches ont été produites et contiennent les informations par catégories de Véhicules Légers Particuliers (VLP), Véhicules de Transport en Commun (TC) et les poids Lourds (PL). Le trafic des motos est également considéré car, il constitue le transport le plus utilisé.

Tableau 9: Comptages routier sur la R0143 et la N09

Catégories des véhicules	Type de véhicules	TMJ Nkilzock-Ékombitié	TMJ Pont Ékombitié-Yop
VLP	VP	41	28
	Pickup	13	12
TC	Mini bus	0	0
	Bus	0	0
PL	Cam 2 ess	3	3
	Cam 3 ess	31	97
	Ensemble articulé	0	1
	Grumier	0	0
	TOTAL	88	138
	% PL	39	73
	Moto	199	115

Source : Résultats des enquêtes de trafic des équipes de ECTA-BTP

Tableau 10: Répartition du trafic origine destination par type de véhicules

Catégories de véhicules	Type de véhicule	Sangmélima/Yaoundé	Nyong/Yop	Sangmélima/Mfou	Autres origines/destinations
VLP	VP	176	2	7	104
	Pickup	62	-	-	24
TC	Mini bus	87	1	-	9
	Bus	2	-	-	0
PL	Cam 2ss	11	-	-	1
	Cam 3ss	16	57	-	9
	Ens. Arti	14	3	-	12
	Grumier	8	-	-	1
	Total	376	63	7	160
	%PL	13	95	-	14

Source : Résultats des enquêtes de trafic des équipes de ECTA-BTP

B. Données fonctionnelles

B.1 La voie portée

B.1.1 Tracé en plan

Les normes utilisées pour le tracé en plan sont celles définies dans le TDR notamment celles recommandées pour la conception générale et la géométrie de la route du texte d'Aménagement des Routes Principales (ARP) du SETRA. La vitesse de référence pour la future voie est de 80km/h pouvant être réduite à 60 km/h si les contraintes sont fortes. Les caractéristiques géométriques des sections routières sont consignées dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11: Caractéristiques géométriques du tracé en plan

Caractéristiques géométriques	Valeurs
Vitesse de référence	80 km/h
Rayon minimal absolu RHm (devers associé 7%)	240 m
Rayon minimal normal RHN (devers associé 7%)	425 m
Rayon au devers minimal RH'' (devers associé : BB=2,5 %)	650 m
Rayon non déversé RH' (devers associé -2,5 %)	900 m

Source : les Termes de Références du projet

B.1.2 Profil en long

Les paramètres géométriques du profil en long sont les suivants :

Tableau 12: Caractéristiques géométriques du profil en long

Caractéristiques géométriques	Valeurs
Déclivité	6%
Rayon minimal en angle saillant RVm	3 000 m
Rayon minimal en angle rentrant RVm'	2 200 m

Source : les termes de références du projet

Pour mettre la route hors eau, la ligne rouge est surélevée d'une hauteur qui varie de 0 à 1,50 m.

B.1.3 Profil en travers

Le profil en travers du tablier de pont est le même que celui de la route de 10m de large (02 trottoirs de 1,50 m et 02 voies de 3,50 m)

B.2 L'obstacle à franchir

B.2.1 Le gabarit

C'est la hauteur minimale charge comprise dont le passage peut être accepté dans les conditions normales de circulation sous l'ouvrage. L'obstacle à franchir étant un fleuve, le gabarit sera déterminé à l'issue des études hydrauliques et hydrologiques en prenant en compte les indications du document « d'hydraulique routière BCEOM »

B.2.2 L'ouverture du cours d'eau

L'obstacle à franchir est le fleuve Nyong à Ekombitié au PK 24+00 sur une ouverture d'environ 165m dans la ville de MFOU région du Centre Cameroun. La voie portée est une route de largeur 10 m y compris les trottoirs.

C. Données techniques de base

C.1 Données géotechniques

C.1.1 Terrain naturel

La zone du projet présente un relief moyennement accidenté dans l'ensemble, avec quelques zones relativement planes. Les altitudes par rapport au niveau de la mer oscillent entre 640 et 670 m. Elle présente des zones marécageuses négligeables par endroits et d'autres dont les marécages sont importants avec une longueur de 550 m pour le tracé 1 et 1 460 m pour le tracé 2.

C.1.2 Niveau des fondations

La bathymétrie au niveau des franchissements donne des profondeurs d'eau de 1 à 10 m autour des points des traversées. La nature des fondations adoptées pour le projet sera obtenue à l'issue des études géotechniques. Des essais au pénétromètre dynamique lourds type LMSR Geotool ont été réalisés pour exploitation ultérieure.

C.1.3 Essais in-situ réalisées sur la voie d'accès

Seize (16) puits ont été réalisés tous les 500 m de la voie avec prise d'échantillons intacts en vue d'essais en laboratoire. Des recherches sur les deux (02) sites de matériaux d'emprunts de grave latéritique, une (01) pour la carrière de roche et une autre pour le gîte de sable, ont été réalisées.

C.1.4 Essais in-situ réalisées sur le pont

Trente-six (36) sondages à la tarière mécanique (STM) et trente-six (36) sondages au pénétromètre dynamique lourds type LMSR Geotool, douze (12) essais scissométriques et six (06) essais géophysiques ont été réalisés. La figure 2 Présente les différents points d'implantation des essais in-situ.



Figure 2: Implantation des points des essais in-situ

Légende : PM : Puits manuels SPD : Sondage au Pénétrömètre Dynamique Lourd
 SCISSO : Essais Scissométriques

C.1.5 Matériaux d'emprunts

Des échantillons remaniés sont prélevés en vue de leur identification complète et la détermination de leur aptitude à être utilisée en remblai ou comme granulats pour les couches de chaussée. Lesdits échantillons seront exploités en laboratoire.

C.1.5 Carrière de roche et gites de sable

Un massif rocheux a été repéré dans le village Mbéga et a fait l'objet des sondages carottés de 10 m de profondeur. Des essais Los Angeles (LA) et Micro Deval (MDE) seront effectués en laboratoire pour avoir les caractéristiques mécaniques de ladite roche. Les gites des sables de Mfou et Mbéga ont été également été prélevés.

C.2 Données hydrologiques

C.1.1 Niveau de l'eau

Le Nyong est un cours d'eau abondant, très bien alimenté et assez régulier. Le débit minimal est atteint en février et Mars, tandis que le débit de crue est atteint aux mois d'Octobre et de Novembre. C'est un cours d'eau non navigable dans la zone du projet. La profondeur d'eau atteint environ 9 m au mois de novembre et moins d'un mètre en saison sèche.

Tableau 13: Niveaux caractéristiques des eaux dans la zone du projet

Désignation	Hauteur(m)
PHEC (Plus Hautes Eaux Connues)	653,50
PHEN (Plus Hautes Eaux Navigables)	652,00
PBE(Plus Basses Eaux)	645,00

Source : Résultat de l'étude préliminaire d'hydrologique

I.2.4 CONTRAINTES LIÉES AU PROJET

I.2.4.1 Contraintes techniques de conception de base

I.2.4.1.1 Caractéristiques de la voie portée

Selon le TDR, les éléments de conception à prendre en compte sont les suivants :

- Durée de vie : 15 ans ;
- Largeurs de la bande de roulement : 7,00 m avec adoption d'un profil en travers type 2x1 voies avec accotement de 2x1,50 m ;
- La vitesse de référence : 80 km/h pouvant être réduite à 60 km/h si les contraintes sont fortes ;
- Classe de trafic T2 à confirmer ;
- Longueur de la voie : 1,8 km.

I.2.4.1.2 Caractéristiques du pont

- Tablier unique : une chaussée à 2x1 voies et 2 trottoirs de 1,5m ;
- Nombre de travées non préétabli ;
- Dispositif de retenue : BN4

I.2.4.2 Contraintes environnementales

I.2.4.2.1 Destruction des mises en valeurs

L'exécution des travaux occasionnera la destruction des bâties, des champs de cultures et des lieux sacrés lors de la libération des emprises. Un rapport d'étude d'impact environnementale sera produit après le choix d'une variante de tracé par le Maître d'Ouvrage.

I.2.4.2.2 Augmentation de l'exploitation illégale des ressources forestières

Les politiques forestières du Cameroun étant exposées à des irrégularités et que l'ampleur de la déforestation est de plusieurs formes, la réalisation de ce projet favorisera dans une certaine mesure la coupe illégale du bois et d'autres produits forestiers non ligneux jadis difficiles à cause de l'accès difficile dans la zone.

I.2.4.2.3 Traversée du fleuve

La traversée du fleuve à l'endroit du futur ouvrage n'est pas possible du fait du bac non fonctionnel. Les riverains sont obligés de contourner par la ville de Mbalmayo moyennant des surcoûts financiers et de temps pour atteindre une des rives. De plus, il y a une grande activité d'exploitation du sable dans la zone. Sable vendu sur le marché de Mbalmayo quand le bac fonctionnait.

CONCLUSION PARTIELLE

La zone d'influence directe du projet couvre les départements de la Mefou et Afamba et du Nyong et So'o. Il traverse le fleuve Nyong au lieudit Ekombitié sur une ouverture d'environ 165 ml. Elle s'étend sur 6 916 km² dans le domaine du plateau du sud Cameroun abritant 297 000 habitants avec un taux de croissance de 2%. La population est légèrement dominée par la gent féminine (50,3%). La moyenne d'élèves par classe est de 26 élèves pour la maternelle, 44 pour le primaire et 35 pour le secondaire.

Elle est considérée de faible sismicité avec des vents modérés. Son climat est de type équatorial avec deux grandes saisons de pluies par an, une humidité relative moyenne de 96% et une température moyenne de 24°C.

Les activités économiques des trois (03) secteurs d'activités sont dynamiques. La zone a connu une croissance de 3,8% de son PIB en fin 2019 mais sa balance commerciale reste déficitaire (6,6 % du PIB) mais favorable par rapport à l'année 2018. L'agriculture est la principale activité de la zone avec le cacao, le palmier à huile et le café Robusta comme principales cultures de rente. À cette activité, nous avons la présence d'activités forestières, de pêche et de tourisme.

Le déplacement dans la zone est essentiellement terrestre, pratiqué sur des routes en mauvais état. Les populations sont obligées d'emprunter des trajectoires assez longues pour relier la métropole la plus proche qui est Yaoundé avec de perte de temps énormes, conséquence de l'absence d'une ligne directe traversant la fleuve Nyong qui serait une solution au problème.

Le relief de la zone d'étude est moyennement accidenté avec des zones marécageuses par endroits. Les différents géotechniques effectués sur le site et en laboratoire nous ont donné les informations sur la plateforme des voies d'accès et la nature des fondations adaptée pour notre ouvrage.

CHAPITRE II / ÉTUDES PRÉLIMINAIRES D'OUVRAGES D'ART (E.P.O.A)

INTRODUCTION

L'importance des investissements publics au regard d'une capacité de financement limitée de nos jeunes États obligent à être pointilleux sur le choix desdits investissements et leur programmation. Cette phase passe par une parfaite connaissance des besoins à satisfaire d'une part et d'autre part, au choix d'un investissement ou projet dont la faisabilité technique et financière répondent aux besoins des populations bénéficiaires. Le présent chapitre présente les différents besoins auxquels notre projet est appelé à satisfaire. Il présente le traitement des données de trafic, hydrologiques, hydrauliques et environnementales collectées dans la zone du projet. Ces données nous permettront de proposer au Maître d'Ouvrage des solutions (variantes) envisageables et de faire une estimation des coûts pour chacune d'elles afin d'adopter celle qui sera la plus adaptée à répondre aux besoins des populations. L'ouvrage d'art et la variante de tracé retenus feront l'objet de l'étude des chapitre 3 et 4.

II.1. MATÉRIELS UTILISÉS

Pour cette phase, nous avons eu besoin des matériels suivants :

- La carte géologique du Cameroun à l'échelle 1/1 000 000 ;
- Les cartes géographiques de la zone d'étude et les coordonnées des points géodésiques ;
- L'annuaire des statistiques du Cameroun édition 2016 ;
- Les données hydrométriques de la zone du projet ;
- Le personnel et le matériel (topographique, géotechnique, etc.) utilisés lors de la descente sur le terrain.

II.2. MÉTHODOLOGIE DES ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

L'organigramme méthodologique adopté pour la réalisation des études préliminaires est le suivant :



Figure 3: Organigramme des études préliminaires

II.2.1. TRAITEMENT DES DONNÉES COLLECTÉES

II.2.1.1 Estimation du trafic futur

L'estimation du trafic présentée en annexe 2 nous donne les résultats suivants :

- Le trafic des poids lourds à l'année de mise en service : **T1=144 PL/J/Sens** ;
- Le Nombre cumulé de Poids Lourds sur la durée de vie de la chaussée (15 ans) est :
NPL= 2 081 304 PL ;
- Le Coefficient d'Agressivité Moyen CAM=0,89 ;
- Le Nombre d'Essieux cumulés standards équivalents est : **NE= 1 856 233 PL** ;
- Classe de trafic : **T3**

II.2.1.2 Synthèse des résultats des essais géotechniques

A. Plate-forme de la voie d'accès

Les matériaux de la plate-forme sont pour la plupart sableux et argileux avec une moyenne du CBR=12 et un minimum de CBR=6. Ce qui correspond à la classe de sol S2 conformément au tableau de classification ci-dessous.

Tableau 14: Classe de sol

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

B. Matériaux d'emprunts

Les caractéristiques des matériaux d'emprunts sont consignées dans le tableau 15

Tableau 15: Caractéristiques des matériaux d'emprunts

Portance du sol	Site d'emprunt	Nature du sol	Courbature(m ³)	Distance/au projet	Recommandations
5 < CBR < 10	MFOU	Grave latéritique argileuse	30 096	1,00 km	Couche de remblai, Couche de forme ou de Fondation
CBR > 30	MBEGA		25 432	0,20 km	

Source : Rapport géotechnique

C. Essais sur la roche

Tableau 16: Résultats des essais Los Angeles et Micro Deval

Site	Nature de la roche	H(m)	MDE Humide (%) (Micro Deval)		LA (%) (Los Angeles)		MDE+LA
			6/10	10/14	6/10	10/14	
MBAGA	Roche métamorphique	0-5	60	42	47	45	87
		5-10	35	28	35	40	68

Source : Rapport géotechnique

D. Gites de sable

Les résultats des essais en laboratoire pour les sables prélevés ont des caractéristiques satisfaisantes.

Tableau 17: Caractéristiques des sables

Site	Module de finesse		Analyse granulométrique	
	Valeur	Commentaire	Classe	Recommandation
MBEGA	2,24	Proche des sables fins	0/4	Fabrication des bétons hydrauliques
MFOU	2,4	Satisfaisant	0/4	Fabrication des bétons hydrauliques

Source : Rapport géotechnique

E. Traitement des zones marécageuses

Les assises des sols supports de remblais présentent de faibles portances en zones marécageuses. Ils seront systématiquement purgés et substitués par les matériaux tout-venants 0/D provenant des carrières rocheuses.

Tableau 18: Traitement des zones marécageuses

Site	Longueur du marécage	Reconnaissance	Profondeur de substitution (m)	Nature du sol sous purge	Nature des matériaux de substitution
MBEGA	400 m	SPDL 25 à 31/STM 25 à 31	6,00	Grave roulée de portance > 3,0kg/m ²	Tout-venants
	150 m	SPDL 32 à 33/STM 32 à 33	7,50		
MFOU	460 m	SPDL 25 à 31/STM 25 à 31	1,50	Grave roulée de portance > 1,0kg/m ²	

Source : Rapport géotechnique

F. Résultats des essais de sondage au pénétromètre dynamique (SPD)

Les sols sous le pont présentent des résistances mécaniques faibles. La synthèse des sondages pénétrométriques est présentée l'annexe 3. À l'issue desdits résultats, la variante de tracé 3 présente un sol avec des portances meilleures comparativement aux autres variantes.

G. Proposition de la structure de la chaussée

Connaissant la classe de trafic (T3 Cf. II-2.1.1), la classe du sol(S2) et les caractéristiques des matériaux disponibles, les structures des chaussées suivantes ont été proposées pour les trois (03) variantes.

Tableau 19: Structures de chaussée proposées

Couche	Structure 1	Structure 2
Couche de roulement	4 cm de BB	5 cm de BB
Couche de base	15 cm de GB	35 cm de 0/31,5
Couche de fondation	30 cm en grave concassée 0/31,5 avec CBR ≥ 100	35 cm de GLN
Couche de forme	30 cm de GLN avec CBR ≥ 20	35 cm de GLN avec CBR ≥ 20

Source : Rapport géotechnique

II.2.1.3 Résultats de l'étude hydrologique

A. Étude du bassin versant

Pour le découpage du bassin versant du fleuve Nyong au lieu-dit Ekombitié, nous avons exploités les cartes à l'échelle 1/200 000 des villes environnantes (Bafia, Nanga Eboko, Abong Mbang, Akonolinga et Yaoundé) ayant les courbes de niveau à l'échelle, le fond topographique du site et le logiciel Autocad. Sa surface est de 13 055 km²(Cf. annexe 3).

B. Estimation du débit du projet

Étant donné que le fleuve Nyong est jaugeé à proximité (Ville de Mbalmayo) du site de l'ouvrage, nous utilisons l'analyse fréquentielle de détermination du débit grâce aux coordonnées hydrométriques existantes pour dimensionner les ouvrages. Les coordonnées hydrométriques de la station N°39 de Mbalmayo sont :

- De 1951 à 1977 extraites du manuel « *Fleuves et rivières du Cameroun* » publié en 1986 ;
- De 1998 à 2017 extraites du Centre National de l'Hydrologie.

L'estimation de la fonction de dépassement est présentée dans le tableau 20 ci-dessous.

Tableau 20: Estimation de la fonction de dépassement $P(X)$ et du temps de retour T en fonction des données collectées

De 1951 à 1977				De 1998 à 2017			
Rang	Débit maxi à Mbalmayo	$P= R/(N+1)$	$T= 1/P$	Rang	Débit maxi à Mbalmayo	$P= R/(N+1)$	$T= 1/P$
1	575	0,0370	27,00	1	492	0,0556	18,00
2	506	0,0741	13,50	2	445	0,1111	9,00
3	482	0,1111	9,00	3	425	0,1667	6,00
4	469	0,1481	6,75	4	407	0,2222	4,50
5	443	0,1852	5,40	5	394	0,2778	3,60
6	433	0,2222	4,50	6	392	0,3333	3,00
7	428	0,2593	3,86	7	375	0,3889	2,57
8	412	0,2963	3,38	8	372	0,4444	2,25
9	410	0,3333	3,00	9	339	0,5000	2,00
10	391	0,3704	2,70	10	333	0,5556	1,80
11	391	0,4074	2,45	11	331	0,6111	1,64
12	390	0,4444	2,25	12	317	0,6667	1,50
13	377	0,4815	2,08	13	308	0,7222	1,38
14	374	0,5185	1,93	14	283	0,7778	1,29
15	373	0,5556	1,80	15	260	0,8333	1,20
16	373	0,5926	1,69	16	247	0,8889	1,13
17	371	0,6296	1,59	17	245	0,9444	1,06
18	369	0,6667	1,50				
19	355	0,7037	1,42				
20	337	0,7407	1,35				
21	332	0,7778	1,29				
22	324	0,8148	1,23				
23	320	0,8519	1,17				
24	314	0,8889	1,13				
25	306	0,9259	1,08				
26	304	0,9630	1,04				

Avec :
N : Nombre de valeur
R : Rang

Ajustement statique de l'échantillon

La loi de probabilité utilisée dans notre projet est la **loi de GUMBEL** à la distribution des débits maximaux annuels.

Les résultats obtenus après implémentation dans le logiciel HyfranPlus sont présentés sur la figure 4.

Gumbel (Maximum Likelihood)

Results of the fitting

Number of observations : 26

Parameters

u 360.705573
 alpha 51.201855

Quantiles

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

T	q	XT	Standard deviation	Confidence interval (95%)
10000.0	0.9999	832	78.2	679 - 986
2000.0	0.9995	750	65.3	622 - 878
1000.0	0.9990	714	59.8	597 - 832
200.0	0.9950	632	47.0	540 - 724
100.0	0.9900	596	41.5	515 - 678
50.0	0.9800	560	36.1	490 - 631
20.0	0.9500	513	28.9	456 - 569
10.0	0.9000	476	23.5	430 - 522
5.0	0.8000	438	18.2	402 - 473
3.0	0.6667	407	14.5	379 - 435
2.0	0.5000	379	11.7	356 - 402
1.4286	0.3000	351	10.2	331 - 371
1.2500	0.2000	336	10.1	317 - 356
1.1111	0.1000	318	10.7	297 - 339
1.0526	0.0500	305	11.6	282 - 327
1.0204	0.0200	291	12.8	266 - 316
1.0101	0.0100	283	13.6	256 - 309
1.0050	0.0050	275	14.4	247 - 304
1.0010	0.0010	262	16.0	230 - 293
1.0005	0.0005	257	16.6	224 - 289
1.0001	0.0001	247	17.9	212 - 282

Figure 4: Ajustement des débits maximaux à l'aide du logiciel HyfranPlus

Avec les courbes de tendances des deux séries, nous avons les débits du projet consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21: Estimations du débit Décennal et Centennal du projet

Débit	De 1951 à 1977	De 1998 à 2017
Débit décennal Q_{10} (m ³ /s)	$Q_{10} = 476$	$Q_{10} = 461$
Débit centennal Q_{100} (m ³ /s)	$Q_{100} = 596$	$Q_{100} = 613$

Les débits de calcul du projet retenus sont : $Q_{10} = 476$ m³/s et $Q_{100} = 613$ m³/s

II.2.1.4 ÉTUDE HYDRAULIQUE

A. Détermination de la côte de l'eau

Cette détermination est faite à l'aide HEC-RAS 4.1.0 qui est un logiciel de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux. Il utilise les équations à surface libre (St-Venant, Manning-St) et les modèles pour seuils, le frottement, etc. Après simulation sur les différentes variantes de ponts pour un débit de 675 m³/s (valeur obtenue par le BET), **la côte de l'eau est de 654,30m** (Cf. annexe 4).

B. Détermination du tirant d'air

Le tirant d'air est la hauteur libre entre la côte d'eau et celle sous poutre. Suivant les indications du document « d'hydraulique routière BCEOM », nous choisissons un tirant d'air de 3,00 m étant donné que le projet est en zone forestière et la portée du pont est supérieure à 50 m. **la côte minimale sous poutre est 657,30 m.**

C. Étude de l'affouillement

L'étude de l'affouillement est effectuée pour les trois (03) variantes de tracé et à l'aide du logiciel HEC-RAS, la profondeur de chaque culée et chaque pile a été calculée pour chaque variante de portée de pont.

Les variantes de portées retenues pour l'étude sont :

- Le pont en BA de 165 m de longueur constitué de 14 travées avec 22m de portée principale ;
- Le pont en BA de 165 m de longueur constitué de 11 travées avec 15 m de portée principale ;
- Le pont en BA de 165 m de longueur constitué de 9 travées avec 20 m de portée principale ;
- Le pont en BP de 165 m de longueur constitué de 5 travées avec 33 m de portée principale ;
- Le pont en BP de 168 m de longueur constitué de 4 travées avec 42 m de portée principale ;
- Le pont à Bipoutre de 170 m de longueur constitué de 4 travées avec 55 m de portée principale ;
- Pont à Bipoutre de 190 m de longueur constitué de 4 travées avec 60 m de portée principale ;
- Pont à Bipoutre de 165 m de longueur constitué de 3 travées avec 65 m de portée principale.

Affouillement pour la variante de tracé 1

Tableau 22: Valeurs des affouillements pour la variante de tracé 1

Désignation	Pont de 165 m		Pont de 168 m		Pont de 170 m		Pont de 190 m	
	Coté Mfou	Coté Mbéga						
Profondeur d'affouillement aux culées (m)	7,4	9,5	6,8	9,5	6,4	9,5	3,3	9,1
Profondeur d'affouillement aux piles(m)	1,1		1,1		1,1		1,1	

Source : Rapport d'études hydraulique et hydrologique

Affouillement pour les variantes de tracé 2 et 3

Les culées et piles de ces variantes de tracés sont toutes ancrées dans le rocher, la solution adoptée est de protéger ces appuis en profondeur par des enrochements.

D. Calcul des sections d'ouvrages d'assainissement le long de la voie d'accès.

Les différents ouvrages hydrauliques et les sections retenues pour l'assainissement longitudinal des voies d'accès sont consignés en annexe 5.

II.2.2. ÉTUDE DES SOLUTIONS ENVISAGÉES ET ESTIMATION DU COÛT DE CHAQUE VARIANTE

II.2.2.1 Proposition des variantes de tracés pour analyse

Suite aux différentes descentes sur le site du projet avec la brigade topographique et après analyses des données topographiques, quatre (04) potentiels tracés ont été identifiés :

Variante de tracé 0 : c'est la voie existante pour se rendre au bac d'une longueur de 2 431 ml environ. Elle va du PK0(1^{er} carrefour Ekombitié) jusqu'au 3^e carrefour.

Variante de tracé 1 : d'un linéaire total de 3 378 ml avant de rejoindre la Nationale N°09, elle a une ouverture sur le fleuve d'environ 125 ml et traverse une zone marécageuse qui s'étend pratiquement sur 500 ml. Son relief est accidenté et la profondeur du cours d'eau au droit de la traversée est estimée à 6,80 ml. La hauteur maximale de remblai est de 8m au niveau du pont et s'étend sur 800m coté Mbéga et 30 m coté Ekombitié.

Variante de tracé 2 environ à 450 m du bac actuel et traverse une partie du village Ekombitié avec une ouverture d'environ 100 ml et de profondeur estimée à 5,50 m. la hauteur maximale de remblai est de 12,00 m au niveau de l'ouvrage. Son linéaire est estimé à 3 508 ml.

Variante de tracé 3 : elle passe environ à 215 ml du bac actuel. Elle traverse des champs sur environ 200 ml pour retrouver la Nationale N°09 et a pour longueur estimée de 3 387ml. Son ouverture sur le fleuve est de 115 ml avec une profondeur estimée à 6,00m. le remblai proche de l'ouvrage de franchissement a environ 12 m de hauteur et s'étend sur 310 ml coté Mbéga et 230 ml coté Ekombitié.

Les variantes 1,2 et 3 ont été retenues pour l'analyse multicritère. Le tracé 0 est écartée en raison de la profondeur importante (10 m environ) du cours d'eau et servira de déviation en phase des travaux et le bac servira à traverser le fleuve. Vue en plan des variantes de tracés (annexe 6).

A. Critères d'évaluation pour l'analyse des tracés

Les critères retenus sont les suivants auxquels nous attribuons des côtes selon leurs importances :

- La longueur des accès au pont (Note=05/100) : ce critère permet d'évaluer l'influence du linéaire des voies d'accès sur le choix du tracé. Ainsi, le linéaire le plus faible sera privilégié. Il influence directement le coût de l'ouvrage mais ne constitue pas un critère déterminant ;
- La longueur de l'ouverture du cours d'eau sur le tracé (Note=15/100) : il influence également le coût final et constitue l'un des critères déterminants ;
- Hydrologie et l'hydraulique concerné sur le tracé (Note=20/100) : plus le cours d'eau est profond au point de passage, plus il faut une technologie de pointe et plus le temps d'exécution est élevé. Ce critère est donc parmi les plus déterminant pour le choix du tracé ;
- Les données topographiques et géotechniques (Note=10/100) : bien que très important pour le choix des fondations, il n'est pas déterminant. Les études géotechniques recommandent les fondations superficielles pour les variantes de tracé 2 et 3. Pour la variante 1, nous avons les fondations superficielles sur une rive et semi profondes sur l'autre rive.
- La géométrie du tracé (05/100) : l'élément de comparaison est l'indice de sinuosité qui est le rapport entre la longueur courbe du tracé par la longueur droite pour partir d'un point A à un point B. plus cet indice est faible, plus le tracé aura de points.
- Le coût du tracé (Note=30/100) : c'est le critère le plus déterminant qui valorise le tracé. Il permet de valoriser les tracés dont le coût de réalisation sera le moins disant ;
- Le volume des terrassements (Note=05/100) : À travers ce critère, les variantes qui permettent de minimiser les emprunts sont valoriser. Il permet d'évaluer l'influence des volumes de déblais et de remblais pour chaque variante de tracé. Cette influence est caractérisée par l'indice des mouvements de terre. Si jamais les volumes des terrassements sont importants, on peut faire une piste rurale comme solution alternative étant entendu que le but principal du projet est la construction du pont ;
- L'environnement du projet (Note=10/100) : il permet d'évaluer l'impact environnemental et social qu'impose le tracé sur la zone du projet et les villages voisins. Dans le cas présent, ce critère semble négligeable du fait que toutes les variantes sont sensiblement dans la même zone et ne traverse pas les zones protégées. Les impacts négatifs sont presque les mêmes pour toutes les variantes. Les paramètres pris en compte dans ce critère sont :
 - Les mises en valeur affectées et le patrimoine foncier ;
 - Les impacts sur les localités environnantes et la perte de la biodiversité ;
 - L'ouverture du cours d'eau ;

- Les populations et activités économiques autour du site des tracés ;
- Les biens économiques touchés.

Les détails d'analyse sont présentés en annexe 7.

B. Résultat de l'Analyse multicritère des variantes de tracés

Après analyse des différentes variantes de tracés par application des critères ci-dessus définis.

Le classement et les notes finales de chaque tracé sont :

1^{er} : variante 3 avec une note de 91,45/100 ;

2^{ème} : variante 2 avec une note de 88,11/100 ;

3^{ème} : variante 1 avec une note de 65,39/100

Les détails de l'analyse sont consignés dans le tableau 23, page 26.

Tableau 23: Analyse multicritère des variantes de tracés

Réf.	Critères d'évaluation	Critère de notation	Note max	Notes			
				Variante 1	Variante 2	Variante 3	
1	Longueur des accès au pont	$N_i = \frac{L_0}{L_i} \times 5$ $L_0 = \text{Plus petite longueur du tracé}$ $L_i = \text{Longueur du tracé de la variante}$	5	$L_0 = 3377,89$ $L_i = 3377,89$ Note = 5	$L_0 = 3377,89$ $L_i = 3507,99$ Note = 4,82	$L_0 = 3377,89$ $L_i = 3387,25$ Note = 4,98	
2	Longueur de l'ouvrage d'art	$N_i = \frac{P_0}{P_i} \times 15$ $P_0 = \text{Plus petite portée}$ $P_i = \text{Portée de l'ouvrage tracé de la variante}$	15	$P_0 = 100$ $P_i = 125$ Note = 12	$P_0 = 100$ $P_i = 100$ Note = 15	$P_0 = 100$ $P_i = 115$ Note = 13,04	
3	Hydrologie et l'hydraulique	$N_i = \frac{H_0}{H_i} \times 20$ $H_0 = \text{Plus petite profondeur}$ $P_i = \text{Profondeur de l'eau sur tracé de la variante}$	20	$H_0 = 4,90$ $H_i = 7,10$ Note = 13,80	$H_0 = 4,90$ $H_i = 4,90$ Note = 20	$H_0 = 7,10$ $H_i = 6,20$ Note = 17,46	
4	Données topographiques et géotechniques	La note est fonction du type de fondation : Fondation superficielle = 10 Fondation semi profonde = 5	10	Fondation semi profonde Note = 5	Fondation superficielle Note = 10	Fondation superficielle Note = 10	
5	La géométrie du tracé	$N_i = \frac{S_0}{S_i} \times 5$ $S_0 = \text{Plus grande sinuosité}$ $S_i = \text{Sinuosité de la variante}$	5	$S_0 = 0,2197$ $S_i = 0,8994$ Note = 1,22	$S_0 = 0,2197$ $S_i = 0,2232$ Note = 4,92	$S_0 = 0,2197$ $S_i = 0,2197$ Note = 5	
6	Le coût du tracé (Montant TTC)	$N_i = \frac{C_0}{C_i} \times 30$ $C_0 = \text{Plus petit coût}$ $C_i = \text{Coût de la variante}$	30	$C_0 = 2\ 322\ 225\ 319$ $C_i = 3\ 841\ 300\ 910$ Note = 18,14	$C_0 = 2\ 322\ 225\ 319$ $C_i = 3\ 841\ 300\ 910$ Note = 20,66	$C_0 = 2\ 322\ 225\ 319$ $C_i = 2\ 322\ 225\ 319$ Note = 30	
7	Volume des terrassements	$N_i = \frac{V_0}{V_i} \times 5$ $V_0 = \text{Plus petit indice des mouvements de terre}$ $V_i = \text{Indice des mouvements de terre de la variante}$ $V = 1 - D/R \text{ Avec : } D = \text{Vol. de déblais et } R = \text{Vol. remblais}$	5	$V_0 = 3,96$ $V_i = 5,87$ Note = 3,37	$V_0 = 3,96$ $V_i = 3,96$ Note = 5	$V_0 = 3,96$ $V_i = 4,04$ Note = 4,90	
8	L'environnement du projet	Impact sur les localités, activités économiques autour du tracé, mise en valeur affectée et patrimoine foncier, etc.	10	6,86	7,43	7,71	
CONCLUSION			NOTE FINALE	/100	65,39	87,83	91,45
			RANG		3^{eme}	2^{eme}	1^{er}

II.2.2.1 Proposition des variantes d'ouvrages pour analyse

A. Choix des ouvrages

D'après les exigences du TDR, nous devons proposer trois (03) types d'ouvrages.

À partir de la figure 5 qui donne le type d'ouvrage en fonction des portées des travées principales, nous sélectionnons pour notre projet les ouvrages suivants :

Type 1 (5 à 25 m de portée) : Voutes en maçonnerie, dalles pleines en béton armé ou précontraint, poutres en béton armé.

Type 2 (25 à 60 m de portée) : poutres en béton précontraint ou poutres mixtes aciers-béton de hauteur constante, de section rectangulaire ou I.

Type 3 (60 à 150 m de portée) : poutres en béton précontraint de section en caisson ou poutres mixtes aciers-béton en caisson ou en I, de hauteur variable.

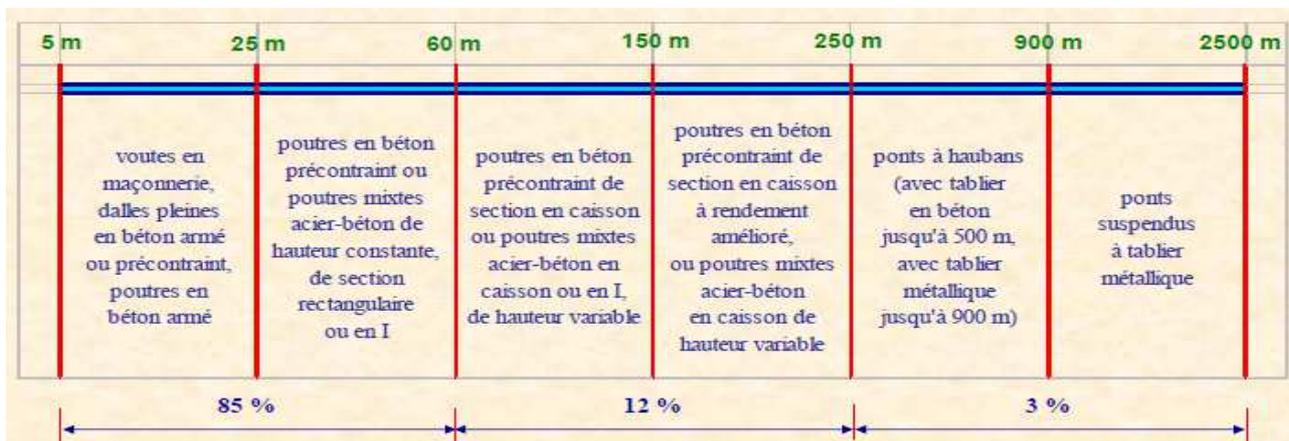


Figure 5: Types de ponts en fonction de la portée principale

B. Analyse comparative des types d'ouvrages

Dans une première approche, nous faisons une analyse comparative basée sur les avantages et inconvénients des types d'ouvrages qui feront l'objet d'une analyse multicritères.

La zone du projet étant de type rurale, l'architecture du pont ne sera pas l'élément privilégié lors de la conception de notre projet. Pour motifs de simplification d'esthétique et de complexité ou encore pour technologie ancienne, certains ponts ne seront pas analysés. Il s'agit des ponts en maçonneries, les ponts voutés, à arcs, suspendus, à haubans, les ponts cadre, les ponts portiques, à béquille, les ponts à section variables. L'analyse comparative des ouvrages est présentée dans les tableaux 24 et 25 des pages 28 et 29 ci-dessous.

Tableau 24: Analyse comparative des d'ouvrages présélectionnés du type 1

OUVRAGE TYPE 1							
Types d'ouvrages	Portée min	Domaine privilégié	Portée max	Nbre de travées	Avantages	Inconvénients	Décision
OUVRAGE EN BÉTON ARME							
Pont à poutres	5m	10 à 15 m	15 m	Min : 11 Max :33	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Économie de béton ; ✓ Calcul non complexe ; ✓ Facilité d'exécution 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Couteux en main d'œuvre ; ✓ Peu esthétique ; ✓ Poids du tablier élevé. 	Présélectionné
Pont dalle	7 m	8 à 18 m	20 m	Min : 9 Max :24	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Économie de coffrage ; ✓ Facilité d'exécution ; ✓ Esthétique ; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calcul complexe ; ✓ Taux d'acier élevé contrairement aux ponts poutres. 	Non sélectionné
OUVRAGE EN BÉTON PRÉCONTRAIT							
Pont dalle	14 m	14 à 20 m	25 m	Min : 7 Max :12	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esthétique du fait de sa minceur ; ✓ Rapidité de mise en œuvre ; ✓ Nécessite peu d'entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Besoin de main d'œuvre qualifiée ✓ Calcul complexe ; ✓ Coût élevé. 	Non sélectionné
Pont à poutres	20 m		25 m	Min : 7 Max :9	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esthétique du fait de sa minceur ; ✓ Rapidité de mise en œuvre ; ✓ Nécessite peu d'entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Besoin de main d'œuvre qualifiée ✓ Calcul complexe ; ✓ Coût élevé. 	Présélectionné
OUVRAGE MÉTALLIQUE							
Poutres enrobées	8 m	8 à 25 m 10 à 30 m	30 m	Min : 6 Max :21	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mise en œuvre facile et rapide ; ✓ Structure légère ; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calcul complexe ; ✓ Nécessite l'entretien ; ✓ Besoin de main d'œuvre qualifiée 	Non sélectionné

Tableau 25: Analyse comparative des d'ouvrages présélectionnés du type 2

OUVRAGE TYPE 2						
Types d'ouvrages	Portée min	Domaine privilégié	Portée max	Avantages	Inconvénients	Décision
OUVRAGE EN BÉTON PRÉCONTRAIT						
Pont à poutres type VIPP	30 m	35 à 54 m	50 m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esthétique du fait de sa minceur ; ✓ Rapidité de mise en œuvre ; ✓ Nécessite peu d'entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Besoin de main d'œuvre qualifiée ✓ Calcul complexe ; ✓ Coût élevé. 	Présélectionné
OUVRAGE MÉTALLIQUE						
PSIPAP		28 à 36 m		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esthétique ; ✓ Structure légère ; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Besoin de main d'œuvre qualifiée ✓ Calcul complexe ; ✓ Coût élevé. 	Non sélectionné

Tableau 26: Analyse comparative des d'ouvrages présélectionnés du type 3

OUVRAGE TYPE 3						
Types d'ouvrages	Portée min	Domaine privilégié	Portée max	Avantages	Inconvénients	Décision
OUVRAGE MÉTALLIQUE						
Tablier bipoutre mixte isostatique	30 m	50 à 80 m	90 m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esthétique ; ✓ Structure légère ; ✓ Calcul peu complexe ; ✓ Facile à mettre en œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nécessité d'entretien pour lutter contre la corrosion ; ✓ Section non optimisée. 	Non sélectionné
Tablier bipoutre mixte continu	30 m	50 à 80 m	110 m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esthétique ; ✓ Structure légère ; ✓ Facile à mettre en œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nécessité d'entretien pour lutter contre la corrosion ; ✓ Calcul complexe 	Présélectionné

À l'issue de cette pré-sélection, trois types d'ouvrages sont retenus :

❖ **Les ponts à poutres en BA pour les portées inférieures à 25 m**

- Pont à poutres en BA de 12 m de portée principale ;
- Pont à poutres en BA de 15 m de portée principale ;
- Pont à poutres en BA de 20 m de portée principale.

❖ **Les ponts béton précontraint continu pour les portées de 25 à 250 m**

- Pont à poutre BP de 33 m de portée principale ;
- Pont à poutre BP de 42 m de portée principale.

❖ **Les ponts bipoutres mixtes continus pour les portées des portées de 30 à 110 m**

- Pont mixte à bipoutre de 55 m de portée ;
- Pont mixte à bipoutre de 60 m de portée ;
- Pont mixte à bipoutre de 75 m de portée.

Tableau 27: Caractéristiques des ouvrages présélectionnés

Ouvrages	Balancement des portée	Nombre de travées de rives	Nombre de travées de intermédiaires	Nombre de travées	Longueur totale du pont
<i>Ponts à poutres en BA pour les portées inférieures à 25 m</i>					
Portée de 12 m	0,85	12 de 12 m	2 de 10,50 m	14	165 m
Portée de 15 m	1	9 de 19 m	2 de 15 m	11	165 m
Portée de 20 m	0,625	7 de 20 m	2 de 12,50 m	9	165 m
<i>Ponts à poutres en béton précontraint pour les portées de 25 à 250 m</i>					
Portée de 33 m	1	3 de 33 m	2 de 33 m	5	165 m
Portée de 42 m	1	2 de 42 m	2 de 42 m	4	168 m
<i>Ponts bipoutres mixtes continu pour les portées de 30 à 110 m</i>					
Portée de 55 m	0,545	2 de 55 m	2 de 30 m	4	170 m
Portée de 60 m	0,58	2 de 60 m	2 de 35 m	4	190 m
Portée de 65 m	0,769	1 de 65 m	2 de 50 m	3	165 m

C. Critères d'évaluation pour l'analyse multicritère des ouvrages

Les critères pris en compte sont les suivants :

- Le nombre d'appuis dans l'eau : il influence le coût de construction et le délai d'exécution. De plus, le sol étant marécageux, il est important de limiter le nombre d'appui dans l'eau. **Note=15/100** ;
- La technologie de construction et la durabilité : plus elle est complexe, plus il est nécessaire de faire appel au matériel non disponible dans les zones rurales. Ceci ayant une influence directe sur la durée et le coût de l'ouvrage. **Note=10/100** ;
- La technologie de construction accessible aux entreprises locales en termes de main d'œuvre et des matériaux de construction : ce critère permet de valoriser les entreprises et la main d'œuvre locales tout en conservant les devises nationales. Ainsi, les variantes d'ouvrage dont la technologie est accessible aux entreprises locales et dont les matériaux sont disponibles localement sont privilégiées. Mais il n'est pas déterminant. **Note=10/100** ;
- Délai de construction : il influence directement le coût de construction de l'ouvrage. Plus le délai est important, plus l'ouvrage est coûteux. In constitue donc un critère déterminant. **Note=20/100** ;
- Le coût de réalisation de l'ouvrage : c'est le critère le plus important. **Note=35/100** ;
- Le taux d'entretien : les variantes d'ouvrages nécessitant le moins d'entretien pendant leur exploitation seront privilégiées. **Note=10/100**

Les détails d'analyse de certains critères sont présentés en annexe 8.

D. Estimation des coûts pour chaque variante

C'est un critère très déterminant pour le choix de l'ouvrage et du tracé. L'estimation est faite sur la base des prix unitaires des projets similaires réalisées dans le pays. Les étapes menant à la détermination du coût du projet sont les suivantes :

- Pré dimensionner les variantes de ponts et de tracés sélectionnés ;
- Établir l'avant métré de chaque variante d'ouvrage et de tracé ;
- Calculer les prix unitaires moyens des ouvrages et tracés dans la région ou le pays ;
- Déduire le coût des travaux (ouvrage + voie d'accès) pour chaque variante de tracés sur la base des prix unitaires moyens et des avant métrés.

Le tableau 28 de la page 32 est le récapitulatif des coûts du projet sur la variante de tracé 3 (variante de tracé retenue).

Tableau 28: Récapitulatif des coûts du projet sur la variante de tracé 3

Désignation	Travées		Long.	Coûts TTC de l'ouvrage	Coûts TTC de la voie d'accès	Coût du projet : Ouvrage + voie d'accès
	Long.	Nbre.				
Pont BA 12 m de travée	12,00	14	165 m	4 354 432 377	2 322 225 319	6 676 657 696
Pont BA 15 m de travée	15,00	11	165 m	4 165 635 645	2 322 225 319	6 486 860 964
Pont BA 20 m de travée	20,00	9	165 m	4 084 652 229	2 322 225 319	6 406 877 584
Pont BP 33 m de travée	33,00	5	165 m	4 988 810 816	2 322 225 319	7 311 036 135
Pont BP 42 m de travée	42,00	4	168 m	5 988 593 575	2 322 225 319	8 310 818 894
Pont Mixte 55 m de travée	55,00	4	170 m	6 122 137 961	2 322 225 319	8 444 363 922
Pont Mixte 60 m de travée	60,00	4	190 m	6 877 469 813	2 322 225 319	9 199 695 132
Pont Mixte 65 m de travée	65,00	3	165 m	6 172 144 793	2 322 225 319	8 494 370 112

Tableau 29: Analyse multicritère des variantes d'ouvrages d'art

Réf.	Critères d'évaluation	Critère de notation	Note max	Notes							
				Ponts poutres en BA			Ponts poutres en BP		Ponts mixtes bipoutres		
				V1 : Portée 12 m	V2 : Portée 15 m	V3 : Portée 20 m	V4 : Portée 33 m	V5 : Portée 42 m	V6: Portée 55 m	V7 : Portée 60 m	V8 : Portée 65 m
1	Le nombre d'appuis dans l'eau	$N_i = \frac{N_0}{N_i} \times 15$ $N_0 = \text{Plus petite nombre d'appuis}$ $N_i = \text{Nombre d'appuis de la variante}$	15	$N_0 = 2$ $N_i = 15$ Note = 2	$N_0 = 2$ $N_i = 12$ Note = 2,5	$N_0 = 2$ $N_i = 9$ Note = 3,33	$N_0 = 2$ $N_i = 6$ Note = 5	$N_0 = 2$ $N_i = 5$ Note = 6	$N_0 = 2$ $N_i = 3$ Note = 10	$N_0 = 2$ $N_i = 3$ Note = 10	$N_0 = 2$ $N_i = 2$ Note = 15
2	Technologie de construction et durabilité	<ul style="list-style-type: none"> Suivant que la technologie soit simple, moyenne ou de pointe ; Nécessité d'une grue de 50T ou 100T 	10	Tech. Simple Grue de 50T Note= 10	Tech. Simple Grue de 50T Note= 9,5	Tech. Simple Grue de 100T Note= 09	Tech. Complexe Grue de 100T Note= 06	Tech. Complexe Grue de 100T Note= 06	Tech. Complexe Grue de 50T Note= 07	Tech. Complexe Grue de 50T Note= 07	Tech. Complexe Grue de 50T Note= 06
3	Technologie accessible aux entreprises locales	<ul style="list-style-type: none"> Logistique ; Main d'œuvre et matériel disponibles localement. 	10	Note = 10	Note = 10	Note = 9,5	Note = 5	Note = 5	Note = 8	Note = 7,5	Note = 7
4	Délai de construction	$N_i = \frac{D_0}{D_i} \times 20$ $D_0 = \text{Plus petite durée (Mois)}$ $D_i = \text{durée de la variante (Mois)}$	20	$D_0 = 20,08$ $D_i = 44,4$ Note = 9,04	$D_0 = 20,08$ $D_i = 39,7$ Note = 10,11	$D_0 = 20,08$ $D_i = 36,5$ Note = 11,00	$D_0 = 20,08$ $D_i = 28,13$ Note = 14,27	$D_0 = 20,08$ $D_i = 24,14$ Note = 16,63	$D_0 = 20,08$ $D_i = 23,97$ Note = 16,75	$D_0 = 20,08$ $D_i = 24,00$ Note = 16,73	$D_0 = 20,08$ $D_i = 20,08$ Note = 20
5	Coût de réalisation de l'ouvrage (TTC)	$N_i = \frac{C_0}{C_i} \times 35$ $C_0 = \text{Plus petit cout}$ $C_i = \text{Cout de la variante}$	35	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 4354432377$ Note = 32,83	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 4227065799$ Note = 33,82	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 4084652229$ Note = 35	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 4988810816$ Note = 28,65	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 5988593575$ Note = 23,87	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 6122137691$ Note = 26,69	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 6877469813$ Note = 23,76	$C_0 = 4084652229$ $C_i = 6172144793$ Note = 26,83
6	Le taux d'entretien	<ul style="list-style-type: none"> Garde-corps, sablage, peinture ; Assemblages métalliques. Appareil d'appui, joint de chaussée, BB. 	10	9	9,5	10	8	8	5	5	5
CONCLUSION		NOTE FINALE	/100	67,87	70,43	77,83	64,92	63,50	69,44	69,99	79,83
		RANG		6 ^{ème}	3 ^{ème}	2 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	5 ^{ème}	4 ^{ème}	1 ^{er}

II.2.3. ÉTUDE DE LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DU PROJET

Parmi les éléments justifiant un projet, nous avons la rentabilité économique qui est une comparaison entre les recettes générées par le projet et les dépenses qu'ils impliquent.

La rentabilité économique d'un projet est calculée par la méthode classique coûts/avantages. Les flux annuels des coûts et avantages sont actualisés à 12% pendant la durée de vie du projet. Les indicateurs de rentabilité sont les avantages nets actualisés et le taux de rentabilité interne. Les calculs sont réalisés par les modèles HDM-4-2-10. Les indicateurs de rentabilité pour notre projet sont les suivants :

Tableau 30: Synthèse des indicateurs de rentabilité

Variantes de construction	Variante tracé 1		Variante tracé 2		Variante tracé 3	
	VAN (Millions F)	TRI (%)	VAN (Millions F)	TRI (%)	VAN (Millions F)	TRI (%)
Pont BA	10 676	31,9	4 302	19	5 469	22
Pont Mixte	2 496	15	3 337	17	3 684	17,7

CONCLUSION PARTIELLE

Les études menées dans ce chapitre nous ont permis de sélectionner un type de pont et une variante de tracé qui feront l'objet des études techniques des chapitres 3 et 4. Cette sélection est basée sur une analyse multicritère des différentes solutions envisagées. Elle est assortie d'une étude de la rentabilité économique du projet qui justifie l'investissement du point de vue financier.

C'est ainsi que le choix s'est porté sur la variante de tracé 3, classée première devant les variantes 2 et 1 classées deuxième et troisième respectivement.

La classe de trafic T3 est celle obtenue pour l'étude de la structure de la chaussée avec une plate-forme de classe S2 et un Nombre d'Essieux équivalents NE= 2 081 304 PL.

Le pont mixte de 65 m de portée principale est classé premier devant les ponts en béton armé de 20 m et 15 m de portées principales respectivement deuxième et troisième et troisième.

CHAPITRE III / DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE RETENU

INTRODUCTION

Le but de ce chapitre est de pré dimensionner la dalle et les poutres principales du tablier de l'ouvrage retenu, d'évaluer les charges et surcharges appliquées sur l'ouvrage. Enfin de dimensionner le tablier et les parties en infrastructure.

III.1. MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels et logiciels utilisés pour cette partie sont :

- Microsoft Excel et Word 2016 : pour les notes de calculs et rédaction du rapport ;
- PYBAR et Autocad Structural Analysis Professional 2014 pour la détermination des efforts internes et externes de la structure ;
- Autocad 2018 pour les plans d'exécution ;

III.2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

L'étude de l'ouvrage d'art est menée suivant l'organigramme ci-dessous :

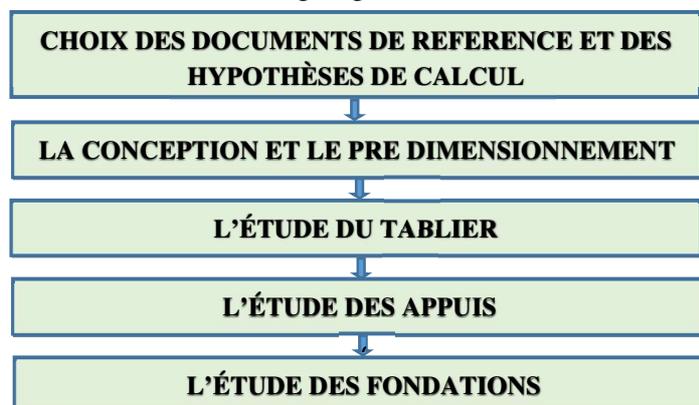


Figure 6: Organigramme de l'étude de l'ouvrage d'art retenu

III.2.1. DOCUMENTS DE REFERENCE ET HYPOTHÈSES DE CALCULS

III.2.1.1. Documents de références

Les documents utilisés dans notre travail sont les suivants :

- ✦ **EUROCODE 0** : « Base de calcul des structures » ;
- ✦ **EUROCODE 1** : « Actions sur les structures » ;
- ✦ **EUROCODE 2** : « Calculs des structures en béton » ;
- ✦ **EUROCODE 3 et 4** : « Calcul des structure mixtes acier-béton » ;
- ✦ **DTU 13.1** : « Calculs des fondations » ;

III.2.1.2. Hypothèses de calculs

A. Hypothèses sur les charges

❖ Charges permanentes

- Béton armé 25 kN/m³
- Trottoir en béton 25 kN/m³
- Corniche en béton 0,5 kN/ml
- Étanchéité et revêtement 24 kN/m²
- Bordure T4 0,3 kN/ml
- Barrière BN4 0,08 kN/ml

❖ Charges routières

- Surcharges de trottoir 5 kN/m²
- Surcharges du modèle LM1
 - Charges concentrées à double essieux (Tandem TS)
 - Charges uniformément réparties (UDL)
- Surcharges du modèle LM2 (Charge d'essieu unique)
- Surcharges du modèle FLM2 (constitué d'un seul camion à 4 essieux)
- Effort de freinage

❖ Autres charges

- Le retrait du béton à long terme.

B. Hypothèses sur les matériaux

❖ Béton

- Béton pour tablier : C25/30 $F_{Ck} = 25 \text{ Mpa}$ $F_{cm} = 33 \text{ Mpa}$ $F_{ctm} = 2,60 \text{ Mpa}$
- Béton pour infrastructure : C35/40 $F_{Ck} = 35 \text{ Mpa}$ $F_{cm} = 43 \text{ Mpa}$ $F_{ctm} = 3,20 \text{ Mpa}$
- Classe d'exposition XC3 pour le tablier « face supérieure protégée par une étanchéité »

❖ Aciers passifs

- Aciers longitudinaux : FE500
- Aciers transversaux : FE500

❖ **Aciers pour construction métallique**

- Poids : 77 kN/m^3
- Nuance : FE510 avec $f_{yb} = 355 \text{ N/mm}^2$. La limite d'élasticité des tôles dépend de leur épaisseur.
- Module d'élasticité : $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

C. Sol de fondation

Nous allons exploiter les résultats des études géotechniques qui donnent des recommandations sur les fondations adaptées.

D. Calcul de ferrailage

- Fissuration : elle sera considérée préjudiciable pour toutes les parties d'ouvrage ;
- Enrobage : 3 cm pour le tablier et 4 cm pour les piles, les culées et les fondations.
- Durée d'application des charges : $> 24 \text{ h}$;

E. Les connecteurs

Goujon : $\Phi = 22 \text{ cm}$ $f_y = 350 \text{ Mpa}$ $f_u = 450 \text{ Mpa}$

III.2.2. CONCEPTION ET PRE DIMENSIONNEMENT

III.2.2.1. Tablier

L'ouvrage retenu pour la suite de l'étude est un pont à poutre mixte (acier-béton) de **classe 1** dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Longueur totale : 165,00 m
- Largeur totale : $B = 10,00 \text{ m}$
- Nombre de travées : 3 ($2 \times 50 + 1 \times 65$)
- Portée déterminante : $L = 65,00 \text{ m}$

Éléments du tablier

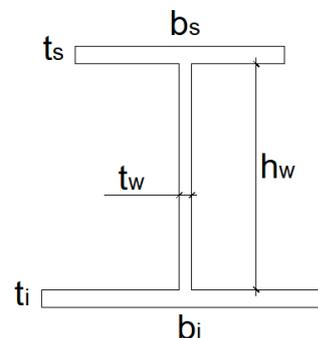
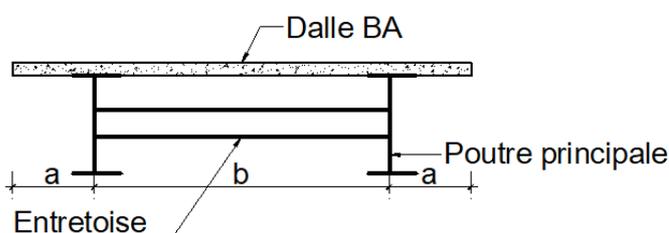


Figure 7: Éléments du tablier et géométrie de la poutre principale

Après pré dimensionnement, les caractéristiques des éléments du tablier sont consignées dans le tableau 31, page 37.

Tableau 31: Dimensions des éléments du tabliers

Réf.	Partie	Éléments	Dimensions
1	Dalle	Épaisseur de la dalle	Au centre(ép.=30cm) en appuis (ép.=40 cm)
		Distance entre les poutres principales	b = 5,50 m
		Longueur de la console	a = 2,25 m
2	Poutre principale	Hauteur de l'âme	hw = 2300 mm
		Épaisseur de l'âme	tw = 28mm
		Largeur de la semelle sup.	bs = 900 mm
		Largeur de la semelle inf.	bi = 1000 mm
		Épaisseur des semelles	ti = ts= 100 mm
		Intermédiaire (esp. Max 6,5 m)	HEA 550

Détails de prédimensionnement (Cf. annexe 9)

III.2.2.2. Piles et culées

A. Piles

Nous choisissons une pile colonne constituée d'un chevêtre, de deux (02) colonnes et d'une semelle de liaison dont les dimensions sont :

Chevêtre : Longueur : **Lc= 9,00 m** Largeur : **lc= 1,60 m** Hauteur : **hc= 1,20 m**

Colonnes : **D= 1,20 m** **Hcol= hauteur variable** en fonction du point d'implantation.

Semelle liaison : Elle sera déterminée suivant l'étude géotechnique.

B. Culées

Suivant les recommandations des études géotechniques, nous optons pour :

Coté Mbéga : une culée remblayée constituée d'un voile en BA et d'une semelle ancrée sur béton cyclopéen (gros béton) ou fondée sur des puis sur une hauteur de 5 m.

Coté Mfou : une culée remblayée constituée d'un voile en BA et d'une semelle ancrée dans la roche à 4,00 m de profondeur.

III.2.3. DIMENSIONNEMENT DU TABLIER

III.2.3.1. Étude de la dalle

La dalle étudiée présente dans sa section transversale une partie en console et une partie centrale appuyée sur deux (02) poutres principales. Elle est portée dans un seul sens ($\frac{l_x}{l_y} = \frac{10}{165} = 0,06 < 0,4$).

A. Détermination des efforts dans la dalle dans le sens transversal

Le modèle étudié est une poutre reposant sur deux (02) appuis simples (les poutres principales) avec une section centrale et deux consoles de part et d'autre des appuis. Les sections étudiées sont **S1**(au centre) et **S2**(appui) présentées sur la fig.8, page 39.

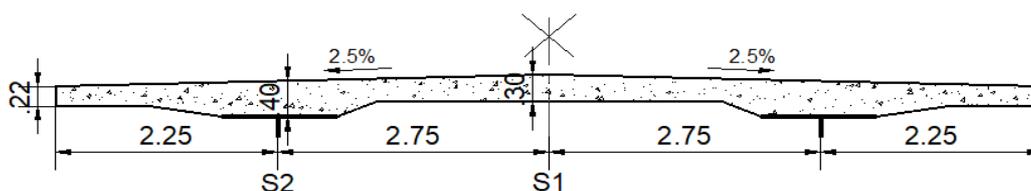


Figure 8: Section étudiée

A.1 Charges permanentes

Les charges appliquées à la structure sont :

Tableau 32: Charges appliquées sur la dalle dans le sens transversale

Charges ponctuelles		Charge réparties	
Corniches + barrière BN4	$F_1=0,5 \text{ kN}$	Dalle en BA	$g_1 = \left(\frac{3,09}{10}\right) \times 25 = 7,725 \text{ kN}$
Bordure T4	$F_2=0,65 \text{ kN}$	Trottoirs	$g_2 = 0,525 \times 1 \times 25 = 13,125 \text{ kN}$
		Revêtement + Étanchéité	$g_3 = (0,03 + 0,08) \times 1 \times 25 = 2,75 \text{ kN}$

Après modélisation dans le logiciel PYBAR (Cf. annexe 10.1), nous avons les sollicitations suivantes à l'ELS :

Section S1 : $M = -11,90 \text{ kN.m}$ $T = 0 \text{ kN}$

Section S2 : $M = -51,5 \text{ kN.m}$ $T = 69,10 \text{ kN}$

A.2 Surcharges de trafic

Les charges prises en compte sont celles présentées en annexe 10.2 à savoir :

- ✦ Les charges du système LM1 ;
 - L'essieu tandem TS ;
 - Les charges uniformes UDL ;
- ✦ Les charges du système LM2 ;
- ✦ Les charges du système FLM3 ;
- ✦ Et les charges de trottoir.

A.3 Évaluations des efforts internes dus aux Surcharges de trafic

Pour l'évaluation de ces efforts, nous utilisons la méthode des lignes d'influences (Cf. annexe 10.3)

Tableau 33: Évaluation des efforts internes dans la dalle dues aux charges routières

Charges	Sollicitations	Section S1	Section S2
Permanent	Moment fléchissant (kN.m/ml)	11,90	51,50
	Effort tranchant (kN/ml)	0	-69,10
TSL	Moment fléchissant (kN.m/ml)	96,27	20,83
	Effort tranchant (kN/ml)	-60	-189,19
UDL + Trottoir	Moment fléchissant (kN.m/ml)	7,311	4,01
	Effort tranchant (kN/ml)	-1,73	-8,086

A.4 Combinaison des actions

À l'ELU : $1,35G_{k,sup} + 1,35(UDL_k + T_{sk} + q_{fk})$

À l'ELS :

- Caractéristique : $G_{k,sup} + (UDL_k + T_{sk} + q_{fk})$
- Fréquent : $G_{k,sup} + 0,4UDL_k + 0,75T_{sk}$

Tableau 34: Combinaison d'actions de calculs

Section	Sollicitations	ELU	ELS	
			Caractéristique	Fréquent
S1	Moment fléchissant (kN.m/ml)	155,90	115,48	87,03
	Effort tranchant (kN/ml)	-83,33	-61,70	-61,73
S2	Moment fléchissant (kN.m/ml)	103,059	76,34	76,34
	Effort tranchant (kN/ml)	-359,60	-214,23	-266,376

Nous comparons les solutions obtenues à celles données par le SETRA dans le bulletin d'ouvrage d'art n°54 (BOA n°54) pour la flexion locale de la dalle d'un tablier bipoutre à entretoises (Cf. annexe 10-4)

B. Détermination des efforts dans la dalle dans le sens transversal suivant le BOA n°54

Calcul de la hauteur de répartition des charges concentrées

$$E = e + \frac{h}{2}$$

Avec :

e : épaisseur du revêtement (8 cm)

h : hauteur de la dalle (40 cm en appuis et 30 cm au centre)

$$E_{(S1)} = 23 \text{ cm} \qquad E_{(S2)} = 28 \text{ cm}$$

Encorbellement réel

$$L_{fictif} = L_{réel} - Longrine réelle + 0,64 = 2,25 - 0,5 + 0,64 = 2,39 \text{ m}$$

Tableau 35: Sollicitations selon le BOA n°54

Section	Sollicitations	ELU	ELS	
			Caractéristique	Fréquent
Sens transversal				
S1	Moment fléchissant (kN.m/ml)	184,95	137	94
S2	Moment fléchissant (kN.m/ml)	180,90	134	123
Sens longitudinal				
S1	Moment fléchissant (kN.m/ml)	78,30	58	40
S2	Moment fléchissant (kN.m/ml)	78,30	58	40

Les valeurs de sollicitations de l'abaque étant supérieures à celles calculées, nous les utilisons pour la suite du dimensionnement.

C. Ferrailage principal de la dalle

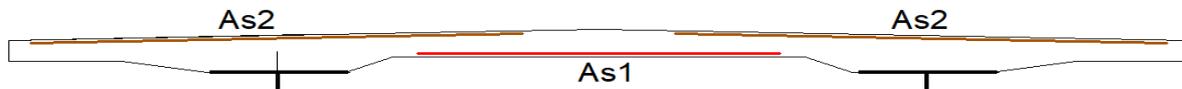


Figure 9: Disposition des armatures principales

La synthèse du calcul du ferrailage est présenté dans le tableau 36 ci-dessous et les détails en annexe 10-5

Tableau 36 : Ferrailage de la dalle

Centre de la dalle (S1)	En appui (S2)
Moments fléchissant	
$M_{ser} = 137 \text{ kN.m/ml}$	$M_{ser} = 134 \text{ kN.m/ml}$
$M_{ED} = 184,95 \text{ kN.m/ml}$	$M_{ED} = 180,90 \text{ kN.m/ml}$
Enrobage	Enrobage
$C_{nom} = 25 \text{ cm}$	$C_{nom} = 35 \text{ cm}$
Ferrailage transversal	Ferrailage transversal
$A_{s1 \text{ cal}} = 18,99 \text{ cm}^2/\text{ml}$	$A_{s2 \text{ cal}} = 17,89 \text{ cm}^2/\text{ml}$
$A_{smin} = 5,01 \text{ cm}^2/\text{ml}$	$A_{smin} = 6,68 \text{ cm}^2/\text{ml}$
Choix : 7HA20 soit $A_s \text{ réel} = 21,99 \text{ cm}^2/\text{ml}$	Choix : 6HA20 soit $A_s \text{ réel} = 18,85 \text{ cm}^2/\text{ml}$
Ferrailage longitudinal	Ferrailage longitudinal
$A_s = 15,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$	$A_s = 20,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$
Choix : 8HA16 soit $A_s \text{ réel} = 16,08 \text{ cm}^2/\text{ml}$	Choix : 10HA16 soit $A_s \text{ réel} = 20,11 \text{ cm}^2/\text{ml}$

D. Ferrailage additionnel

Sur piles et sur culées : $A_s = 0,1\% B = 0,001 \times 100 \times 40 = 4 \text{ cm}^2/\text{ml}$ choix : 7 HA10 /ml

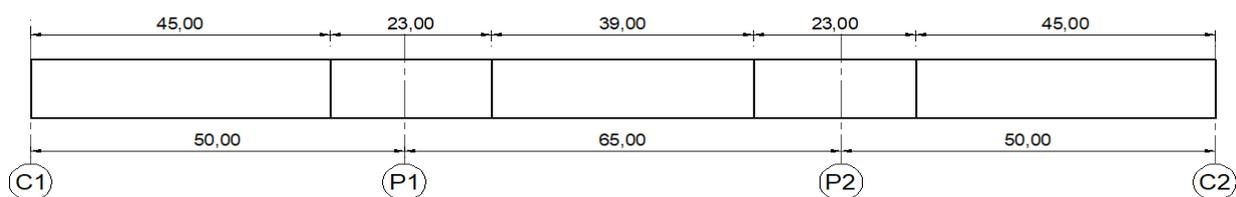


Figure 10: Répartition du ferrailage longitudinal en zone d'appui et zone courante

E. Vérification de la dalle

E.1 Vérification à l'ELS

- On résout l'équation du moment statique ci-après : $0,5b_w X_1^2 + \alpha_e (A_{S1} + A_{S2}) X_1 - \alpha_e (A_{S2} d + A_{S2} d') = 0$
- On calcule le moment d'inertie : $I_{cf} = \left(\frac{1}{3}\right) b_w X_1^3 + \alpha_e A_{S2} (X_1 - d')^2 + \alpha_e A_{S1} (d - X_1)^2$
- On vérifie les inégalités suivantes :

- Pour le béton : $\sigma_c \leq \bar{\sigma}_c = 0,6 \times 35 = 21 \text{ Mpa}$ avec $\sigma_c = K \cdot X_1$

La vérification se fait à court terme uniquement à court terme avec $\alpha_e = 5,9$

- Pour l'acier : $\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s = 0,8 \times 500 = 400 \text{ Mpa}$ avec $\sigma_s = \alpha_e \cdot K (d - X_1)$

La vérification se fait à court terme à court terme avec $\alpha_e = 5,9$ et à long terme avec $\alpha_e = 15$

Les résultats de la vérification à l'ELS sont les suivants :

Tableau 37: Vérification de la dalle à l'ELS

Matériaux	Au centre de la dalle (s1)	En appui (s2)
Béton	$\bar{\sigma}_c = 21 \text{ Mpa}$ $\sigma_c = 16 \text{ Mpa}$ Condition vérifiée	$\bar{\sigma}_c = 21 \text{ Mpa}$ $\sigma_c = 16 \text{ Mpa}$ Condition vérifiée
Acier	$\bar{\sigma}_s = 400 \text{ Mpa}$ σ_s (à court terme) = 210,04 Mpa σ_s (à long terme) = 218,34 Mpa Condition vérifiée	$\bar{\sigma}_s = 400 \text{ Mpa}$ σ_s (à court terme) = 258,14 Mpa σ_s (à long terme) = 270,20 Mpa Condition vérifiée

E.2 Autres vérifications sur la dalle

Tableau 38: Autres vérifications sur la dalle

Type de vérification	Résultats
Résistance à l'effort tranchant	$V_{Ed} = 359,60 \text{ kN}$ $V_{Rd,c} = 489 \text{ kN}$ $V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \rightarrow$ Condition vérifiée
Résistance au poinçonnement	$\tau_{Ed} = 192,64 \text{ kN}$ $V_{Rd,c} = 728 \text{ kN}$ $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c} \rightarrow$ Condition vérifiée

Les détails des vérifications sont en annexe 10-6

III.2.3.2. Étude des poutres principales

A. Répartition de la matière

Afin d'optimiser la consommation de l'acier et par conséquent le coût d'assemblage et le poids de la structure métallique, il est autorisé des variations d'épaisseurs des semelles et de l'âme du PRS en fonction des sections et la longueur de la portée. La figure 11 donne des orientations sur les changements d'épaisseurs des tôles dans la travée centrale d'ouvrages à hauteur constante à trois travées minimums.



Source : Document du SETRA « Ponts mixtes acier-béton : guide de conception durable »

Figure 11: Nombre indicatif de changements d'épaisseurs des semelles dans une travée intermédiaire

En plus des orientations de conception sur les épaisseurs minimales et maximales des parties du PRS, les contraintes suivantes doivent être respectées :

- Pour limiter la fatigue $t_{fi-1} \leq (2/3) t_{fi}$ et les variations d'épaisseurs de l'âme de 2 à 5 mm ;
- La répartition du poids de la structure se fait selon les proportions suivantes :
25% pour la membrure supérieures, 40% pour la membrure inférieure, 20% pour l'âme et le reste pour divers.

La tableau 39 et la fig.12, page 43 présentent la répartition de la matière obtenue pour nos poutres.

Tableau 39: Simulation de la répartition de la matière

TRONÇON		PRS								
N°	Longueur (m)	Semelle Sup.		Section Ame		Section Semelle inf.		Section entretoises (m ²)	Section totale tronçon (m ²)	Poids poutre (T)
		Section	Ratio	Section	Ratio	Section	Ratio			
T1	17,50	0,0585	31,4%	0,0624	33,5%	0,0650	34,9%	0,0002	0,1861	25,0500
T2	17,50	0,0585	31,4%	0,0624	33,5%	0,0650	34,9%	0,0002	0,1861	25,0500
T3	10,00	0,0720	32,2%	0,0711	31,8%	0,0800	35,8%	0,0002	0,2233	17,1787
T4	10,00	0,1080	35,2%	0,0782	25,5%	0,1200	39,2%	0,0002	0,3064	23,5774
T5	10,00	0,0720	32,5%	0,0690	31,2%	0,0800	36,2%	0,0002	0,2212	17,0170
T6	11,75	0,0585	31,6%	0,0616	33,2%	0,0650	35,1%	0,0002	0,1853	16,7487
T7	11,50	0,0585	31,6%	0,0616	33,2%	0,0650	35,1%	0,0002	0,1853	16,3924
T8	11,75	0,0585	31,6%	0,0616	33,2%	0,0650	35,1%	0,0002	0,1853	16,7487
T9	10,00	0,0720	32,2%	0,0711	31,8%	0,0800	35,8%	0,0002	0,2233	17,1787
T10	10,00	0,1080	35,2%	0,0782	25,5%	0,1200	39,2%	0,0002	0,3064	23,5774
T11	10,00	0,0720	32,2%	0,0711	31,8%	0,0800	35,8%	0,0002	0,2233	17,1787
T12	17,50	0,0585	31,4%	0,0624	33,5%	0,0650	34,9%	0,0002	0,1861	25,0500
T13	17,50	0,0585	31,4%	0,0624	33,5%	0,0650	34,9%	0,0002	0,1861	25,0500
Poids maximal										40
Poids élémentaire de la structure métallique (T)								10,9692		265,7978
Poids total de la structure métallique (T)										276,7670
Poids /ml (kN/ml)										33,5475

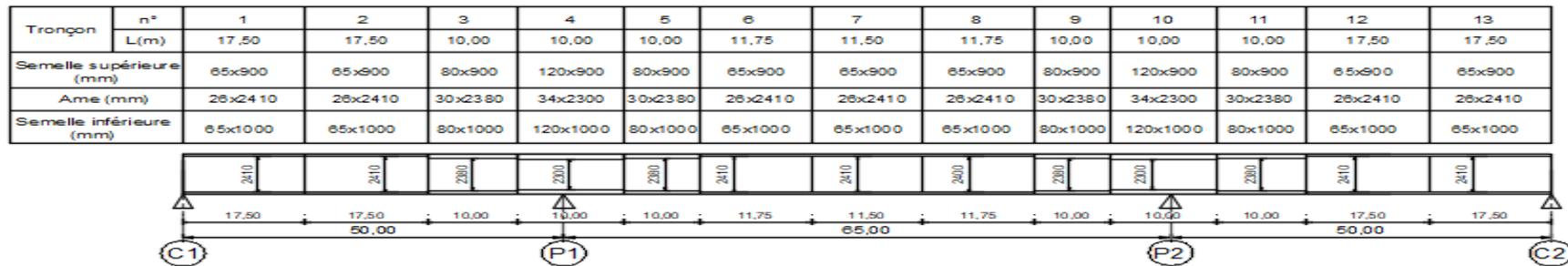


Figure 12: Répartition de la matière du PRS

B. Évaluation des efforts longitudinaux

B.1 Modèle étudié

Le modèle étudié est une structure hyperstatique à trois (03) travées reposant sur des appuis simples (culés et piles) représenté sur la fig.13.

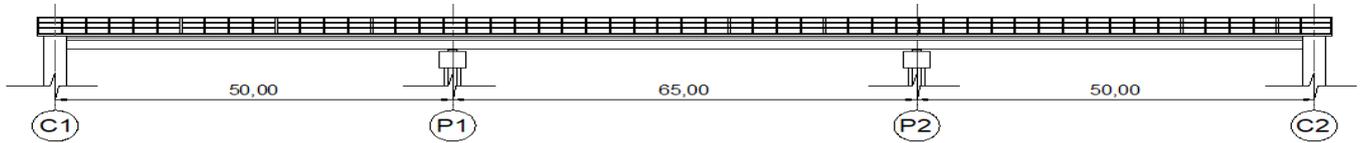


Figure 13: Vue longitudinale du pont

B.2 Descente des charges dans le sens longitudinal

B.2.1 Actions permanentes

Tableau 40: Évaluations des charges permanentes

Désignation	Détails de calculs	Résultats
Poids propre du tablier	Dalle en BA	$0,5 \times (3,09 \times 25) = 38,75$ kN/ml
	Structure métallique	33,55 kN/ml
$g = 72,30$ kN/ml		
Superstructure	Trottoirs	$0,56 \times 25 = 14$ kN/ml
	Barrière BN4	$0,65 \times 1 = 0,65$ kN/ml
	Cornière	$0,5 \times 1 = 0,5$ kN/ml
	Étanchéité	$0,5 \times (0,03 \times 7 \times 25) \times 1,2 = 4,5$ kN/ml
	Revêtement	$0,5 \times (0,08 \times 7 \times 25) \times 1,4 = 9,8$ kN/ml
	Bordure T4	$0,08 \times 1 = 0,08$ kN/ml
$g' = 29,53$ kN/ml		
Pour un PRS $G = g + g' = 101,83$ kN/ml		

B.2.2 Actions variables

a) Position des voies de circulation sur le pont dans le sens longitudinal

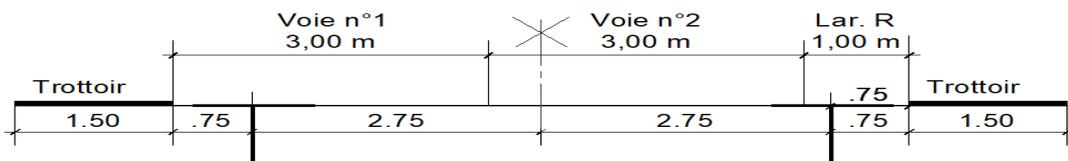


Figure 14: Disposition des voies de circulation pour l'étude en flexion longitudinal d'un PRS

On utilise la ligne d'influence transversale en supposant qu'une charge verticale introduite dans le plan de l'âme d'une poutre est entièrement supportée par cette poutre (**Méthode de courbon**).

Pour l'essieu tandem TS, sa position est centrée sur sa voie et les charges UDL et du trottoir sont chargées sur la partie positive de la ligne d'influence. Les différentes répartitions des charges TS et UDL sur le tablier sont présentées en annexe 11.2

b) Répartition transversale de la structure pour l'étude de la flexion longitudinale

Les résultats de la répartition des charges TS et UDL + trottoir sont :

Tableau 41: Répartition des charges LM1 sur le tablier

Charges	R1(kN)	R2(kN)
TS	298,72	131,28
UDL + Trottoir	26,20	14,20

c) Bilan des actions LM1

Le modèle sera chargé dans le sens longitudinal comme suit pour un demi-tablier :

- Une charge uniformément répartie de 26,20 kN/ml ;
- Un système de deux (02) charges concentrées et mobiles de 298,72 kN espacées de 1,20m.

B.2.3 Évaluation des sollicitations longitudinales dans la poutre

Nous modélisons notre structure dans le logiciel Robot Structural analysis pour le model de charges TS et PYBAR pour les charges statiques (Poids propre et charges du model UDL). Le tableau 42 présente les sollicitations sur un PRS.

Tableau 42: Sollicitations longitudinales dans la poutre

Section	Charges permanentes		Charges TS		Charges UDL	
	T(kN)	M(kN.m)	T(kN)	M(kN.m)	T(kN)	M(kN.m)
Culées C1 et C2	1 856	0	588,58	0	- 599,5	0
Mi-portée C1-P1	-	16 915	238,26	6 079,41	230,48	6 859
Piles P1 et P2	6 545	-34 486	597,70	-3 459,91	1 782	-9 966
Mi-portée P1-P2	-	19 293	- 64	6 321,58	- 76,3	7 739

B.2.4 Actions du retrait

L'effort du retrait $N_C = E_{c,eff} \varepsilon_{cs} A_C$ est appliqué au centre de gravité de la section mixte comme effort normal agissant au centre de gravité de la dalle en béton et génère un moment fléchissant $M_C = N_C \cdot Z_b$
 Z_b : Distance entre le centre de gravité de la section mixte et le centre de gravité de la dalle.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \psi_L \cdot \varphi(t, t_0)} = 14\,885 \text{ Mpa}$$

$A_C = 1,75 \text{ m}^2$: section reprise par le PRS ;

$$\varepsilon_{cs} = 1,143 \cdot 10^{-4}$$

$$N_C = 14\,885 \times 1,143 \cdot 10^{-4} \times 1,75 = 2,977 \text{ MN} \rightarrow N_C = 2,977 \text{ MN}$$

Les détails de calculs sont présentés en annexe 11-3

B.3 Combinaison des actions

$$\underline{\text{A l'ÉLU}} : 1,35 G_{k,sup} + S + 1,35(UDL_k + T_{sk} + q_{fk})$$

A l'ELS :

- Caractéristique : $G_{k,sup} + (UDL_k + T_{sk} + q_{fk})$

Les sections critiques à vérifier pour le PRS sont la section à mi-portée (Σ_1) de la travée P1-P2 et la section sur appui intermédiaire (Σ_2) dont les efforts locaux sont extrêmes représentés en annexe 11.3

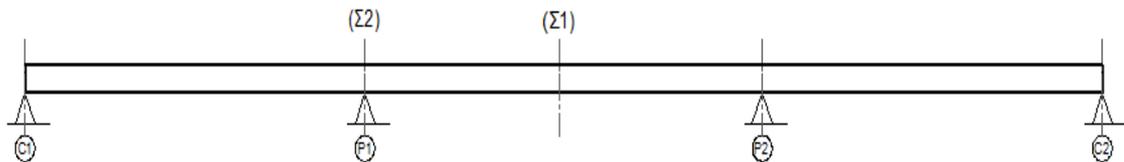


Figure 15: Sections étudiées pour la justification du PRS

Le bilan des actions longitudinales sur le PRS est donné dans le tableau 43.

Tableau 43: Combinaison d'actions longitudinale sur le PRS

Section d'étude	ELS			ÉLU		
	N(kN)	T(kN)	M(kN.m)	N(kN)	T(kN)	M(kN.m)
(Σ_1)	2 977	-140,30	36 330,58	4 018,95	-189,405	48 977,95
(Σ_2)	- 2 977	8 924,70	- 50 888,91	- 4 018,95	12 048,35	- 68 631,70

III.2.4. VÉRIFICATIONS A L'ÉLU DU PRS EN PHASE DE SERVICE

III.2.4.1. Vérification de la section (Σ_1) en mi-travée P1-P2

A. Géométrie

À cette section du tablier, la dalle en béton est comprimée sur la quasi-totalité de sa hauteur. Elle contribue donc à la résistance de la section mixte.

La section transversale étudiée est représentée sur la figure 16.

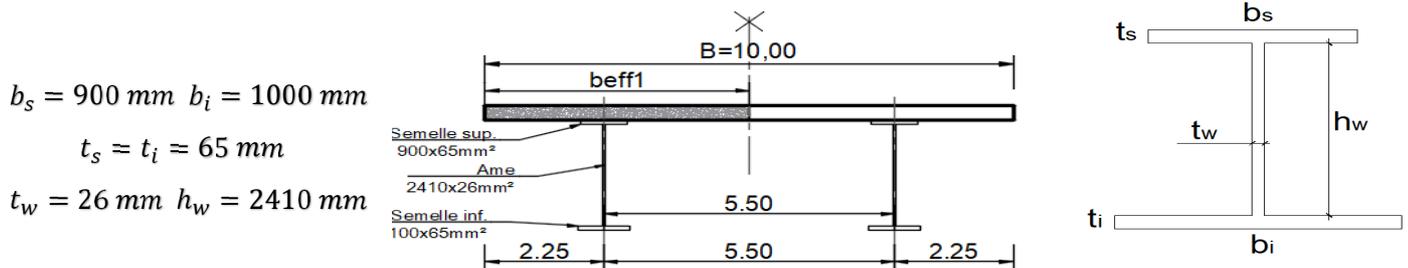


Figure 16: Géométrie de la section (Σ_1)

Largeur efficace

$$b_{eff} = \text{Min} [0,75L_2; b_{eff1}] = \text{Min} [0,25(L_1 + L_2); (2,25 + L_{entraxe}/2)] = 5,00 \text{ m}$$

$$\text{Avec : } L_2 = 65 \text{ m} \quad L_{entraxe} = 5,50 \text{ m}$$

B. Sollicitations

Les sollicitations exercées dans la section sont : $M_{Ed} = 48,978 \text{ MN.m}$ et $V_{Ed} = -0,1894 \text{ MN}$

C. Justification de la section (Σ_1) (les détails des calculs en annexe 11-4)

En flexion : $M_{Ed} = 48,978 \text{ MN.m} \leq M_{Rd,pl}^+ = 83,87 \text{ MN.m} \rightarrow \text{OK}$

Sous l'effort tranchant : $V_{Ed} = 0,1894 \text{ MN} \leq V_{Rd,pl} = 12,48 \text{ MN} \rightarrow \text{OK}$

Sous l'interaction moment fléchissant-effort tranchant

$$V_{Ed} = 0,1894 \text{ MN} \leq 0,5V_{Rd,pl} = 6,24 \text{ MN} \rightarrow \text{OK}$$

III.2.4.2. Vérification de la section d'appui (Σ_2) en appui P1

A. Géométrie

À cette section du tablier, la dalle en béton est tendue sur la quasi-totalité de sa hauteur. Sa contribution est donc négligée dans la résistance de la section mixte. Seules les armatures longitudinales de la dalle sont prises en compte. La section transversale étudiée est représentée sur la figure 17.

$$b_s = 900 \text{ mm} \quad b_i = 1000 \text{ mm}$$

$$t_s = t_i = 120 \text{ mm}$$

$$t_w = 28 \text{ mm} \quad h_w = 2300 \text{ mm}$$

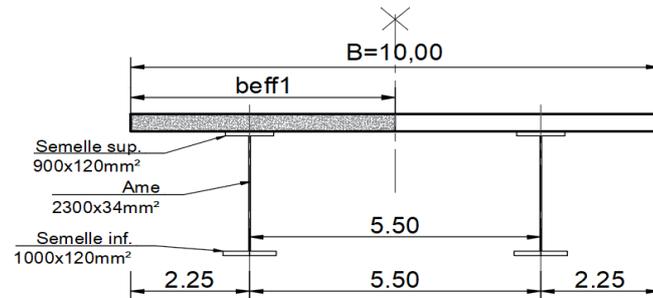


Figure 17: Géométrie de la section (Σ_2)

Largeur efficace

$$b_{eff} = \text{Min} [0,25(L_1 + L_2); b_{eff1}] = \text{Min} [0,25(L_1 + L_2); (2,25 + L_{entraxe}/2)] = 5,00 \text{ m}$$

$$\text{Avec : } L_1 = 50 \text{ m} ; L_2 = 65 \text{ m} \quad L_{entraxe} = 5,50 \text{ m}$$

B. Sollicitations

Les sollicitations exercées dans la section sont : $M_{Ed} = -68,623 \text{ MN.m}$ et $V_{Ed} = 12,048 \text{ MN}$

C. Justification de la section (Σ_2) (les détails de calculs en annexe 11-5)

En flexion : $M_{Ed} = 68,623 \text{ MN.m} \leq M_{Rd,el}^- = 94,58 \text{ MN.m} \rightarrow \text{OK}$

Sous l'effort tranchant : $V_{Ed} = 12,048 \text{ MN} \leq V_{Rd,pl} = 13,277 \text{ MN} \rightarrow \text{OK}$

Sous l'interaction moment fléchissant-effort tranchant

$$V_{Ed} = 12,048 \text{ MN} > 0,5V_{Rd,pl} = 6,638 \text{ MN} \rightarrow \text{OK}$$

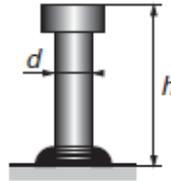
La condition suivante doit être vérifiée :

$$\bar{\eta}_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] [2\bar{\eta}_3 - 1]^2 = 0,922 \leq 1 \rightarrow \text{OK}$$

III.2.3.3. Calcul des connecteurs

On utilise les connecteurs de type goujons en acier S235 J2G3 de caractéristiques suivantes :

- Résistance à la rupture : $f_u = 450 \text{ Mpa}$;
- Diamètre $\Phi = 22 \text{ mm}$;
- Hauteur $h = 220 \text{ mm}$.



A. Calcul de la résistance du goujon

La résistance du connecteur de type goujon est donnée par la relation suivante :

$$P_{Rk} = \text{Min} [P_{Rk}^{(1)}; P_{Rk}^{(2)}]$$

Avec :

$$P_{Rk}^{(1)} = 0,8f_u \left(\frac{\pi\Phi^2}{4} \right) / \gamma_v \text{ (Résistance à la ruine par cisaillement de l'acier en pied) ;}$$

$$P_{Rk}^{(2)} = 0,29\alpha\Phi^2\sqrt{f_{ck}E_{cm}} \text{ (Résistance à la ruine par écrasement du béton)}$$

$$P_{Rk} = \text{Min} \left[\frac{0,8 \times 450 \times \left(\frac{\pi \times 22^2}{4} \right) \times 10^{-3}}{1,25} ; 10^{-3} \times 0,29 \times 1 \times 22^2 \sqrt{35 \times 34077,15} \right] = 109,478 \text{ kN}$$

$$\text{À l'ELU : } P_{Rd(ELU)} = 0,8P_{Rk} = 0,8 \times 109,478 = 87,58 \text{ kN} \rightarrow P_{Rd(ELU)} = \mathbf{87,58 \text{ kN}}$$

$$\text{À l'ELS : } P_{Rd(ELS)} = 0,6P_{Rk} = 0,6 \times 109,478 = 65,687 \text{ kN} \rightarrow P_{Rd(ELS)} = \mathbf{65,687 \text{ kN}}$$

B. Nombre de connecteurs pour une demi travée

Le nombre de connecteurs pour un tronçon de poutre est par la relation suivante :

$$N_i \geq \frac{V_{L,Ed}^{ELS} \times L_i}{P_{Rd}^{ELS}}$$

$$\text{Avec : } V_{L,Ed}^{ELS} = \frac{\mu_c \times V_{Ed}}{I_{mixte}}$$

μ_c : Le moment statique de la dalle au centre de gravité de la section mixte;

$I_C = 0,402 \text{ MN}$: L'inertie de la section mixte (Cf: Annexe 11.6)

V_{Ed} : Effort tranchant sous chargement considéré.

Pour souci de simplification de mise en œuvre, nous calculons les connecteurs sur le tronçon n°4 (sur pile) que nous uniformisons sur la longueur de la poutre.

$$\text{Pour cette section : } V_{L,Ed}^{ELS} = 1,035 \rightarrow N_4 \geq \frac{1,035 \times 65}{0,0657} = 1023,97 \text{ soit } N = 1024 \text{ connecteurs sur le tronçon 4}$$

A. Dispositions constructives

Sens longitudinal

- Espacement minimal : $e_{\min} = 5 d = 5 \times 22 = 110 \text{ mm} = 11 \text{ cm}$
- Espacement maximal : $e_{\max} = \min(800 \text{ mm} ; \frac{4P_{Rd}^{ELS}}{\max V_{L,Ed}} ; 4 hc)$ avec hc la hauteur de la dalle = 40 cm en appui. $e_{\max} = 25,40 \text{ m}$

Sens transversal

- Espacement minimal : $e_{\min} \geq 2,5d = 2,5 \times 22 = 55 \text{ mm} = 5,5 \text{ cm}$

Choix : 4 goujons par rangé sens longitudinal $e = 25 \text{ cm}$ et sens transversal $e = 27 \text{ cm}$

III.2.5. INFRASTRUCTURE

III.2.5.1. Étude de la pile

A. Dimensions de la pile

Les dimensions et la géométrie de la pile sont ceux énoncés en III.2.2.2

B. Détermination des efforts horizontaux

Les efforts horizontaux considérés pour le calcul de la culée sont ceux dus au freinage et réparties sur les appuis en fonction de leur rigidité.

a) Calcul de la rigidité de la pile.

$$K = \frac{1}{\mu_1 + \mu_2} \text{ Avec : } \begin{cases} \mu_1 : \text{le déplacement dû à l'appareil d'appui;} \\ \mu_2 : \text{le déplacement dû au corps de la pile.} \end{cases}$$

Après calculs effectués en annexe 12-1, nous avons $\mu_1 = 0,0675 \text{ m/MN}$ et $\mu_2 = 0,0483 \text{ m/MN}$

Nous avons les rigidités des appuis dans le tableau 44

Tableau 44: Rigidité des appuis

Appui	Culée	Pile
K	14,815	8,635

L'effort de freinage à distribuer sur le pont est donné par :

$$F_H = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,1\alpha_{q1}q_{1k}W_1L = 635,85 \text{ kN}$$

Avec : $\alpha_{Q1} = 0,9$; $Q_{1k} = 300 \text{ KN}$; $\alpha_{q1} = 0,7$; $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$; $W_1 = 3,00 \text{ m}$; $L = 165,00 \text{ m}$

L'effort reparti sur chaque appui est :

$$F_{Hi} = \frac{K_i}{\sum K_i} F_H$$

Tableau 45: Efforts de freinage sur les appuis

Appui	Culée	Pile
Effort de freinage (kN)	202,248	140,21

C. Charges de la structure

Les efforts verticaux dues aux charges de la structure qui sont transmises aux deux (02) PRS sont :

Tableau 46: Charges du tablier

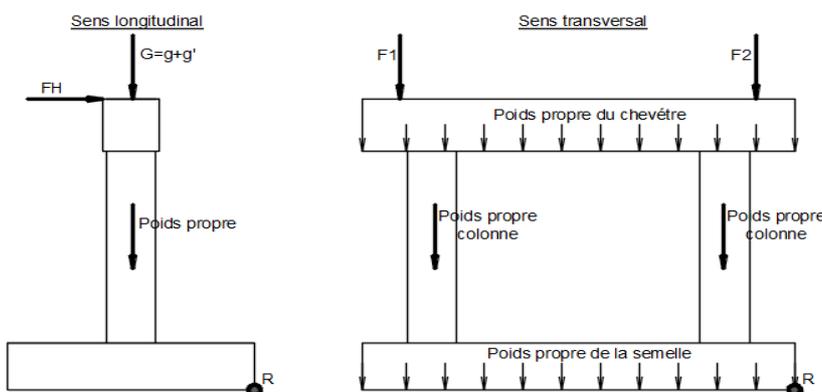
Poutres	Charges à l'ELS (kN)		
	G=g+g'	UDL+qfk	TS
1	6 545	1 782	597,70
2	6 545	998,60	262,56

D. Poids propre de la pile

- Chevêtre : $(1,2 \times 1,6 \times 9) \times 25 = 432$ kN
- Colonne : $(0,25 \times 3,14 \times 1,2^2 \times 7,5 \times 25) = 211,95$ kN
- Semelle : $(1,2 \times 9 \times 4 \times 25) = 1 080$ kN

E. Étude de la stabilité au renversement

Pour que la pile soit stable, il faut que le renversement soit vérifié dans le sens longitudinal et transversal.



Le model selon le sens longitudinal est le plus défavorable

$$\frac{M_S}{M_R} = \frac{2(6545 \times 2 + 432 + 211,95 + 1080)}{130,165 \times 8,7} = 26,16$$

1) Dimensionnement du chevêtre

1.1 Model étudié

Le model d'étude est une poutre rectangulaire reposant sur deux appuis simples (les colonnes) recevant les charges les suivantes :

- Le poids propre du chevêtre : 48 kN/ml
- Les efforts des vérins lors des opérations d'entretien : $F1 = R(g+g')/2 = 3 272$ kN

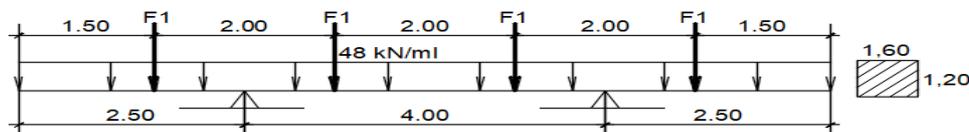


Figure 19 : Modélisation du chevêtre

1.2 Bilan des efforts

Tableau 47: Efforts sur le chevêtre

Nature de la sollicitation	Sur appui		Au centre	
	Flexion simple	Tser = 6,76MN	Mser = -3,422 MN.m	Tser = 0

1.3 Ferrailage

En appui

Tableau 48: Ferrailage en appui du chevêtre

b(m)	h(m)	f28	fbser	fe	fst	αser	Mrserb	zser	A _{ST}	
1,6	1,4	35	21	500	250	0,558	43,43	1,026	133,35	
Choix des aciers :	Nappe inférieure					11 HA14				
	Nappe supérieure					2*11HA 25 + 11 HA20 As réel=142,47 cm ²				
	Armatures transversales					HA 10 e=30 cm				

Au centre

Tableau 49: Ferrailage au centre du chevêtre

b(m)	h(m)	f28	fbser	fe	fst	αser	Mrserb	zser	A _{ST}	
1,6	1,4	35	21	500	250	0,558	43,43	1,026	3,04	
Choix des aciers :	Nappe inférieure					11 HA14				
	Nappe supérieure					2*11 HA 25 As réel=107,93 cm ²				
	Armatures transversales					HA 10 e=40 cm				

Amin = 108,86 cm², on ferraille avec la section minimale.

Armatures de peau : 3HA14 / parement

2) Dimensionnement de la colonne

2.1 Model étudié

C'est un élément vertical de Ø=1,20 m recevant à sa tête un effort vertical (charge du tablier) et un effort horizontal (effort de freinage). Il est libre à sa tête et encasté à sa base dans la semelle en béton.

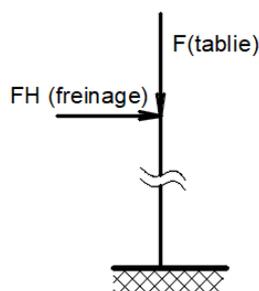


Figure 20: Modélisation de la colonne

2.2 Bilan des efforts

Tableau 50: Efforts sur la colonne

Efforts	Désignation	Efforts (kN)	Bras de levier(m)	Moment (kN.M)	Sollicitations	ELS	ELU
Efforts horizontaux	Freinage	70,10	13	911,37	N (kN)	9,292	12,5
	Total 1	70,165		911,37	M Per (MN.m)	0	0
Efforts verticaux	Poids	367,38	0	0	M Expl (MN.m)	0,911	1,23
	g+g'	6545	0	0	M (MN.m)	0,911	1,23
	UDL	1782	0	0			
	TS	597,7	0	0			
	Total 2	9 292,08		0			

L'excentricité totale $e_T = 0,098 < e_{NC} = 0,2983$ (l'excentricité critique), la section est entièrement comprimée et l'état ultime n'est pas atteint. La section est ferrailée avec la section minimale d'armatures comme un poteau.

2.3 Ferrailage

Armatures principales : 10 HA 14

Armatures transversales : HA 8 st=20cm

La note de calcul est présentée en annexe 12-2

III.2.5.2. Étude de la culée

La cote du projet étant au-dessus du TN naturel des deux (02) rives du pont, nous choisissons les culées remblayées qui pourront supporter les poussées de terre et les efforts de la structure.

La position des culées de part et d'autre du pont est la suivante :

Désignation	Culée C1 (coté Mfou)	Culée C2 (coté Mbéga)
Cotes TN	645,23	647,10
Cotes projet	651,89	651,89
Profondeur de fondation /TN	4,00 m/TN	4,00 m/TN
Hauteur de la culée	10,66	8,79

A. Prédimensionnement des éléments de la culée

Tableau 51: Prédimensionnement de la culée

Éléments	Longueur(m)	Largeur(m)	H(m)	Ep.(m) e=0,1+0,3H=0,5
Mur garde grève	10,00	/	3,00	
Mur de front	10,00	/	7,50	1,20
Semelle	12,00	6,00	0,80	/

B. Étude du mur garde grève

B.1 Modèle étudié

Avec :

W : Poids propre de la structure ;

q : surcharge routière ;

F : effort de freinage ;

P : Poussée de terre.

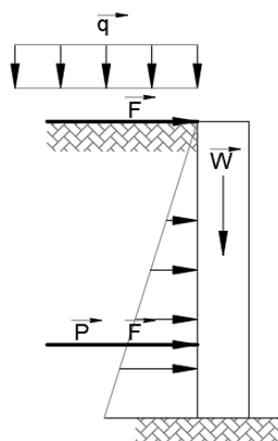


Figure 21: Model du mur garde grève

B.2 Évaluation des sollicitations

➤ Poussée de terre

Les charges prises en compte ici sont :

- La poussée due au poids propre du remblai ;
- La poussée due au trafic du modèle LM1 sur la dalle de transition réduit de 30% appliquée sur un rectangle de 3mx2,20m conformément aux recommandations de l'Eurocode.

Tableau 52: Model LM1 réduit à 30%

	Voie 1	Voie2	Aire résiduelle
TS (kN/m ²)	$0,7Q_{1k} = 31,82$	$0,7Q_{1k} = 21,21$	
UDL (kN/m ²)	$0,7q_{ik} = 6,30$	$0,7q_{ik} = 1,7$	$0,7q_{ik} = 1,75$

Soit une surcharge moyenne sur le remblai $q_c = 30,54 \text{ kN/m}^2$

➤ Effet de freinage

L'effort de freinage à prendre en compte est défini par l'ENV 1991-3 et est égale à :

$$F_H = 0,6\alpha_{Q1}Q_{1k} = 0,6 \times 0,9 \times 300 = 162 \text{ kN soit } 54 \text{ kN/ml}$$

Nous avons les sollicitations suivantes :

Tableau 53: Sollicitations sur le mur garde grève

Efforts	Désignation	Effort (kN)	Bras de levier(m)	Moment (kN.m)	Effort tranchant (kN)
Efforts horizontaux	Freinage	54	3,00	162	54
	Poussée de terre	9,90	1,00	9,90	9,90
	Surcharge routière	30,235	1,50	45,35	30,235
	Total 1	94,14		217,25	94,14
Efforts verticaux	Poids du mur	37,5	0,25	9,375	
	Charges routières	91,52	0,25	22,905	
	Total 2	129,02		32,875	

Tableau 54: Combinaisons d'action

État limite	Moment fléchissant (kN.m)	Effort tranchant (kN)	Effort normal (kN)
ELS	250,125	94,14	129,02
ELU	337,668	127,089	174,177

B.3 Ferrailage

L'élément est sollicité par un effort normal de compression et un moment fléchissant, il sera donc dimensionné en flexion composée à l'ELS.

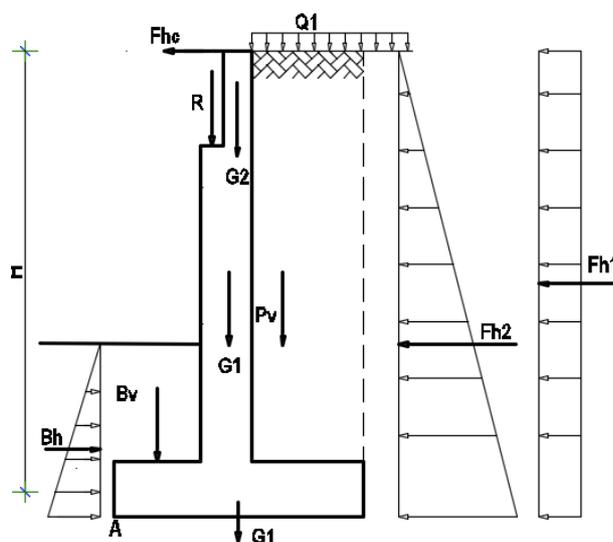
Tableau 55: Ferrailage du mur garde grève

Paroi	Armatures principales	Armatures secondaires
Coté terre	10 HA 25 / ml	HA10 esp=15 cm
Coté vue	10HA20 / ml	HA 10 esp=15 cm

Note de calcul en annexe 13-1

C. Étude du mur de front

C.1 Modèle étudié



C.2 Évaluation des sollicitations

Efforts	Désignation	SECTION S1 (h= 7,47m)				SECTION S2 (h= 3,735m)				
		Valeur (kN)	Bras de levier	Moment (kN.m)	Effort tranchant(kN)	Valeur (kN)	Bras de levier	Moment (kN.m)	Effort tranchant (kN)	
Efforts horiz.	Fhc	Freinage	60,92	7,47	455,07	60,92	187,76	3,735	701,28	187,76
	Fh1	Poussée de terre réctang	25,221	3,735	94,20	25,22	12,611	1,8675	23,55	12,61
	Fh2	Poussée de terre trian	33,042	2,49	82,28	33,042	8,407	1,245	10,47	8,41
	Q1	Surcharges	77,804	2,49	193,73	77,80	38,902	1,245	48,43	38,90
		Total 1	196,98		825,28	196,98	247,67		783,73	247,68
Efforts vertic.	G1	Poids du mur e=1,2m	231,6	1,9	440,04		115,8	1,9	220,02	
	G2	Mur garde grève e=0,50m	37,5	2,69	100,875		37,5	2,69	100,875	
	R	Réaction dues aux charges permanentes (MN/ml)	0,327	1,9	0,6213		0,327	1,9	0,6213	
		Réaction dues aux charges UDL+TS+qfs (MN/ml)	0,237	1,9	0,4514704		0,234662	1,9	0,4458578	
	Pv	Surcharges sur remblai	90	1,9	171		90	1,9	171	
	Total 2	359,66		712,98		243,86		492,96		
Nser(MN)		0,359				0,244				
Mser Per (MN.m)				0,718				0,356		
Mser Expl (MN.m)				0,820				0,921		

C.3 Ferrailage

Tableau 56: Ferrailage du mur de front

Section du mur	Paroi	Aciers principaux	Aciers secondaires	
			Horizontaux	Verticaux
S1 à 7,47 m du TN	Coté terre	14 HA 25 /ml	HA 14 esp=12,50 cm	/
	Coté vue	/	HA 12 esp=12,50 cm	HA14 esp=12,50 cm
S2 à 3,86m du TN	Coté terre	12 HA 25 /ml	HA 14 esp=12,50 cm	/
	Coté vue	/	HA 12 esp=12,50 cm	HA14 esp=12,50 cm

D. Étude de la semelle sous culée

Tableau 57: Sollicitations sur la semelle de la culée

Efforts	Désignation	Efforts (kN)	Bras de levier(m)	Moment (kN.M)
Efforts horizontaux	Efforts coté terre			
	Freinage	54	11,6	626,40
	Poussée de terre rectangle	37,897	5,8	219,80
	Poussée de terre triangle	49,649	3,866666667	191,98
	Surcharges	116,907	3,866666667	452,04
	Efforts coté libre			
	Butée	13,200	-1,333333333	-17,60
	Σ Forces H (kN)	271,65348		1 472,62
Efforts verticaux	Efforts coté terre			
	Poids du mur e=1,00m	193	-1,9	-366,7
	Mur garde grève e=0,50m	37,5	-2,69	-100,875
	Réaction dues aux charges permanentes (MN/ml)	0,327	-1,9	-0,6213
	Réaction dues aux charges UDL+TS+qfs (MN/ml)	0,237616	-1,9	-0,4514704
	Surcharges sur remblai	79,404	-3,7	-293,7948
	Remblai	603,72	-3,7	-2233,764
	Semelle	125	-2,5	-312,5
	Efforts coté libre			
	Remblai	84	-0,7	-58,8
		Σ Forces V (kN)	1 039,188616	
	Σ M/A (MN)	-1,895		

Tableau 58: Ferrailage de la semelle sous culée

Partie	Armatures Principales		Armatures de répartition	
	Nappe sup	Nappe inf.	Nappe sup	Nappe inf.
Patin	8 HA 25 / ml	10 HA 16 / ml	HA12 esp=12,50cm	HA12 esp=12,50cm
Talon	8 HA 25 / ml	10 HA 16 / ml		

CHAPITRE IV ÉTUDE DES VOIES D'ACCÈS DE LA VARIANTE RETENUE

IV.1. ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

MATÉRIAUX DISPONIBLES

Plateforme

Les résultats des essais en laboratoire recommandent l'utilisation des sols argileux, sableux ou graves latéritiques.

Couche de forme

Elle est en Graves Latéritiques naturelles compactée à 95% de l'OPM avec un CBR > 30.

Couche de fondation

Elle est en Graves Latéritiques naturelles compactée à 95% de l'OPM avec un CBR > 30 ou Graves Concassées 0/31.5 compactée à 95% de l'OPM.

Couche de base

Elle sera en grave concassée 0/31.5 compactée à 95% de l'OPM

Revêtement

Il sera réalisé avec un Béton Bitumineux et enduit pour les accotements.

Tableau 59: Caractéristiques mécaniques des matériaux du corps de la chaussée

Couches	Nature du matériau	Ep. (cm)	CBR	Module d'élasticité (Mpa)	Coef. De poisson
Revêtement	Béton Bitumineux	4-7	-	2 450	0,35
Base	Grave Bitume	7-15	-	4 000	0,35
	Grave Concassés 0/31.5	15-30	100	500	0,4
Fondation	Grave Concassés 0/31.5	15-30	100	500	0,4
	Grave Latéritique Naturelle	25-30	25	125	0,4
Forme	Grave Latéritique Naturelle	25-35	25	125	0,4
Plateforme	Sable	Infinie	10	50	0,35
	Argile		10	50	0,35
	Grave Latéritique Naturelle		20	100	0,4

IV.2. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE

DONNÉES

- Classe de trafic : **T3** ;
- Nombre cumulé de Poids Lourds **NPL= 2 081 304 PL**
- Coefficient d'Agressivité Moyen **CAM=0,89**
- Classe de sol : **S2** ;
- Durée de vie : **15 ans** ;
- Structures de chaussées sélectionnées (Cf : Tableau 19)

HYPOTHÈSE DE CALCUL

Modules de Young

- Plateforme : $E=50$ Mpa ;
- Couche de roulement en Béton Bitumineux : $E= 2\,450$ Mpa à 25°C;
- Couche de base en Grave Bitume : $E=4\,000$ Mpa ;
- Couche de base en O/D : $E=500$ Mpa ;
- Couche de fondation en O/D : $E= 500$ Mpa

Coefficient de poisson = 0,35

Connectivité des couches

On suppose que toutes les interfaces sont collées entre elles.

JUSTIFICATION AVEC LE LOGICIEL ALIZÉE

Structure 1			Structure 2		
Couche	Matériaux	Ep(cm)	Couche	Matériaux	Ep(cm)
Revêtement	Béton Bitumineux (25°C)	4	Revêtement	Béton Bitumineux (25°C)	5
Base	Grave Bitume	15	Base	Concassé 0/32,5	35
Fondation	Concassé 0/32,5	30	Fondation	Grave Latéritique Naturelle	35
Forme	Grave Latéritique Naturelle	30	Forme	Grave Latéritique Naturelle	30
Plateforme	Sable	Infinie	Plateforme	Sable	Infinie
Vérification					
	Obtenu ($\mu\text{déf}$)	Admissible ($\mu\text{déf}$)		Obtenu ($\mu\text{déf}$)	Admissible ($\mu\text{déf}$)
Déformation tangentielle	52,6 (BB)	135,9	Déformation tangentielle	142,8 (BB)	168,9
Déformation tangentielle	124,4 (GB)	86,7			
Contraintes	290,2	474,8	Contraintes	857,9	867,7
Conclusion	Non vérifiée			Vérifiée	

CHAPITRE V / NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL, ESTIMATION DU COÛT DES TRAVAUX

V.1. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

L'étude d'impact environnemental et social permettra d'apprécier le niveau d'impacts directs ou indirects, à court, moyen et long terme des activités liées au projet sur l'environnement, et s'assurer que les mesures nécessaires sont prises en vue de maintenir les impacts potentiels dudit projet à de niveaux de seuils environnementaux acceptables. Nous présentons ici la synthèse de cette étude selon le plan suivant :

- Cadre juridique et institutionnel ;
- Description des alternatives au projet ;
- Présentation de la situation existante avant le projet ;
- Récapitulatif des impacts environnementaux et sociaux du projet ;
- Mesures environnementales identifiées par phase ;
- Plan simplifié de Gestion Environnementale et Sociale (PGES).

V.1.1. CADRE JURIDIQUE ET INSTITUTIONNEL

La réalisation de cette étude est encadrée par les textes juridiques et institutionnels de la République du Cameroun.

Sur le plan juridique, nous pouvons citer entre autres :

- La loi N°96/12 du 05 août 1996 portant loi cadre relative à la gestion de l'environnement ;
- Le décret N°2013/0171/PM du 14 février 2013 fixant les modalités de réalisation de l'étude d'impact environnemental et social ;
- L'arrêté N°0070/MINEP du 12 avril 2005 fixant les différentes catégories d'opérations dont la réalisation est soumise à une étude des impacts sur l'environnement (EIE).

Sur le plan institutionnel, nous avons entre autres :

- Le Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable (MINEPDED) ;
- Le Ministère de la Faune et des Forêts (MINFOF) ;
- Le Ministère de l'Administration et de la Décentralisation (MINATD) ;
- Le Ministère du Domaine, du Cadastre et des Affaires Foncières (MINCAF) ;
- Etc.

V.1.2. DESCRIPTION DES ALTERNATIVES AU PROJET

Après une visite de terrain consacrée à l'exploration des options possibles, une analyse des différentes alternatives a été faite par des experts environnementaux et sociaux pour minimiser les impacts environnementaux et sociaux dans la zone du projet.

Option 0 : Pas de projet

Elle consiste à laisser la traversée du fleuve à cet endroit précis à l'état actuel. La traversée du fleuve se fera toujours par bac si ce dernier est réhabilité avec tous les risques et contraintes que cela comporte.

L'avantage de cette option est qu'aucun impact environnemental ne sera produit, car le projet étant abandonné. Elle présente un frein pour le développement de la zone du projet et celui du Cameroun.

Cette option est donc écartée, car elle ne contribue pas à l'amélioration des conditions de vie des populations.

Option 1 : Construction du pont et ses voies d'accès

Plusieurs variantes de tracés et de ponts ont fait l'objet des analyses multicritère des tableaux 23 et 29.

Les différents avantages et impacts négatifs sur l'environnement y sont consignés.

V.1.3. PRÉSENTATION DE LA SITUATION EXISTANTE AVANT LE PROJET

Récepteur		Composantes	Description
Cadre physique	Environnement du projet	Relief	Le projet est situé dans les plateaux du sud Cameroun. Les altitudes moyennes sont entre 650 et 900 m. il est légèrement incliné du nord vers le sud dans le sens d'écoulement du Nyong.
		Climat	Climat équatorial à 04 saisons avec une moyenne de 1500 à 3000 mm de pluie par an. La température moyenne est de 24°C
		Humidité relative	97% en saison de pluies contre 80% en saison sèche.
		Régimes de vents	Vents modéré
		Hydrographie	Le principal cours d'eau de la ZIP est le Nyong. On peut ajouter à cela, plus de 07 petits cours d'eau et plus de 16 rivières et ruisseaux.
	Pédologie	La zone se situe dans une région classée parmi les mieux pourvues en bons sols	
	Milieu biologique	Végétation et flore	La zone est couverte d'une forêt dense riche en sterculiacées. Il existe dans cette zone, des parties n'ayant pas encore subi l'action humaine.
		Faune	Elle est très diversifiée dans cette zone. L'on rencontre des rongeurs, des reptiles, des singes, des gorilles, des chimpanzés, ct.
			Il existe des espèces animales protégées.

		Biodiversité	La diversité biologique constitue pour les populations une grande ressource des produits dédiés à la consommation.
	Milieu humain	Démographie et évolution de la population	Entre 2005 et 2015, le taux de croissance de la population était aux environs de 2,48%. La population dans les 02 arrondissements serait de 284 000 habitants.
		Organisation des ménages	Environ 06 personnes par ménage vivant essentiellement de l'agriculture et de la chasse.
		Organisation socio-culturelle	Les us et coutumes sont valorisés dans la zone à travers les cultes aux ancêtres, la croyance aux lieux et arbres sacrés, les offrandes des animaux en sacrifice. L'islam et le christianisme sont pratiqués dans la zone.
		Habitats et tombes	Les habitats constitués des maisons en briques de terre, maisons semi dures et en parpaings sont présent le long de la route. Des tombes aménagées et non aménagées sont présentes dans la zone.
	Infrastructures	Éducation et formation	La zone compte 07 établissements scolaires composés des écoles primaires et maternelles.
		Santé	Un seul centre de santé intégré dans la zone.
Cadre socio-économique		Cf. I.2.3.1	

V.1.4. RÉCAPITULATIF DE L'IDENTIFICATION ET DE L'ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX DU PROJET

Tableau 60: Identification des impacts

Récepteur	Composantes	Impacts		Activités source d'impact	Causes directes de l'impact
		N°	Description		
Environnement	Relief	Imp1	- Modification du relief ; - Risque d'érosion du sol avec perte de propriétés physiques.	- Exploitation des carrières ; - Travaux de purges.	- Création d'emplois à la carrière ; - Risques d'accidents
	Climat	Imp2	- Réchauffement climatique ; - Nuisance sonore,	- Travaux d'abattage ; - Bitumage de la route ; - Vibrations provenant des carrières et des engins de terrassement	- Déforestation et augmentation du braconnage ; - Vibrations provenant des carrières ; - Création d'emplois
	Eau de surface	Imp3	Pollution des eaux de surface	- Utilisation des engins et camions ; - Entretien des engins	- Dépôts d'huiles usagées ; - Chiffons d'entretien des engins et huile de graissage.
	Eau souterraine	Imp4	Pollution des eaux souterraines	- Utilisation des engins et camions ; - Entretien des engins	- Dépôts d'huiles usagées ; Chiffons d'entretien des engins et huile de graissage.
	Air	Imp5	Pollution de l'air	- Travaux de terrassement ; - Déplacement des engins.	- Émissions des poussières ; - Émission des gaz d'échappement
	Sols	Imp6	Pollution des sols	- Utilisation des engins et camions ; - Entretien des engins	- Utilisation des huiles usagées.
Milieu biologique	Végétation et flore	Imp7	Déforestation	- Dégagement de l'emprise de la route ; - Exploitation des carrières ;	- Changement d'activités pour les populations ;

	Faune	Imp8	Appauvrissement de la faune	Consommation de viandes de brousse par les travailleurs de la société	- Braconnage
	La biodiversité	Imp9	Disparition des espèces animales protégées	Exploitation des carrières et gites de sable	- Émission des bruits ; - Modification du lit d'eau
Milieu humain	Démographie et évolution de la population	Imp10	Amélioration du niveau de revenu des producteurs et opérateurs économiques locaux	Construction du pont et ses voies d'accès	- Accès rapide et sécurisé dans la zone
	Vie communautaire	Imp11	Conflits sociaux	Construction du pont et ses voies d'accès	- Conquête des femmes par les travailleurs étrangers ; - Non-paiement des indemnités.
	Habitats et tombes	Imp12	Destruction des habitations et lieux sacrés.		Libération de l'emprise des voies d'accès.
	Organisation socio-culturelle	Imp13	Modification de l'organisation socio-culturel des populations		- Présence des travailleurs étrangers dans la zone ; - Destruction des lieux sacrés.
Infrastructures	Éducation et formation	Imp14	Accident de circulation		Circulation des engins et camions
	Santé	Imp15	Manque de structures sanitaires	Augmentation de la population pendant les travaux.	

Tableau 61: Caractérisation des impacts

Impacts		Nature	Ampleur	Portée	Durée	Occurrence	Réversibilité	Importance
N°	Description							
Imp1	- Modification du relief ; - Risque d'érosion du sol avec perte de propriétés physiques.	Négatif	Moyen	Locale	Longue	Certain	Irréversible	Faible
Imp2	- Réchauffement climatique ; - Nuisance sonore	Négatif	Moyen	Locale	Moyenne	Certain	Irréversible	Moyenne
Imp3	Pollution des eaux de surface	Négatif	Mineur	Locale	Courte	Probable	Réversible	Faible
Imp4	Pollution des eaux souterraines	Négatif	Mineur	Locale	Courte	Probable	Réversible	Faible
Imp5	Pollution de l'air	Négatif	Mineur	Locale	Courte	Probable	Réversible	Faible
Imp6	Pollution des sols	Négatif	Mineur	Locale	Courte	Probable	Réversible	Faible
Imp7	Déforestation	Négatif	Moyen	Locale	Longue	Certaine	Irréversible	Faible
Imp8	Appauvrissement de la faune	Négatif	Moyen	Locale	Moyenne	Certaine	Réversible	Faible
Imp9	Disparition des espèces animales protégées	Négatif	Moyen	Locale	Moyenne	Probable	Réversible	Faible
Imp10	Amélioration du niveau de revenu des producteurs et opérateurs économiques locaux	Positif	Moyen	Nationale	Longue	Certain	Irréversible	Important
Imp11	Conflits sociaux	Négatif	Forte	Locale	Courte	Probable	Réversible	Important
Imp12	Destruction des habitations et lieux sacrés.	Négatif	Moyen	Locale	Longue	Certaine	Irréversible	Important
Imp13	Modification de l'organisation socio-culturel des populations	Négatif	Moyen	Locale	Longue	Certaine	Irréversible	Important
Imp14	Accident de circulation	Négatif	Mineur	Locale	Courte	Probable	Réversible	Important
Imp15	Manque de structures sanitaires	Négatif	Moyen	Locale	Courte	Probable	Réversible	Moyen

V.1.5. MESURES ENVIRONNEMENTALES IDENTIFIÉES PAR PHASE

Impacts		Mesures d'atténuation
N°	Description	
Imp1	- Modification du relief ; - Risque d'érosion du sol avec perte de propriétés physiques.	- Observer les règles en vigueur ; - Former et sensibiliser les ouvriers.
Imp2	- Réchauffement climatique ; - Nuisance sonore	- Évaluer les impacts résiduels
Imp3	Pollution des eaux de surface	- Laver les voitures dans les stations ;
Imp4	Pollution des eaux souterraines	- Vidanger les engins dans les lieux agréés
Imp5	Pollution de l'air	- Faire la visite technique des engins conformément à la réglementation ; - Éteindre les moteurs des engins lorsqu'ils ne sont pas en fonction
Imp6	Pollution des sols	- Récupérer les huiles usagées pour leur recyclage ; - Vidanger les engins dans les lieux agréés
Imp7	Déforestation	
Imp8	Appauvrissement de la faune	Sensibiliser les populations et employés sur la lutte contre le braconnage.
Imp9	Disparition des espèces animales protégées	
Imp10	Amélioration du niveau de revenu des producteurs et opérateurs économiques locaux	- Informer les populations sur les opportunités d'emplois qui sont offertes ; - Sensibiliser les populations à former leurs enfants dans la maintenance des engins et autres équipements.
Imp11	Conflits sociaux	- Privilégié la main d'œuvre locale ; - Sensibiliser les populations sur l'importance de projet ; - Rendre transparentes les procédures d'indemnisations.
Imp12	Destruction des habitations et lieux sacrés.	- Sensibiliser les populations sur l'importance du projet ; - Rendre transparentes les procédures d'indemnisation et d'expropriation.
Imp13	Modification de l'organisation socio-culturel des populations	Respect de la réglementation en vigueur ; Sensibiliser les employés étrangers au respect des us et coutumes des population autochtones.
Imp14	Accident de circulation	Sensibiliser les conducteurs sur la bonne pratique du code de la route et la sécurité sur chantier.
Imp15	Manque de structures sanitaires	

V.2. ESTIMATION DU COÛT DES TRAVAUX

N°	Désignation	Unite	Quantité	Prix unitaire	Prix total
100	INSTALLATION DE CHANTIER	FF	1,0	200 000 000	200 000 000
	Sous-Total 100				200 000 000
200	Dégagement et préparation de terrain				
201	Arrachage d'arbres(diam>1m)	U	15,0	70 000	1 050 000
202	Débroussaillage et nettoyage sur terre ferme	m ²	2 000	250	500 000
203	Débroussaillage et nettoyage en zone marécageuse	m ²	200	500	100 000
204	Enlèvement de la terre végétale	m ²	2 000,0	1 000	2 000 000
205	Engazonnement des talus	m ²	500,0	2 000	1 000 000
206	Plantation des arbres	U	10,0	15 000	150 000
207	Provision pour déplacement de réseau et libération	FF	1,0	PM	PM
	Sous-Total 200				4 800 000
300	Terrassements				
301	Déblai non réutilisable en remblai, et purges				
301.1	Déblai non réutilisable en remblai,	m ³	500,0	3 500	1 750 000
301.2	Purges	m ³	2 250,0	7 000	15 750 000
302	Remblai d'emprunt	m ³	6 000,0	8 000	48 000 000
303	Compactage et profilage de la plate-forme des terrassements	m ²	600,0	500	300 000
	Sous-Total 300				65 800 000

400	Chaussée				
401	Couche de fondation en grave latéritique (25cm)	m ³	150,0	10 000	1 500 000
402	Couche de base en grave concassé (20cm)	m ³	100,0	29 000	2 900 000
403	Imprégnation	m ²	500,0	1 200	600 000
404	Enduit bicouche sur accotement et chaussée	m ²	150,0	6 000	900 000
405	Revêtement en béton bitumineux 5 cm	m ²	1 505,0	20 000	30 100 000
406	Couche d'accrochage	m ²	1 505,0	700	1 053 500
	Sous-Total 400				37 053 500
500	Ouvrage d'assainissement				
501	Fosses longitudinaux et divergents en terre	ml	0,0	4 000	0
502	Fosses longitudinaux revêtus en béton	ml	0,0	30 000	0
503	Perrés en maçonnerie de moellons	m ²	2 000,0	25 000	50 000 000
504	Filets d'eau ou bordures	ml	100,0	12 000	1 200 000
505	Descentes d'eau	ml	80,0	30 000	2 400 000
506	Dalot d'équilibre en béton (dim 1x4,00x4,00m)	ml	33,0	3 500 000	115 500 000
507	Murs de tête aval et amont pour dalot	U	2,0	5 000 000	10 000 000
508	Matériaux drainant	m ³	3 900,0	40 000	156 000 000
509	Géotextiles	m ²	3 480,0	10 000	34 800 000
	Sous-Total 500				369 900 000
600	Construction du pont				
601	Garantie décennale	FF	1,0	80 000 000	80 000 000
602	Essais géotechniques complémentaires	FF	1,0	60 000 000	60 000 000
603	Construction des culées et des piles en béton arme				
603.1	Exécution de la digue en matériau argileux, y/c protection	m ³	61 875,0	5 000	309 375 000
603.2	Exécution des fouilles	m ³	3 650,0	18 000	65 700 000
603.3	Exécution des palplanches métalliques	m ²	1 800,0	70 000	126 000 000
603.4	Mise hors eau des fouilles	FF	4	5 000 000	20 000 000
603.5	Mise en œuvre du béton cyclopéen	m ³	164	150 000	24 600 000
603.6	Enracinage par des aciers doux inoxydable de diam 40mm	ml	246,0	60 000	14 760 000
603.7	Fourniture et la mise en œuvre de béton de propreté C200	m ³	23,9	120 000	2 868 000
603.8	Réalisation des coffrages ordinaires	m ²	169,7	10 000	1 697 000
603.9	Réalisation des coffrages lisses	m ²	4 277,9	30 000	128 337 000
603.10	Fourniture et la mise en œuvre des buses béton de diam 1,5m	ml	52,0	200 000	10 400 000
603.11	Fourniture et la mise en œuvre des armatures	T	149,3	1 400 000	209 020 000

603.12	Fourniture et la mise en œuvre du béton Q400 pour culées, semelles, piles, chevetres, murs en retour, dalle de transition, bossages	m ³	803,1	280 000	224 880 096
603.13	Fourniture et la mise en œuvre du produit bitumineux à appliquer sur les bétons en contact avec les terres	m ²	3 342,1	5 000	16 710 500
603.14	Remblai du bloc technique	m ³	3 720,0	10 000	37 200 000
604	Bipoutre métallique				
604.1	Réalisation de la charpente métallique	T	587,2	4 000 000	2 348 800 000
604.2	Réalisation de la protection contre la corrosion	m ²	2 970,0	15 000	44 550 000
604.3	Réalisation du montage sur sites et lancement	T	587,2	275 000	161 480 000
604.4	Fourniture et la pose des appuis en néoprène fretté 30x30x8	U	8,0	1 000 000	8 000 000
605	Dalle coulée sur place				
605.1	Fourniture et la pose des predalles	m ²	1 755,0	42 000	73 710 000
605.2	Réalisation des coffrages lisses	m ²	107,1	30 000	3 213 000
605.3	Fourniture et la pose des armatures	T	123,8	1 400 000	173 320 000
605.4	Coulage de béton pour dalle	m ³	495,0	280 000	138 600 000
605.5	Fourniture et la pose des décharges d'eau pluviale.	U	24,0	45 000	1 080 000
605.6	Fourniture, la pose et réglage, des joints de dilatation.	ml	20,0	150 000	3 000 000
605.7	Fourniture, la mise en œuvre et le réglage du béton Q400 pour le nivellement de la dalle, y compris toutes sujétions	m ³	87,8	280 000	24 570 000
606	Trottoir	m ²	495,0	45 000	22 275 000
607	Étanchéité de la dalle	m ²	1 650,0	10 000	16 500 000
608	Garde-corps	ml	340,0	60 000	20 400 000
609	Réalisation des épreuves de chargement de l'ouvrage	FF	1,0	10 000 000	10 000 000
610	Barrière type BN4	ml	330,0		
	Sous-Total 600				4 381 045 596

700	Signalisation et équipement				
701	Signalisation horizontale				
701.1	Pose de peinture rétroréfléchissante d'une bande continue de 0,10 m de largeur	ml	545,0	3 000	1 635 000
701.2	Pose de peinture rétroréfléchissante d'une bande discontinue de 0,15 m de largeur, de 3,00 m de longueur, avec un espacement de 3,50 m (ligne de rive T2)	ml	100,0	2 500	250 000
701.3	Pose de peinture rétroréfléchissante pour flèche de rabattement	U	2,0	3 000	6 000
702	Signalisation verticale				
702.1	Fourniture et pose de panneaux de localisation	U	2,0	70 000	140 000
702.2	Fourniture et pose de panneaux de présignalisations	U	2,0	85 000	170 000
703	Balise	U	50,0	30 000	1 500 000
704	Glissières de sécurité en béton armé	ml	10,0	140 000	1 400 000
	Sous-Total 700				5 101 000
	RÉCAPITULATIF				
100	Sous-Total 100				200 000 000
200	Sous-Total 200				4 800 000
300	Sous-Total 300				65 800 000
400	Sous-Total 400				37 053 500
500	Sous-Total 500				369 900 000
600	Sous-Total 600				4 381 045 596
700	Sous-Total 700				5 101 000
	TOTAL HT				5 063 700 096
	TVA(19,25%)				974 762 268
	TOTAL TTC				6 038 462 364

CONCLUSION GÉNÉRALE

La réussite d'un projet d'infrastructure est influencée par la pertinence de sa justification, le choix technico-financier effectué, l'impact environnemental et social dudit projet pour ne citer que ceux-là. Des études détaillées doivent être menées avec rigueur pour atteindre cet objectif. C'est le travail auquel nous nous sommes livrés dans le cadre des « études détaillées pour la construction d'un pont et ses voies d'accès au fleuve Nyong à Ékombitié au PK24+00 de la route Mfou-Nkilzok-Ékombitié-Nkolguet dans la Région du Centre-Cameroun ». Ce travail est réalisé dans un cadre académique pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2iE avec grade de master.

Ce mémoire avait pour but de proposer et dimensionner la variante de pont et de chaussée de la voie d'accès retenue pour assurer la traversée rapide et sécurisée sur le fleuve Nyong à Ékombitié permettant ainsi de promouvoir les échanges économiques dans la zone du projet.

Après une collecte globale des données socio-économiques et techniques de la zone du projet, des variantes de tracés et de pont ont été sélectionnées pour répondre aux exigences des Termes de Références du projet. Au moyen des analyses multicritères des différentes variantes des voies d'accès et des ouvrages, le tracé 3 est retenu comme le plus optimal. Sa structure de chaussée est composée d'un revêtement en Béton Bitumineux de 4 cm, d'une couche de base de 35 cm en concassés 0/32,5, des couches de fondation et de forme en Grave Latéritique Naturelle de 30 et 35 cm respectivement.

L'ouvrage adopté est un pont bipoutres hyperstatique avec un tablier à ossature mixte acier-béton ayant pour portée principale 65 m pour une ouverture totale de 165 m. il repose sur des appuis en béton (piles et culés) prenant appui sur des fondation superficielles.

Ces ouvrages ont fait l'objet d'un dimensionnement minutieux conformément aux normes de l'ingénierie de la construction. Le coût prévisionnel des travaux est de 6 038 462 364 Franc CFA (Six Milliards Trente Huit Millions Quatre Cent Soixante Deux Mille Trois Cent Soixante Quatre Francs CFA) pour une durée de travaux de deux (02) ans.

Après sa mise en service, ce projet aura un impact économique sur les populations riveraines en ce qui concerne le gain de temps lors des déplacements et la valorisation du potentiel agricole que regorge cette zone et par conséquent, un apport pour la grande métropole Yaoundé qui est très proche de la zone.

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTS ET RÈGLEMENTS

- [1] EUROCODE 0 : Base de calcul des structures ;
- [2] EUROCODE 1 : Actions sur les structures ;
- [3] EUROCODE 2 : Calcul des structures en béton ;
- [4] EUROCODE 3 et 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton ;
- [5] Marché N°000018/M/PR/M/MINMAP/SG/DGMI/DMAI/CE5/CEA5/2019 du 25 juillet 2019 passé après appel d'offre national restreint N°036/AONR/PR/MINMAP/SG/DGMI/DMAI/CE5/NBJM/2018 du 16/04/2018 pour la réalisation des études détaillées en vue de la construction de certains ponts et leurs voies d'accès sur le réseau national, LOT 1.
- [6] Les différents rapports d'études préliminaires d'ouvrage.
- [7] SETRA, Guide méthodologique, Eurocode 3 et 4 : Application aux ponts routes mixtes acier-béton, juillet 2007 ;
- [8] SETRA n°54, Ouvrages d'art, mars 2007 ;
- [9] SETRA, Ponts mixtes acier-béton, Guide de conception durable, septembre 2010 ;

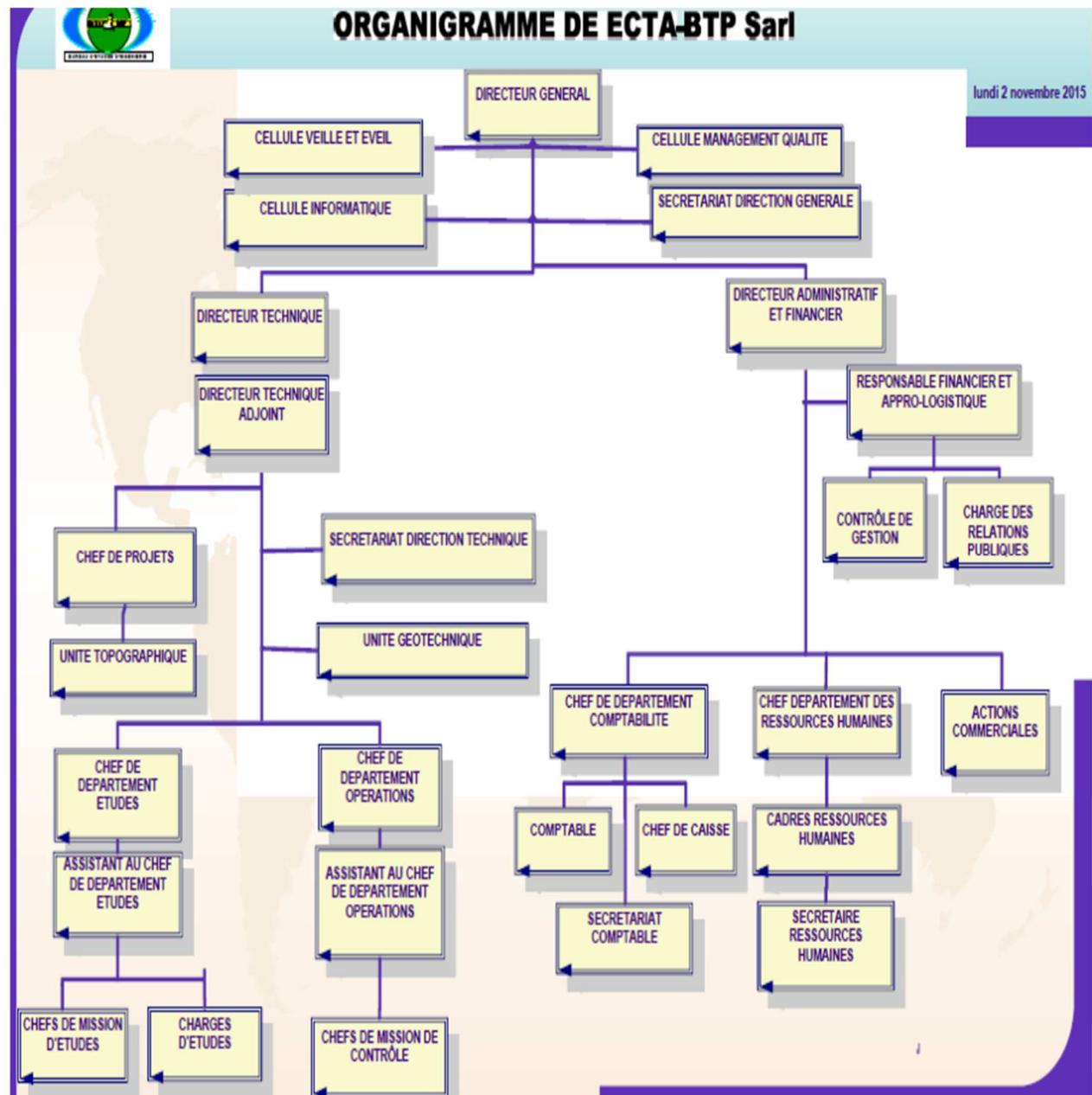
COURS

- [11] Dr. Adamah MESSAN, cours de Béton Armé 3, Institut 2iE ;
- [12] Dr. DJOUMBISSIE Decroly, cours de construction mixte, Institut 2iE ;
- [13] M. ISSOUFOU TAMBOURA, cours de ponts et ouvrages d'art, Institut 2iE ;
- [14] M. MOUSSA LO, cours de construction métallique, Institut 2iE ;

ANNEXES

<i>ANNEXE 1 : ORGANISATION DE L'ENTREPRISE.....</i>	<i>74</i>
<i>ANNEXE 2 : ESTIMATION DU TRAFIC FUTUR.....</i>	<i>75</i>
<i>ANNEXE 3 : DÉLIMITATION DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE NYONG À EKOMBITIÉ.....</i>	<i>78</i>
<i>ANNEXE 4 : DÉTERMINATION DE LA COTE DE L'EAU AVEC LE LOGICIEL HEC-RAS.....</i>	<i>79</i>
<i>ANNEXE 5 : OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL DE LA VOIE D'ACCÈS.....</i>	<i>80</i>
<i>ANNEXE 6 : VUE EN PLAN DES VARIANTES DE TRACÉS.....</i>	<i>83</i>
<i>ANNEXE 7 : DETAILS DES ÉLÉMENTS PRIS EN COMPTE DANS LES CRITÈRES D'ANALYSE DES VARIANTES DE TRACES</i>	<i>84</i>
<i>ANNEXE 8 : DETAILS DES ÉLÉMENTS PRIS EN COMPTE DANS LES CRITÈRES D'ANALYSE DES VARIANTES DE PONTS</i>	<i>86</i>
<i>ANNEXE 9 : DÉTAILS DE PRÉ DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE.....</i>	<i>87</i>
<i>ANNEXE 10 : DIMENSIONNEMENT DE LA DALLE</i>	<i>88</i>
<i>ANNEXE 11 : ÉTUDE LONGITUDINALE DU PRS</i>	<i>101</i>
<i>ANNEXE 12: DIMENSIONNEMENT DES APPUIS.....</i>	<i>110</i>
<i>ANNEXE 13 : VÉRIFICATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSÉE DANS ALIZE</i>	<i>115</i>
<i>ANNEXE 14 : AVANT MÈTRE DES TRAVAUX.....</i>	<i>116</i>

ANNEXE 1 : ORGANISATION DE L'ENTREPRISE



ANNEXE 2 : ESTIMATION DU TRAFIC FUTUR

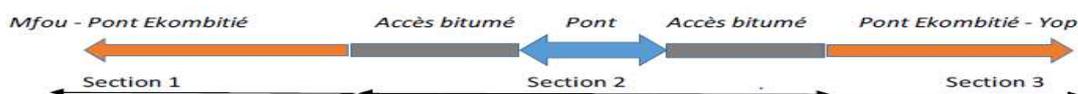
OPÉRATIONS DE COMPTAGE

Le projet a été sectionné en trois (03) section pour tenir compte des spécificités de chaque section :

Section 1 : Mfou-Pont Ékombitié est une section en terre (L=23,70 Km) ;

Section 2 : les accès bitumés de part et d'autre du pont d'Ékombitié (L=800m) ;

Section 3 : pont Ékombitié-Yop en allant vers Mbéga (L=12,20 Km).



Les résultats de comptage ont révélé que la section la plus sollicitée est la section 3. C'est le trafic de cette section qui sera considéré comme le trafic de référence.

PROJECTION DU TRAFIC

Pour la projection du trafic sur la voie considérée, nous calculons les trafics suivants :

Le trafic normal qui est celui existant avant la réalisation du projet ;

Le trafic induit qui est celui susceptible d'être généré une fois l'ouvrage mis en service ;

Le trafic détourné qui est celui attiré par d'autres voies avant la réalisation du projet ;

Le trafic de mise en service = trafic normal + détourné + trafic induit.

Composante du trafic sur la section 3 à l'année de mise du pont

Catégories de véhicules	Pont Ekombitié-Yop				
	Type de véhicules	Trafic normal	Trafic détourné	Trafic induit (15% TN*)	Trafic à l'an. De service
VLP	VP	28	151	5	183
	Pickup	12	80	2	94
TC	Mini bus	0	84	0	0
	Bus	0	0	0	0
PL	Cam 2 ess.	3	17	0	20
	Cam 3 ess.	97	124	0	212
	Ensemble articulé	1	10	0	11
	Grumier	0	8	0	8
	Total	141	474	7	622
	% PL	71,63	33,54	0	41,80
	Total PL/J/Sens				130
	Trafic de mise en service avec $\alpha = 2\%$ sur 5 ans (2019-2024)				144

* À l'exclusion des camions dont la variation du trafic exprime essentiellement la variation de la production de la zone du projet

ESTIMATION DU TAUX DE CROISSANCE

L'évolution du trafic est fonction de l'évolution de la population, du revenu moyen par habitant et de l'évolution du PIB du pays. L'annexe 2-2 présente les objectifs de croissance de l'économie et de la population en (%) entre les années 2010 et 2020.

Estimation de la croissance du PIB et de la population entre 2010-2020

Indicateur de croissance	2010-2015	2015-2020
PIB	4,4	4
Population	2,8	2,8
PIB/Habitant	1,6	1,5

Source : Projection INS

Pour notre étude, nous prenons un taux de croissance égale à 5% pour une la durée de vie de la voie de 15 ans. En considérant le délai des travaux de deux (02) ans et en appliquant le taux de croissance précédent puis en déduisant le trafic de l'année de mise ne service du pont et ses voies d'accès sur la section la plus sollicitée, nous avons les résultats suivants :

CLASSIFICATION DU TRAFIC

Les classes de trafics sont fonctions du Trafic Journalier Moyen des Lourds (TMJPL).

Avec un trafic de poids lourds à l'année de mise service estimé à 144PL/J/Sens, le nombre de poids lourds cumulés sur la durée de la chaussée de 15 ans est donné par la relation suivante :

$$NPL = 365T_1 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] = 2\,081\,304\,PL$$

Avec :

$i=5\%$: Taux de croissance annuel du trafic ;

T_1 : le trafic à l'année de mise en service ou année de référence ;

$n=15$: la durée de vie de la chaussée.

Calcul du nombre d'essieux équivalent N.E

$$NE = CAM \times NPL$$

$$CAM = \frac{C_i \times N_i}{\sum N_i} = \frac{84 \times 0,2 + 0 \times 0,2 + 20 \times 0,4 + 221 \times 1,1 + 11 \times 1,7 + 8 \times 2}{84 + 0 + 20 + 221 + 11 + 8} = 0,8919$$

Avec :

C_i : Agressivité moyen de l'essieu du véhicule de type i ;

N_i : le Nombre de véhicule de type i ;

$\sum N_i$ le nombre total des essieux.

Coefficients d'agressivité des poids lourds

Véhicule	Autocar	Camion 2 ess	Camion 3 ess	Ens. Arti	Grumier
Ci	0,25	0,4	1,1	1,7	2

Source : MINTP

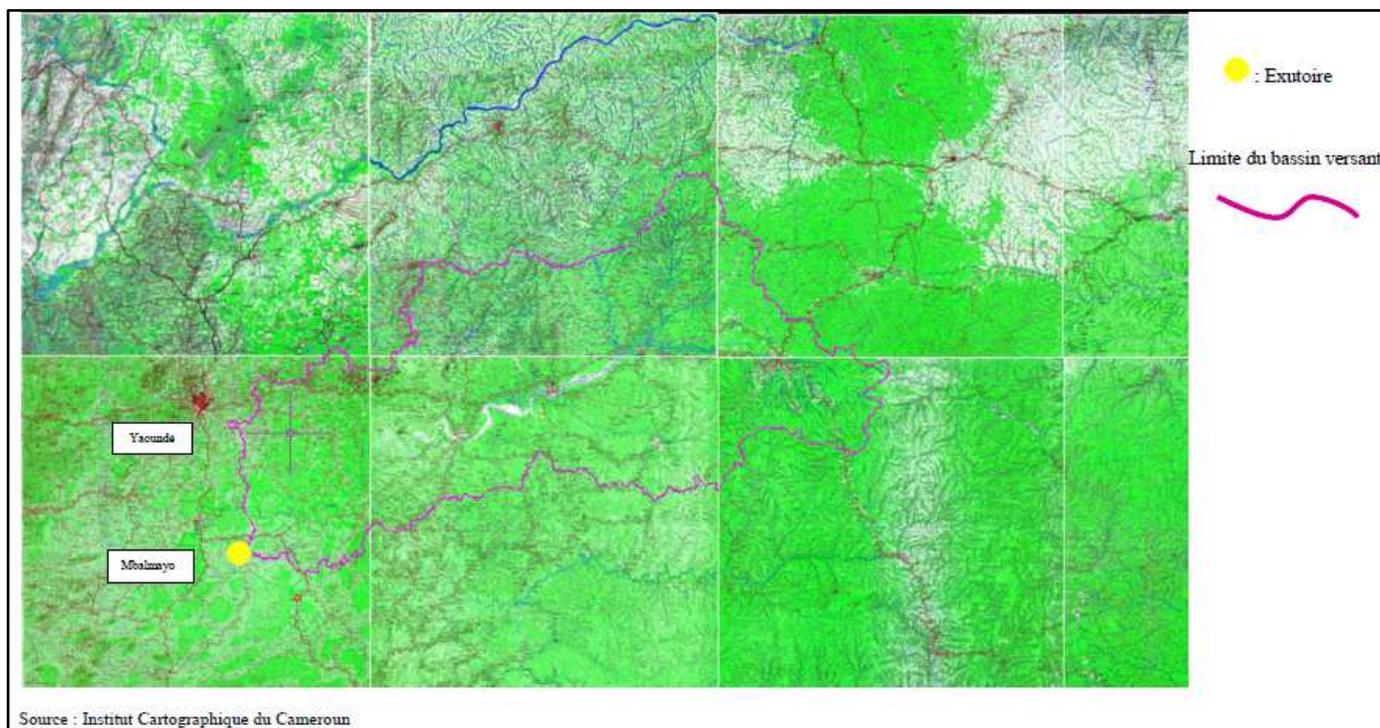
NE=0,89x2 081 304 = 1 856 233 PL

Ce trafic correspond à la classification T3 suivant de l'annexe 2-4

Classe de trafic

Classe de trafic	Trafic cumulé en Nombre de Poids Lourds
T1	$< 5 \times 10^5$
T2	5×10^5 à $1,5 \times 10^6$
T3	$1,5 \times 10^5$ à 4×10^6
T4	4×10^6 à 10^7
T5	10^7 à 2×10^7

ANNEXE 3 : DÉLIMITATION DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE NYONG À EKOMBITIÉ



ANNEXE 4 : DÉTERMINATION DE LA COTE DE L'EAU AVEC LE LOGICIEL HEC-RAS

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: plan190 675 River: Nyong à Ekombiti F

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	57	PF 1	675.00	643.93	654.35		654.35	0.000120	0.29	3026.40	642.75	0.03
1	55	PF 1	675.00	643.08	654.34		654.34	0.000131	0.31	2949.03	642.97	0.03
1	53	PF 1	675.00	643.76	654.34		654.34	0.000115	0.29	3096.60	664.91	0.03
1	51	PF 1	675.00	643.49	654.33		654.33	0.000107	0.29	3118.01	681.42	0.03
1	49	PF 1	675.00	643.62	654.33		654.33	0.000153	0.31	2844.54	685.72	0.04
1	47	PF 1	675.00	643.25	654.32	646.21	654.32	0.000146	0.32	2760.30	623.21	0.04
1	45.47		Culvert									
1	45	PF 1	675.00	643.77	654.31		654.32	0.000152	0.32	2854.49	745.40	0.04
1	43	PF 1	675.00	643.25	654.31		654.31	0.000117	0.29	3368.06	925.83	0.03
1	41	PF 1	675.00	643.44	654.30		654.31	0.000130	0.30	2894.25	651.41	0.03
1	39	PF 1	675.00	643.59	654.30		654.30	0.000110	0.30	3059.69	850.80	0.03
1	37	PF 1	675.00	643.64	654.29		654.30	0.000116	0.31	3098.39	889.75	0.03
1	35	PF 1	675.00	643.86	654.29	645.86	654.29	0.000121	0.32	2983.59	860.82	0.03
1	33.35		Culvert									
1	33	PF 1	675.00	642.63	654.28	646.06	654.29	0.000138	0.32	2932.55	869.55	0.04
1	32.33		Bridge									
1	32	PF 1	675.00	644.73	654.27		654.28	0.000132	0.31	3218.96	982.17	0.03
1	31	PF 1	675.00	644.28	654.27		654.27	0.000128	0.31	3185.52	969.18	0.03
1	29	PF 1	675.00	642.09	654.27		654.27	0.000090	0.26	3778.44	1023.35	0.03
1	27	PF 1	675.00	643.31	654.26		654.26	0.000185	0.35	2656.84	941.06	0.04
1	25	PF 1	675.00	643.67	654.25		654.26	0.000277	0.42	2314.82	913.24	0.05
1	23	PF 1	675.00	643.60	654.24		654.25	0.000232	0.41	2263.30	888.33	0.05
1	21	PF 1	675.00	643.82	654.23		654.24	0.000287	0.43	2068.44	708.81	0.05
1	19	PF 1	675.00	643.06	654.22		654.23	0.000163	0.37	2392.35	711.36	0.04
1	17	PF 1	675.00	643.02	654.21		654.22	0.000148	0.35	2610.79	781.04	0.04
1	15	PF 1	675.00	643.69	654.21		654.21	0.000162	0.35	2745.87	911.53	0.04
1	13	PF 1	675.00	643.69	654.20	646.22	654.21	0.000150	0.34	2926.76	911.94	0.04

ANNEXE 5 : OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL DE LA VOIE D'ACCÈS

TRACE 1

PKx	PKy	Longueur (m)	Ouvrages linéaires	Ouvrages ponctuels
Côté gauche				
0+000	0+360	360	- Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/2 et 2/1) - 20ml de fossé de prolongement au PK0+000	//
0+360	1+060	700	Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,6m ; base : 0,4 ; pente talus 1/2 et 2/1)	Dalot 1x1 au PK1+060
1+060	1+410	350	Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,6m ; base = 0,4m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
1+410	2+540		Zone inondable	- Pont au PK1+530 - Dalot 1x(3*3) au PK1+810 - Dalot 1x(3*3) au PK2+150
2+540	3+090	840	Pas besoin de fossé	//
3+090	3+380			
Côté droit				
0+000	0+360	360	- Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/2 et 2/1) - 20ml de fossé de prolongement au PK0+000	//
0+360	1+060	700	Pas besoin de fossé	//
1+060	1+300	240	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,5m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
1+300	1+410	110		//
1+410	2+540		Zone inondable	
2+540	3+090	550	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/3 et 3/1)	//
3+090	3+380	290		//

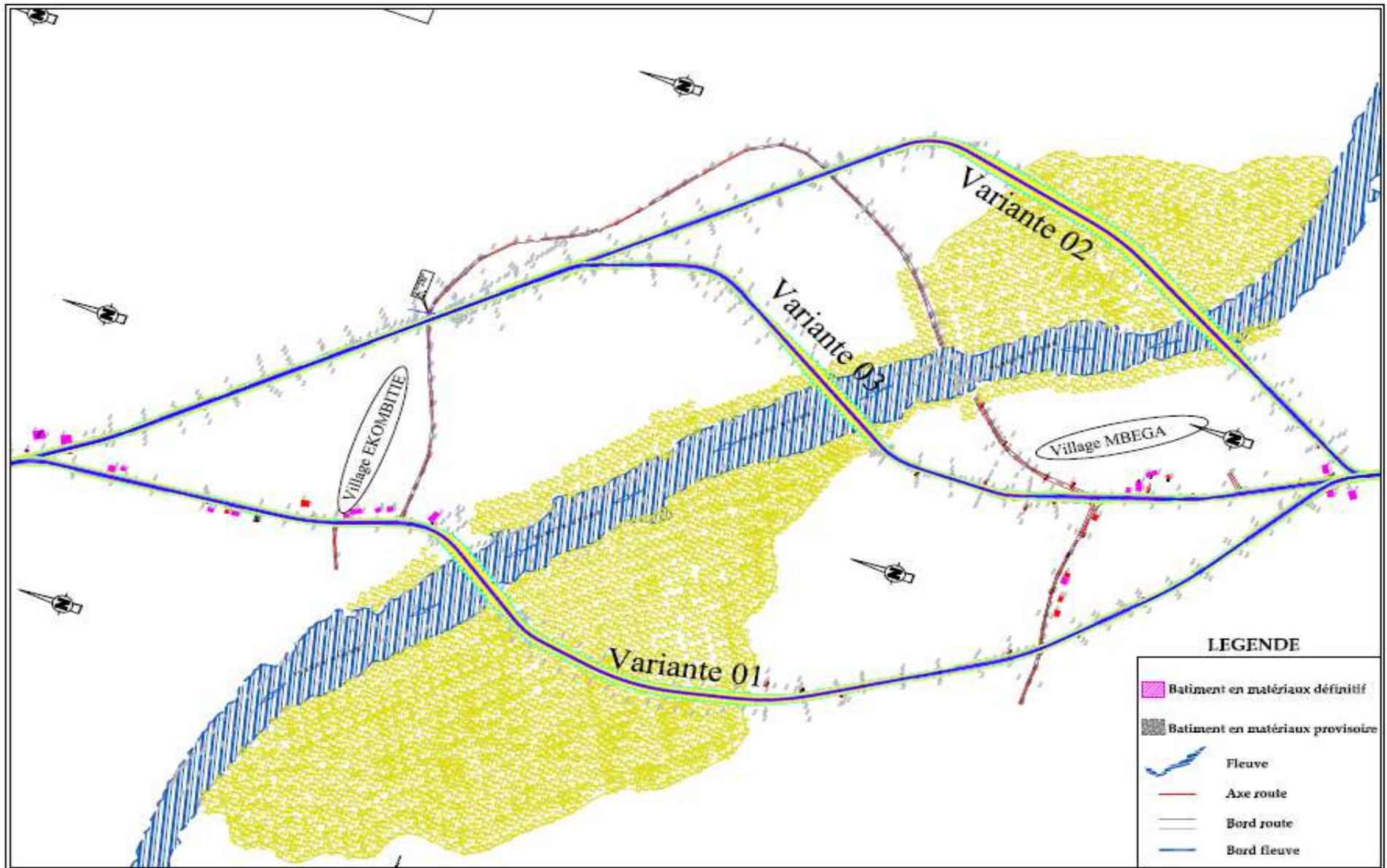
TRACÉ 2

PKx	PKy	Longueur (m)	Ouvrages linéaires	Ouvrages ponctuels
Côté gauche				
0+000	0+360	360	- Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/2 et 2/1) - 20ml de fossé de prolongement au PK0+000	//
0+360	0+960	600	- Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,6m ; base = 0,4m ; pente talus 1/2 et 2/1)	- Dalot 1x1 au PK0+960, - Prolongement de fossé sur 100m pour atteindre la route existante
0+960	1+110	150	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,5m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
1+110	1+550	440	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/3 et 3/1)	Dalot 2x(2,5x2) au PK1+550
1+550	2+160	610	Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,6m ; base = 0,4m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
2+160	2+420	260		
2+240	3+350	Zone inondable		- Dalot 1x(3*3) au PK2 640 - Dalot 1x(3*3) au PK2 880 - Pont au PK2+990
3+350	3+510	160	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,5m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
Côté droit				
0+000	0+360	360	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/2 et 2/1)	20ml de fossé de prolongement au PK0+000
0+360	0+960		Pas besoin de fossé	//
0+960	1+110			
1+110	1+550			
1+550	2+160			
2+160	2+420			
2+240	3+350	Zone inondable		
3+350	3+510	160	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,5m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//

TRACE 3

PKx	PKy	Longueur (m)	Ouvrages linéaires	Ouvrages ponctuels
Côté gauche				
0+000	0+360	360	- Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/2 et 2/1) - 20ml de fossé de prolongement au PK0+000	//
0+360	0+960	600	Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,6m ; base = 0,4m ; pente talus 1/2 et 2/1)	- Dalot 1x1 au PK0+960, - Prolongement de fossé sur 100m pour atteindre la route existante
0+960	1+110		Fossé triangulaire en béton armé (H=0,5m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
1+110	1+550		Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/3 et 3/1)	Dalot 2x(2,5x2) au PK1+550
1+550	1+800		Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,5m ; base = 0,4m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
1+800	2+170		Fossé trapézoïdal en béton armé (H=0,6m ; base = 0,4m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//
2+170	2+730		Zone inondable	- Dalot 1x(3*3) au PK2 190 - Pont au PK2+300 - Dalot 1x(3*3) au PK2 610
2+730	3+388		Pas besoin de fossé	//
Côté droit				
0+000	0+360	360	Fossé triangulaire en béton armé (H=0,6m ; pente talus 1/2 et 2/1)	20ml de fossé de prolongement au PK0+000
0+360	0+960		Pas besoin de fossé	//
0+960	1+110			
1+110	1+550			
1+550	1+800			
1+800	2+170			
2+730	2+730		Zone inondable	
3+350	3+388		Fossé triangulaire en béton armé (H=0,5m ; pente talus 1/2 et 2/1)	//

ANNEXE 6 : VUE EN PLAN DES VARIANTES DE TRACÉS



ANNEXE 7 : DETAILS DES ÉLÉMENTS PRIS EN COMPTE DANS LES CRITÈRES D'ANALYSE DES VARIANTES DE TRACES

CRITÈRE ENVIRONNEMENTAL

VARIANTES	CRITÈRES						
	Mise en valeur affectées et patrimoine foncier	Impacts sur les localités environnantes	Perte de la biodiversité	Ouverture du cours d'eau	Population	Activités économiques	Biens économiques touchés
V1	Elle passe en aval du passage actuel du bac. Sa longueur totale est 3 378 m avec près de 830 ml de zone marécageuse à traiter. Les principaux risques sont la destruction de certaines mises en valeurs des riverains, les propriétés foncières et les habitations se trouvant sur le tracé. 23 habitations seront détruites.	Elle permettra de fluidifier le transport et dynamiser l'économie de la zone.	Le volume de remblai de cette variante est estimé à 66 500 m ³ sur une profondeur de 8m. La destruction des végétaux et des habitations est envisagée.	Elle est environ de 170 ml pour une profondeur moyenne de 6,80 m environ.	Aucune population	Aucune activité économique, ni de population.	Aucune exploitation économique touchée.
Appréciation	Bien	Très Bien	Passable	Bien	Mauvais	Mauvais	Très Bien
NOTE = 24/ 35 soit 6,86/10							
V2 Note=24/35	Elle passe en amont du passage actuel. Sa longueur est 3 508 ml avec un traitement de 540 ml de zone marécageuse à faire. Les potentiels risques sont la destruction des champs, des propriétés foncières et des habitations prêtes du tracé. 15 habitations seront détruites.	Elle permettra de fluidifier le transport et dynamiser l'économie de la zone.	Près de 64 500 m ³ de remblai sur une profondeur de 12 m. la destruction des végétaux et habitations est envisagée.	Elle est environ de 170 ml pour une profondeur moyenne de 6,80 m environ.	Aucune population	Aucune activité économique, ni de population.	Aucune exploitation économique touchée.
Appréciation	Très Bien	Très Bien	Passable	Bien	Mauvais	Mauvais	Très Bien
NOTE = 26/ 35 soit 7,43/10							

V3 Note=27/35	Elle passe en amont du passage actuel. Sa longueur est 3 387 ml avec un traitement de 190 ml de zone marécageuse à faire. Les potentiels risques sont la destruction des champs, des propriétés foncières et des habitations prêtes du tracé. 15 habitations seront détruites.	Elle permettra de fluidifier le transport et dynamiser l'économie de la zone	28 000 m ³ de remblai à réaliser sur une profondeur de 12 ml. La destruction des végétaux et habitations est envisagée.	Elle est environ de 165 ml pour une profondeur moyenne de 6,00 m environ.	Aucune population	Aucune activité économique, ni de population.	Aucune exploitation économique touchée.
Appréciation	Très Bien	Très Bien	Passable	Très Bien	Mauvais	Mauvais	Très Bien
NOTE = 27/ 35 soit 7,71/10							

Notation : TB= 5 pts ; B= 4 pts ; P = 3 pts ; Mauvais = 2 pts ; T. Mauvais=1pt.

ANNEXE 8 : DETAILS DES ÉLÉMENTS PRIS EN COMPTE DANS LES CRITÈRES D'ANALYSE DES VARIANTES DE PONTS

CRITÈRE DU DÉLAI DE CONSTRUCTION

Sous critères		Pont en Béton Armé			Pont en Béton Précontraint		Pont Mixte bipoutres		
		12 m	15 m	20 m	33 m	42 m	55m	60 m	65 m
Nombre d'appuis (U)		15	12	9	6	5	3	3	2
Temps de mise en œuvre / appuis (mois)		1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Longueur du pont (ml)		168	165	168	165	168	170	190	165
Temps de mise en œuvre du tablier(mois)		0,10	0,1	0,1			0,06		
Délai d'installation de chantier et repli (mois)		2	2	2	2	2	2	2	2
Délais de terrassement		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Volume des fouilles (m3)		9668,75	7975	6900	4700		3 650	4 337,5	4 335,5
Durée de réalisation des fouilles (50m ³ /j)		0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Délai des travaux d'assainissement et VRD		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Délai des travaux	Mois	45,5	40,5	37,2	28 ,60	24,14	22,9	24,0	20,08
	Années	3,78	3,37	3,10	2,38	2,01	1,91	2,00	1,67

CRITÈRE D'ENTRETIEN DE L'OUVRAGE

Éléments entretenus	Pont en Béton Armé			Pont en Béton Précontraint		Pont Mixte bipoutres		
	12 m	15 m	20 m	33 m	42 m	55m	60 m	65 m
Garde-corps	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Joint de chaussée	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Béton bitumineux	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Appareil d'appuis	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Sablage des poutres	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Peinture métallique	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Assemblage	Non	Non	Non	Élevé	Élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
Taux d'entretien	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
NOTES	9	9,5	10	8	8	5	5	5

ANNEXE 9 : DÉTAILS DE PRÉ DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

A. Pré dimensionnement du tablier

A.1 Dalle

Données : L= 65 m (portée principale) ; B= 10 m (Largeur du tablier) Lentraxe= 5,50 m

- Épaisseur de la dalle :
 - Au centre $e_m = 0,12 + Lentraxe/50$ Choix : ep=30 cm
 - En appuis $e_p = 0,13 + (B - Lentraxe)/26$ Choix : ep=40 cm
 - Épaisseur moyenne $e_m = 0,5 * (0,12 + \frac{Lentraxe}{50} + 0,13 + \frac{B-Lentraxe}{26})$ Choix : ep=35 cm
- Distance entre les poutres principales : $b = 0,55B = 0,55 \times 10 = 5,5 \text{ m}$ Choix : b=5,5 m
- Longueur de la console : $a = (B - b)/2 = 4,5/2 = 2,25 \text{ m}$ Choix : a=2,25 m

A.2 Poutres principales

- Hauteur des poutres : $h_w = \max \left[\frac{L_{ref}}{28} \left(\frac{B}{12} \right)^{0,45} ; 0,4 + \frac{L_{ref}}{35} \right]$ avec $L_{ref} = \frac{2L_{centre} + 1,25L_{Rive}}{3}$
Choix : $h_w = 2,30 \text{ m}$
- Épaisseur de l'âme : $12 \text{ mm} \leq h_w \leq 0,05h_w$ Choix : $t_w = 28 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle inf. $b_i = \left(0,25 + \frac{B}{40} + \frac{L_{ref}}{125} \right) \left(0,92 + \frac{B}{150} \right) = 0,998 \text{ m}$ Choix : $b_i = 1000 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle sup. $b_s = b_i - 100 = 900 \text{ mm}$ Choix : $b_s = 900 \text{ mm}$
- Épaisseur des semelles $t_s = t_i = \frac{b_i}{10} = 100 \text{ mm}$ Choix : $t_i = 100 \text{ mm}$

ANNEXE 10 : DIMENSIONNEMENT DE LA DALLE

Annexe 10-1 : Model des charges de trafic

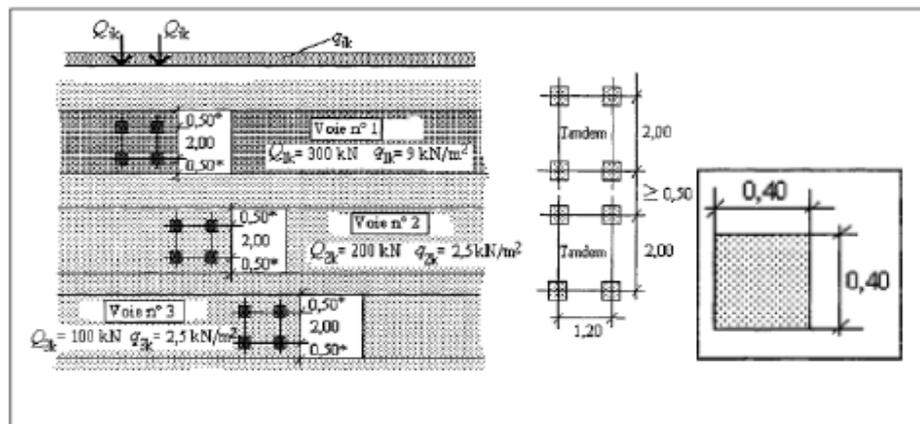
✦ Essieu Tandem TS

Il est constitué de 2 essieux avec une charge concentrée $\alpha_Q * Q_k$ pour chaque essieu.

La surface d'impact est un carré de 40 cm de coté sur le revêtement de la chaussée. On considère les essieux espacés de 1,2 m dans le sens longitudinal, ce qui donne une longueur influencée dans le sens transversal $B = l_{entraxe} + 1,2 = 6,7$ et dans le sens longitudinal $b = a + 1,2$ avec $a = u + 2(0,5 + 0,5u)$ et $b = 52$ cm soit $b = 3,24$ m

✦ Charges uniformes UDL

La densité de chargement uniforme en fonction des voies est $\alpha_q * q_k$



Model de charges LMI

Les coefficients α_Q et α_q sont les coefficients d'ajustement qui sont déterminés en fonction des classes de trafic ou de route. Nous avons la classe de trafic T3 pour notre étude qui correspond à la classe donnée T2 donnée par le fascicule 61 Titre II du CPC.

Coefficients de pondération par classe de trafic

Charges	α_{Qi}		α_{qi}	
	α_{Q1}	$\alpha_{Qi(i \geq 2)}$	α_{q1}	$\alpha_{qi(i \geq 2)}$
Voies				
Classe de trafic 1	1,0	1,0	1,0	1,20
Classe de trafic 2	0,9	0,8	0,7	1,0

a) Découpage des chaussées en voies

Selon l'EN 1991-3, le nombre de voies conventionnelles est égale à la partie entière du quotient par 3 lorsque la largeur de chaussée est > 6 m. la largeur restante est l'aire résiduelle.

Découpage de la chaussée en voies

Largeur de la chaussée (w) en m	Nombre de voies	Larg. d'1 voie en m	Larg. résiduelle en m
$W_1 \leq 5,4$	$n=1$	3	$W_1 - 3$
$5,4 \leq W_1 \leq 6$	$n=2$	$n = \left(\frac{W_1}{2}\right)$	0
$6 \leq W_1$	$n_1 = E\left(\frac{W_1}{3}\right)$	3	$W_1 - 3n_1$

Tous calculs effectués, nous avons pour notre projet les données suivantes :

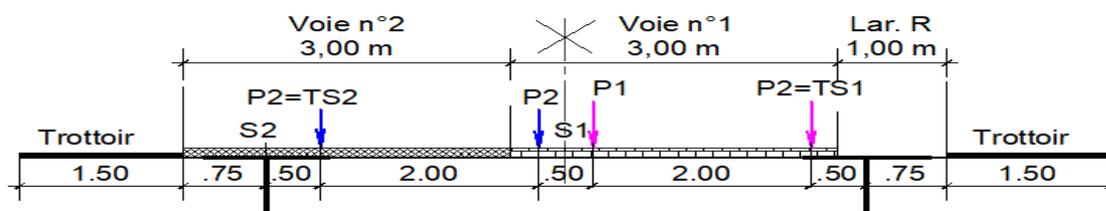
Nombre et largeurs des voies du projet

Largeur de chaussée W_1 en (m)	7
Nombre de voies n_1	2
Largeur d'une voie (m)	3
Largeur résiduelle(m)	1

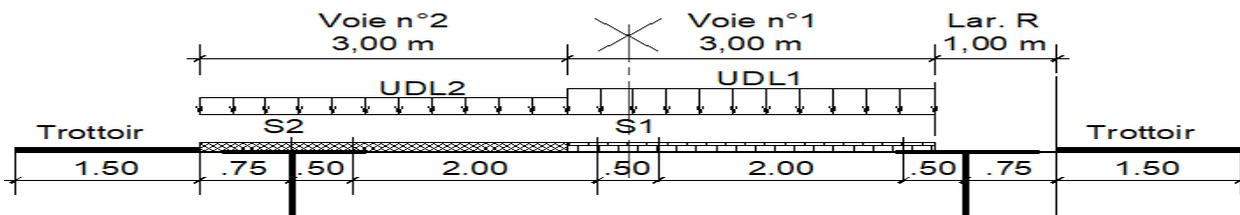
b) Position des voies de circulation sur le pont

b.1) Pour la section centrale (S1)

➤ Pour le système TS

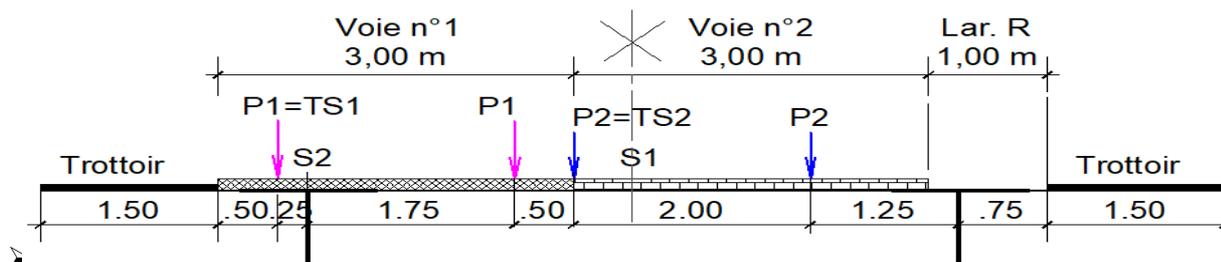


➤ Pour le système UDL

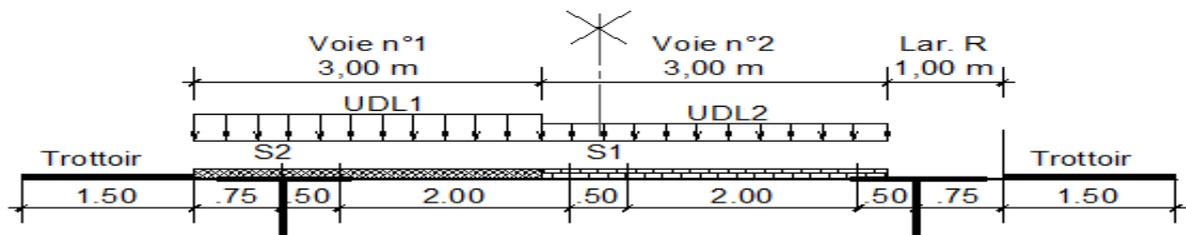


b.2) Pour la section d'appui (S2)

➤ Pour le système TS



➤ Pour le système UDL



c.2) Évaluation des sollicitations dues au système LM1

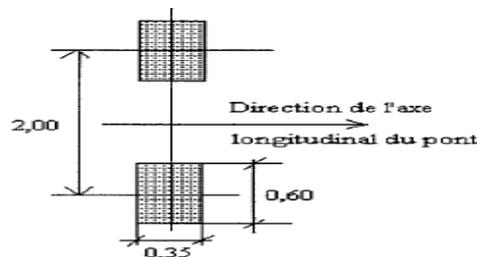
Valeurs des actions pour le modèle LM1

Emplacement	α_{qi}	Q_{ik}	TS(kN)	α_{qi}	$q_{ik}(kN/m^2)$	UDL(kN/m ²)	UDL(kN/ml)
Voie n°1	0,9	300	270	0,7	9,0	6,3	6,3
Voie n°2	0,8	200	160	1,0	2,5	2,5	2,5
Aire résiduelle	-	-	-	-	2,5	2,5	2,5

A.2.2 Charges du model LM2

Il est composé d'une charge unique $\beta_Q Q_{ak}$ avec la majoration dynamique $\beta_Q = \alpha_{q1} = 0,9$.

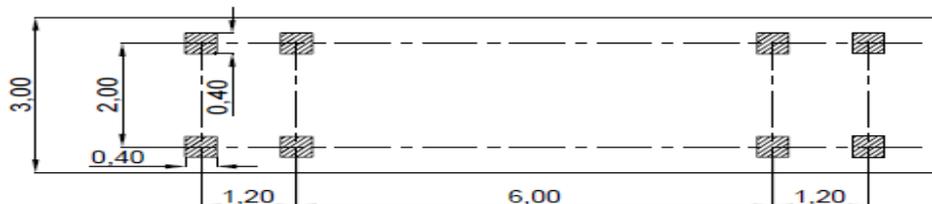
Cette charge est appliquée à un point quelconque de la chaussée pour les vérifications locales.



Model de charges LM2

A.2.3 Charges du model FLM3

Il est constitué d'un camion circulant seul centré sur la voie lente. Il comporte 4 essieux pour une charge totale de 480 kN soit 60 kN par roue.

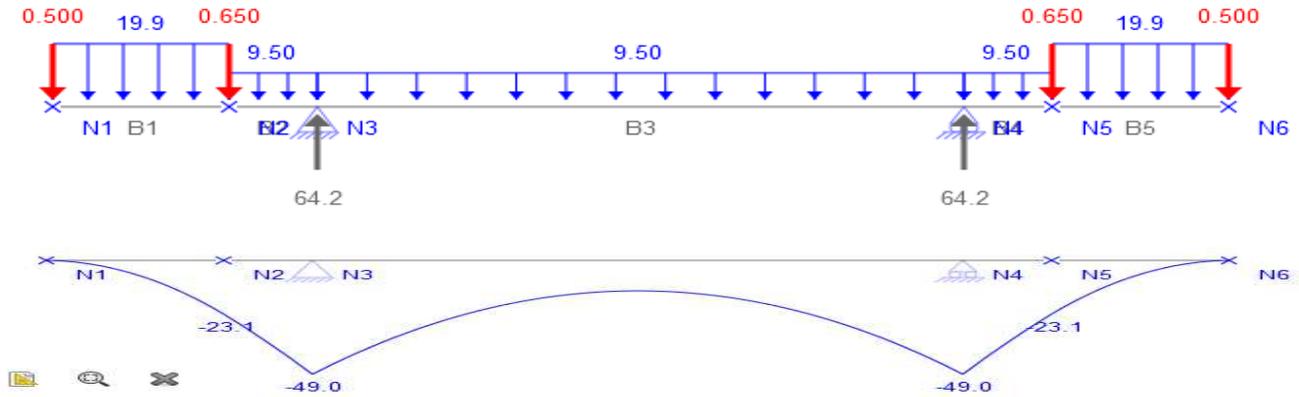


Model de charge FLM3

A.2.4 Charges du trottoir

La charge appliquée sur le trottoir est une charge uniformément répartie $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$

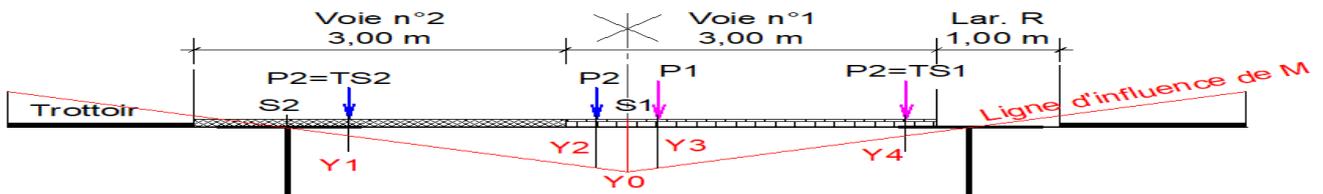
Annexe 10-2 : Évaluation des efforts dans le sens transversal dus aux charges permanentes



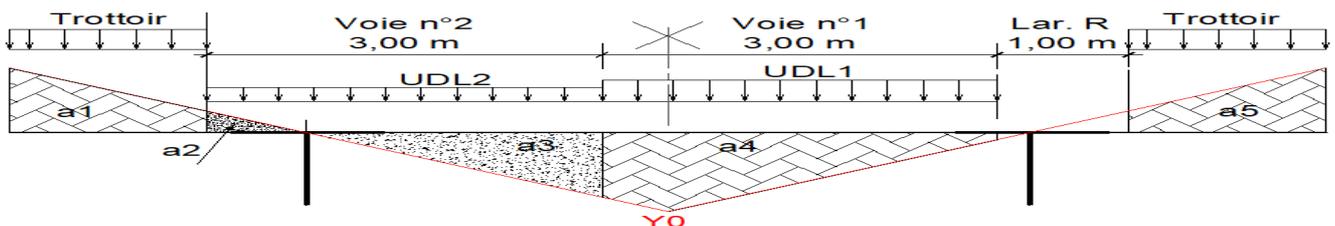
Annexe 10-3 : Évaluation des efforts dans le sens transversal dus aux surcharges de trafic

Section S1

Chargement TS



Chargement UDL + Trottoir



$$M_{TS(S1)} = \sum P_i x Y_i \quad Y_0 = \frac{2,75 \times 2,75}{5,5} = 1,375 \quad Y_1 = \frac{0,5 \times Y_0}{2,75} = 0,25 \quad Y_2 = \frac{2,5 \times Y_0}{2,75} = 1,25$$

$$M_{TS(S1)} = \frac{[(0,25 \times 160 + 1,25 \times 160) + (0,25 \times 270 + 1,25 \times 270)]}{6,70} = 96,27 \text{ kN.m}$$

$$T_{TS(S1)} = -60 \text{ kN}$$

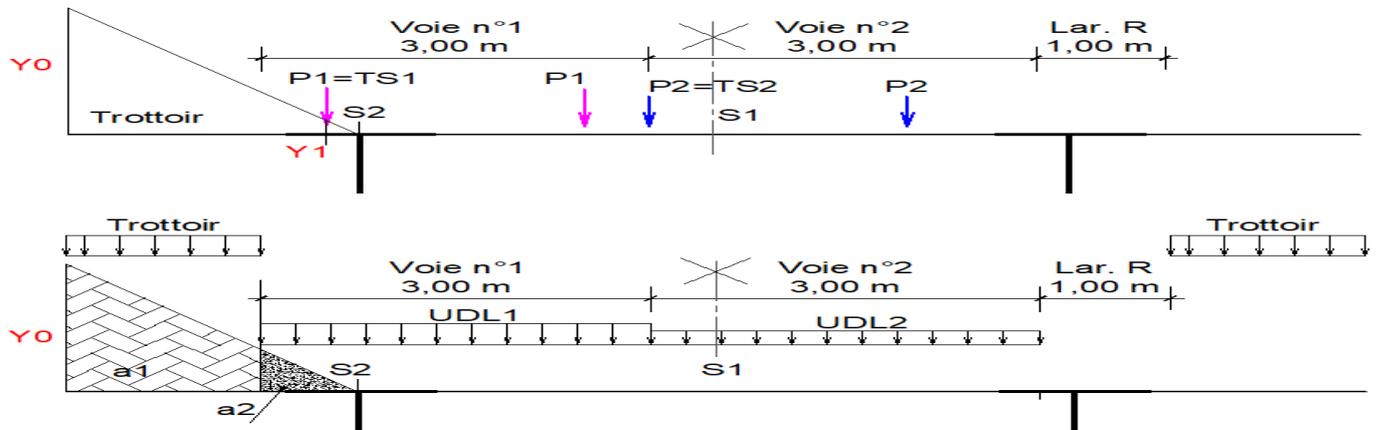
$$M_{UDL+Tr(S1)} = \sum q_i x a_i \quad a_1 = a_1 = -1,126 \quad a_2 = -0,140 \quad a_3 = 1,266 \quad a_4 = 2,501$$

$$M_{UDL+Tr(S1)} = -1,126 \times 5 - 0,14 \times 2,5 + 1,266 \times 2,5 + 2,501 \times 6,3 - 1,126 \times 5 = 7,311 \text{ kN.m}$$

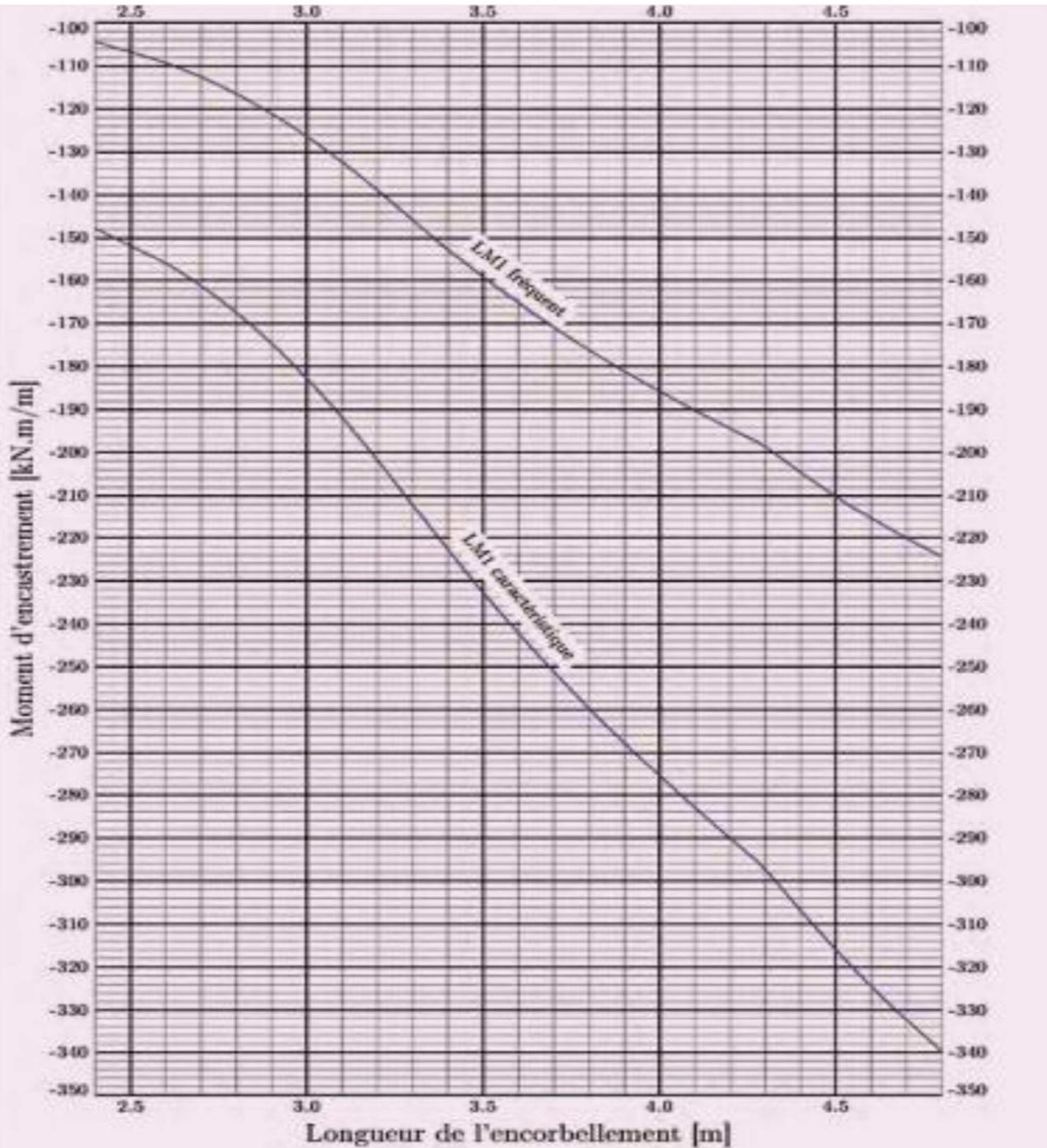
$$T_{UDL+Tr(S1)} = -1,73 \text{ kN}$$

Section S2

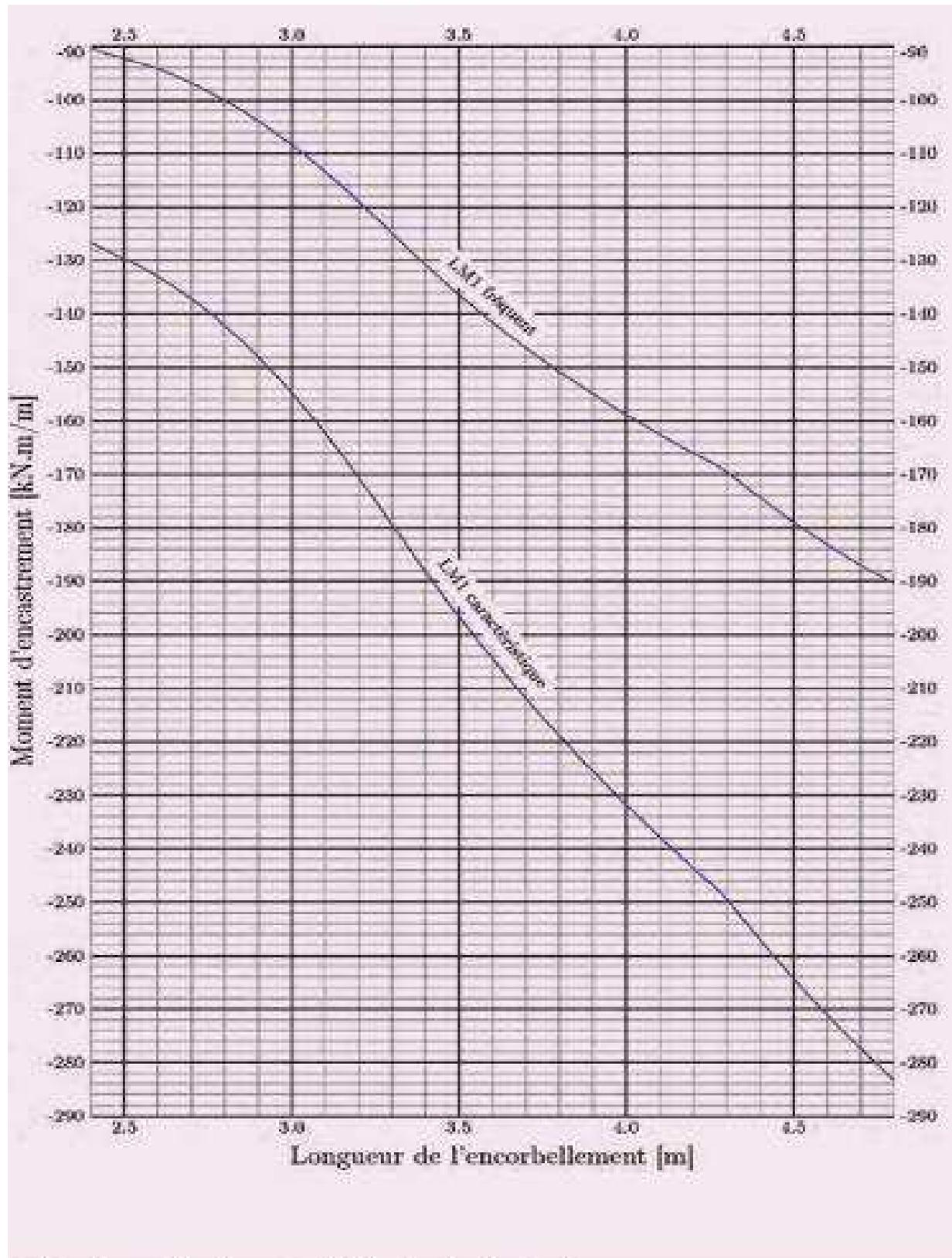
Chargement TS



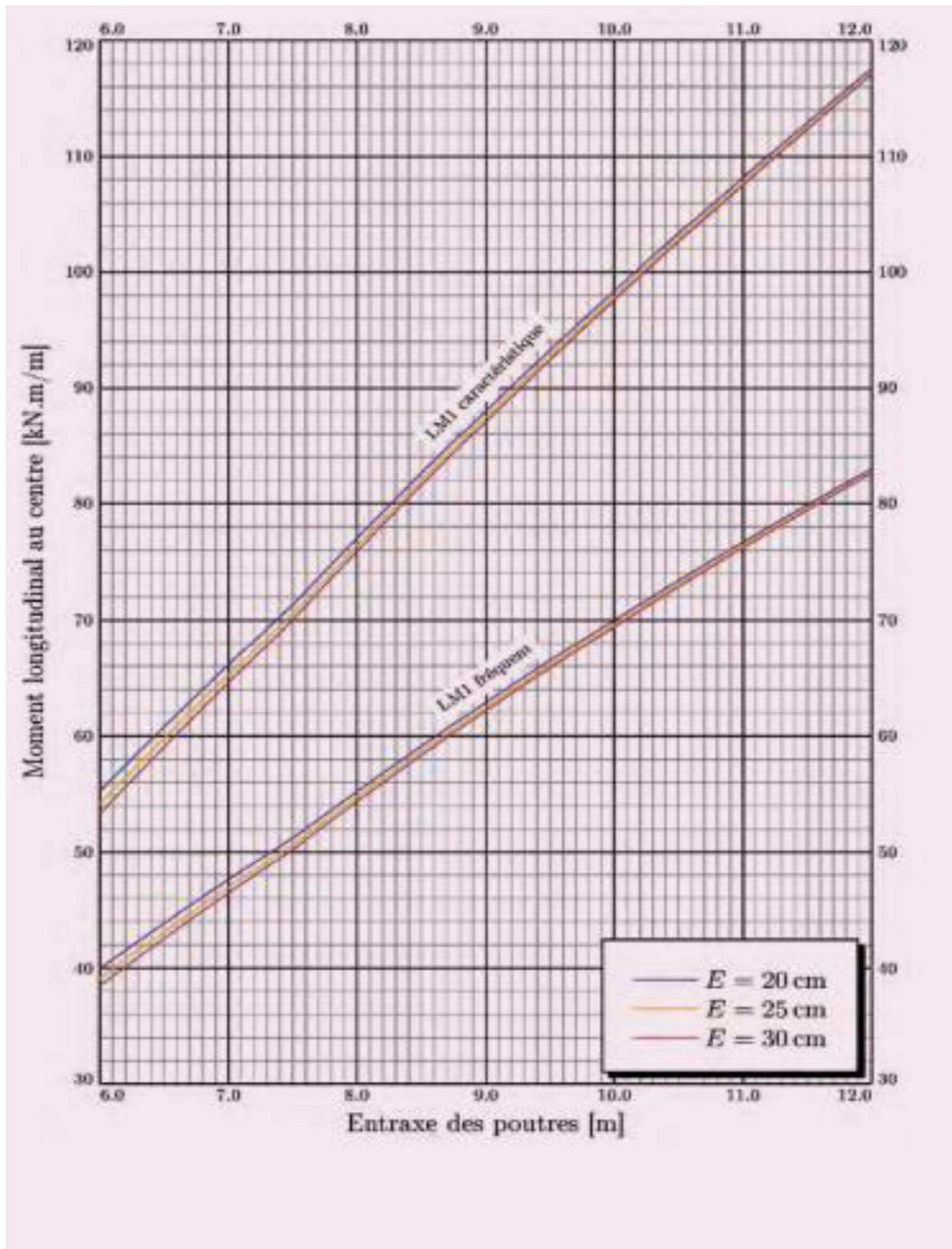
Annexe 10-4 : Abaques de dimensionnement de la dalle suivant le boa n°54



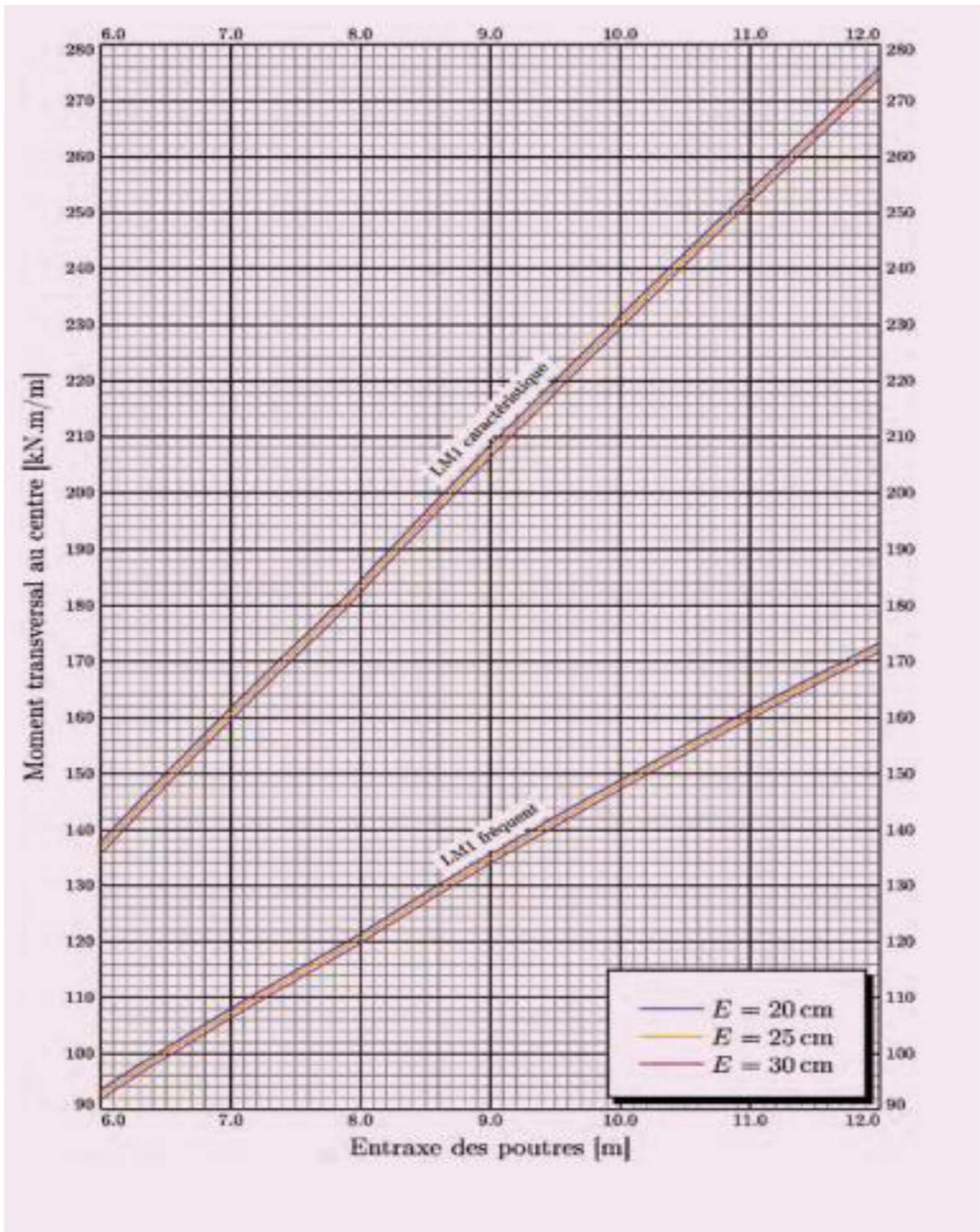
abaque du moment d'encastrement, trafic de première classe (E = 20 cm)



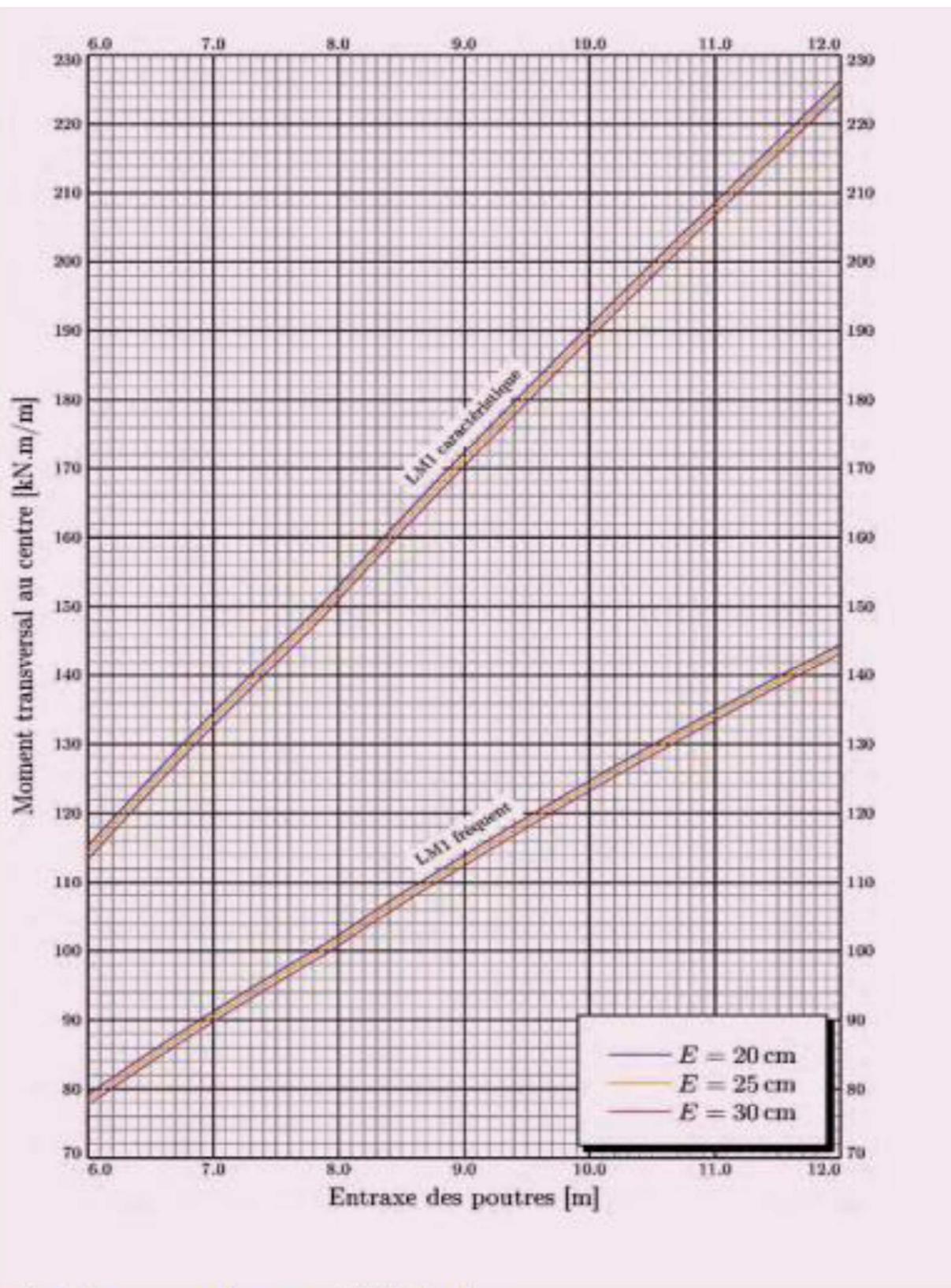
: abaque du moment d'encastrement, trafic de deuxième classe (E = 20 cvc)



! : abaque du moment longitudinal au centre, trafic de deuxième classe



! : abaque du moment transversal au centre, trafic de première classe



: abaque du moment transversal au centre, trafic de deuxième classe

Annexe 10-5 : Feuille de calcul de la dalle

CENTRALE					
DONNÉES			FERRAILLAGE TRANSVERSAL		
Moments	M_{ser} (MN.m)	137	Moments réduits	$\mu_{réel}$	0,257597589
	M_{ED} (MN.m)	184,95		μ_{limite}	0,371
Géométrie de la dalle	h(m)	1,00	Bras de levier	Z_c (m)	0,224041983
	b(m)	0,3	Section d'aciers calculées		
Données du béton	Classe d'exposition	XC3	As cal (cm²)	18,99	
	C_{nom} (m)	0,035	$A_{s\ min}$ (cm ²)	5,01	
	d(m)	0,265	Choix	7 HA 20	
	F_{ck} (Mpa)	35	As réel (cm²)	21,99	
	F_{cu} (Mpa)	19,8333	FERRAILLAGE LONGITUDINAL		
Données des aciers	f_{yk} (Mpa)	500	$A_{st}=0,5*(1\%A_b)/L$ (cm ²)	15,00	
	f_{yd} (Mpa)	434,78	Choix	8 HA 16	
	f_{ctm} (Mpa)	3,21	As réel (cm ²)	16,08	
	Contrainte lim	400			

EN APPUI					
DONNÉES			FERRAILLAGE TRANSVERSAL		
Moments	M_{ser} (MN.m)	145	Moments réduits	$\mu_{réel}$	0,517229409
	M_{ED} (MN.m)	195,75		μ_{limite}	0,371
Géométrie de la dalle	h(m)	1,00	Bras de levier	Z_c (m)	0,251726759
	b(m)	0,4	Section d'aciers calculées		
Données du béton	Classe d'exposition	XC3	As cal (cm²)	17,89	
	C_{nom} (m)	0,035	$A_{s\ min}$ (cm ²)	6,68	
	d(m)	0,365	Choix	6 HA 20	
	F_{ck} (Mpa)	35	As réel (cm²)	18,85	
	F_{cu} (Mpa)	19,8333	FERRAILLAGE LONGITUDINAL		
Données des aciers	f_{yk} (Mpa)	500	$A_{st}=0,5*(1\%A_b)/L$ (cm ²)	20,00	
	f_{yd} (Mpa)	434,78	Choix	10 HA 16	
	f_{ctm} (Mpa)	3,21	As réel (cm ²)	20,11	
	Contrainte lim	400			

Annexe 10-6 : Vérifications de la dalle

Vérification à l'ELS

SECTION CENTRALE			
Données		Équation du Moment statique	
bw	1,00	A	0,50
Alpha 1	5,90	B	0,012974
As1	0,002199	C	- 0,003438
d	0,265	Delta	0,007045
As2	-	X1	0,070958017
d'	-	Inertie	
Matériaux		A	0,000119
Résistance béton	35,00	B	-
Sigma Limite béton	21,00	C	0,000489
Sigma cal. Béton	16,00	Mser	0,14
Résistance acier	500,00	Icf(m4)	0,000608
Sigma Limite	400,00	K	225,4785
Sigma cal. Acier (À court terme)	258,14		
Sigma cal. Acier (À long terme)	270,2	Conditions vérifiées	

SECTION D'APPUI			
Données		Équation du Moment statique	
bw	1,00	A	0,50
Alpha 1	5,90	B	0,011122
As1	0,001885	C	- 0,004059
d	0,365	Delta	0,008242
As2	-	X1	0,079666069
d'	-	Inertie	
Matériaux		A	0,000169
Résistance béton	35,00	B	-
Sigma Limite béton	21,00	C	0,000905
Sigma cal. Béton	9,94	Mser	0,13
Résistance acier	500,00	Icf(m4)	0,001074
Sigma Limite	400,00	K	124,7672
Sigma cal. Acier (À court terme)	210,04		
Sigma cal. Acier (À long terme)	218,34	Conditions vérifiées	

Résistance aux efforts tranchants

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Ed} = 359,60 \text{ kN} \quad V_{Rd,c} = b_w d \left[K_1 \sigma_{cp} + \max \left[C_{Rd,ck} (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}; \frac{1}{\delta_c} (0,34 f_{ck}^{1/2}) \right] \right]$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{(40 - 3,5)}} = 3,34 \quad \rho_1 = \frac{A_{sl}}{bd} = \frac{7,92}{100 \times 36,5} = 0,217\%$$

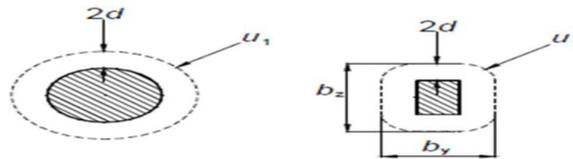
$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad \sigma_{cp} = \frac{N_{ed}}{A_s} = 0$$

$$V_{Rd,c} = 1 \times 0,365 \times 1,341 = \mathbf{0,489 \text{ MN}}$$

$$V_{Ed} = 0,359 \text{ MN} < V_{Rd,c} = 0,489 \text{ MN} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Résistance au poinçonnement du béton

Nous vérifions à l'ELU le poinçonnement avec le model de charge LM2 Br qui est le plus chargé sur une surface d'impact de côtés 35x60 cm².



Contour de référence

On vérifie l'inégalité suivante : $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c}$

- Calcul de τ_{Ed}

$$\tau_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 d}$$

$$d_y = 0,18 \text{ m} \quad d_z = 0,2 \text{ m} \quad d = \frac{d_y + d_z}{2} = 0,19 \text{ m}$$

$$u_1 = 2(0,35 + 0,6 + 4h_r) + 4\pi d = 4,93 \text{ m}$$

$$\tau_{Ed} = 1 \times \frac{(0,9 \times 400)/2}{4,93 \times 0,19} = \mathbf{192,164 \text{ kN}}$$

- Calcul de $\tau_{Rd,c}$

$$\tau_{Rd,c} = \max \left\{ C_{Rd,c} K (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + K_1 \sigma_{cp}; (0,035 K^{1/2} \sqrt{f_{ck}} + K_1 \sigma_{cp}) \right\}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} = \sqrt{0,84 \times 0,94} = 0,90\% \quad K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 2,03 \quad \sigma_{cp} = \max \left(\frac{\sigma_{C,long}}{2}; -1,85 \right)$$

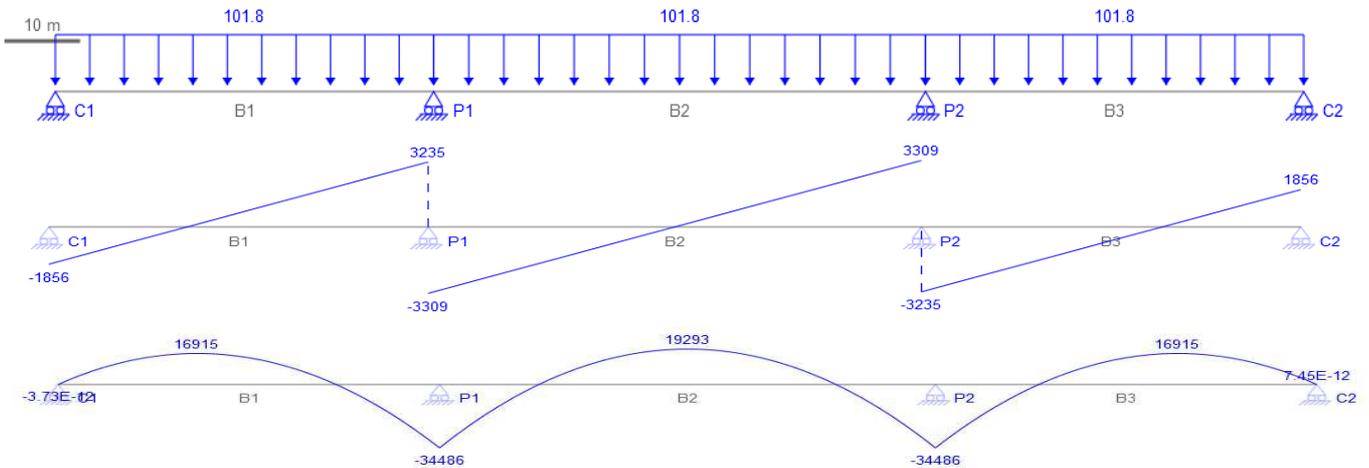
$$C_{Rd,c} = \frac{0,22}{\gamma_s} = 0,1466 \quad K_1 = 0,12$$

$$\tau_{Rd,c} = \max \left\{ 0,1466 \times 2,023 (0,94 \times 35)^{1/3} - 0,12 \times 1,85 + (0,035 \times 2,03^{1/2} \sqrt{35} - 0,12 \times 0,185) \right\}$$

$$\tau_{Rd,c} = \mathbf{0,728 \text{ MN}} > \mathbf{0,192 \text{ MN}} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

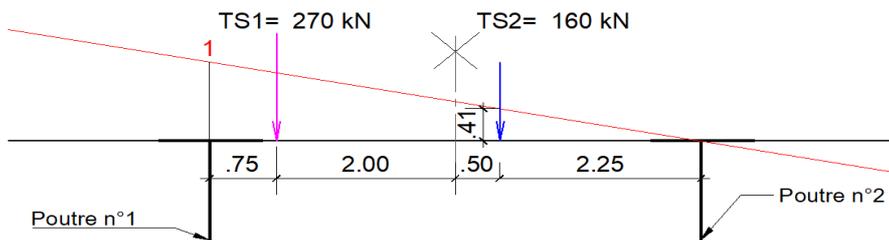
ANNEXE 11 : ÉTUDE LONGITUDINALE DU PRS

Annexe 11-1 : Évaluation des efforts internes dus aux charges permanentes



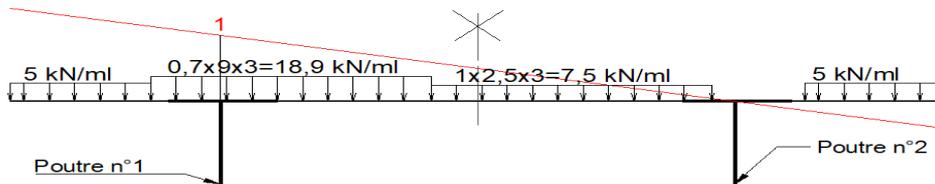
Annexe 11-2 : Répartition transversale de la structure pour l'étude de la flexion longitudinale

➤ Pour le model TS



$$R1 = 298,72 \text{ kN} \quad \text{et} \quad R2 = 131,28 \text{ kN}$$

➤ Pour le model UDL et les trottoirs

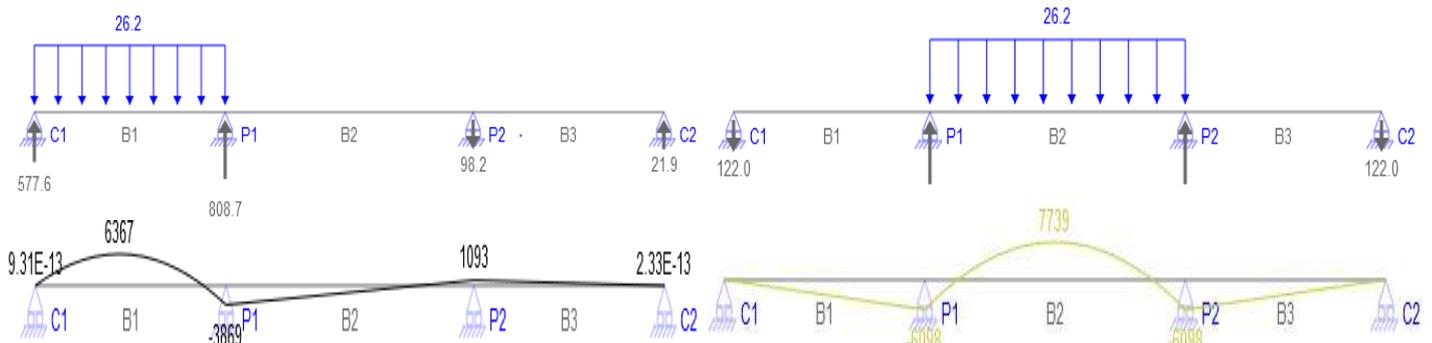


$$R1 = 26,20 \text{ kN} \quad \text{et} \quad R2 = 14,60 \text{ kN}$$

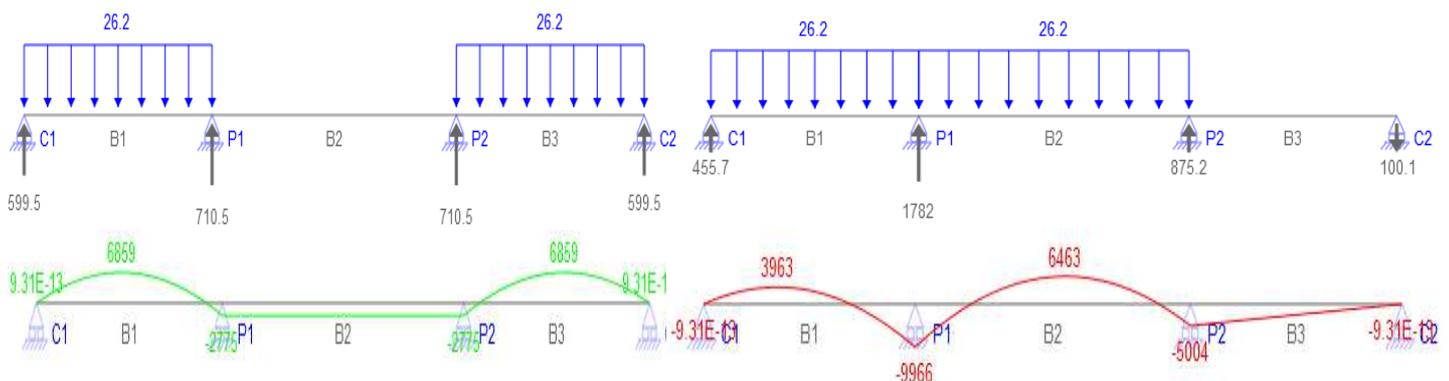
Annexe 11-3 : Évaluation des efforts internes dus aux charges de trafic

Charges UDL+q_{tk}

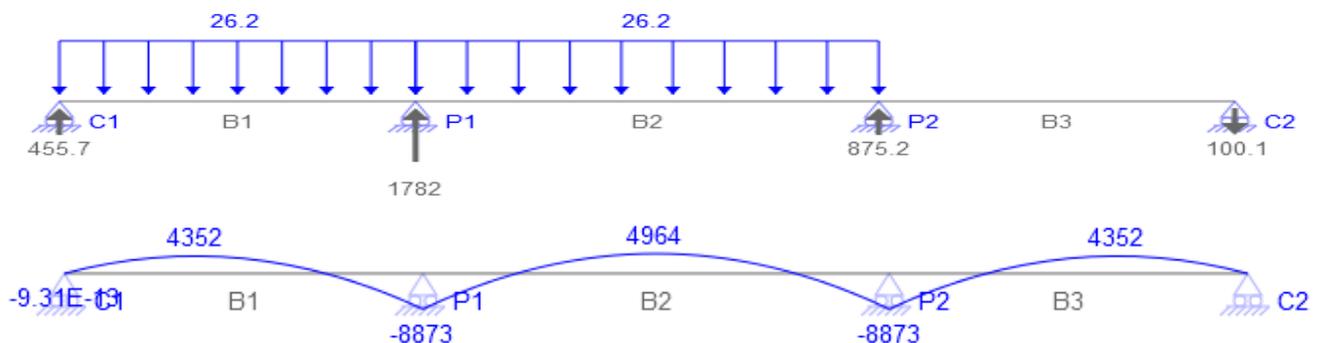
Cas 1 : une (01) travée chargée



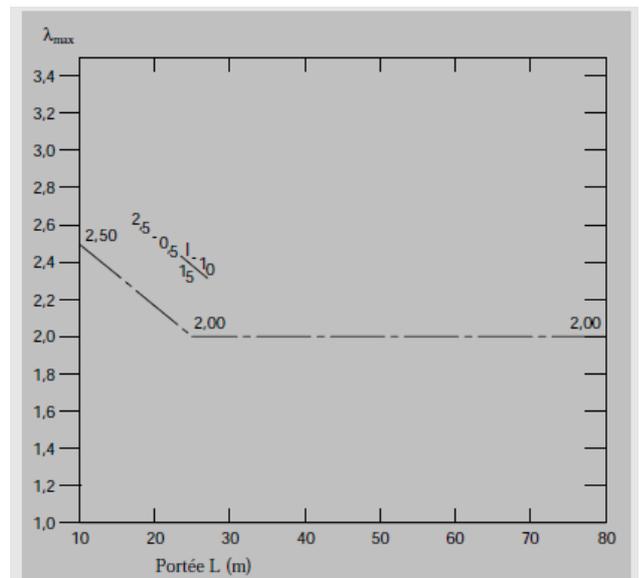
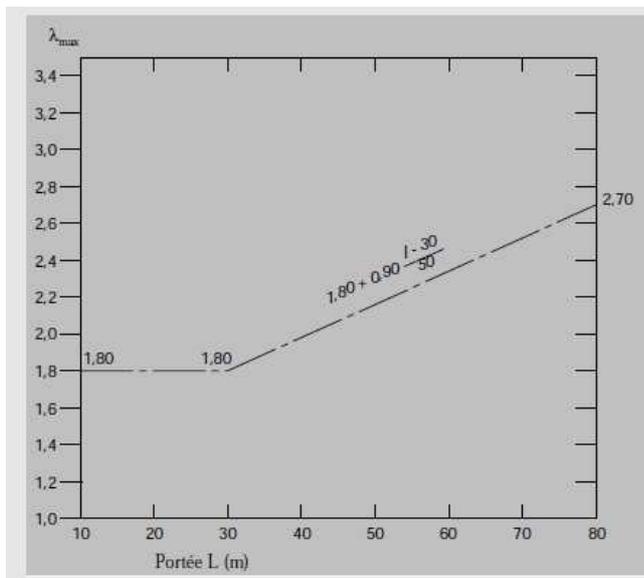
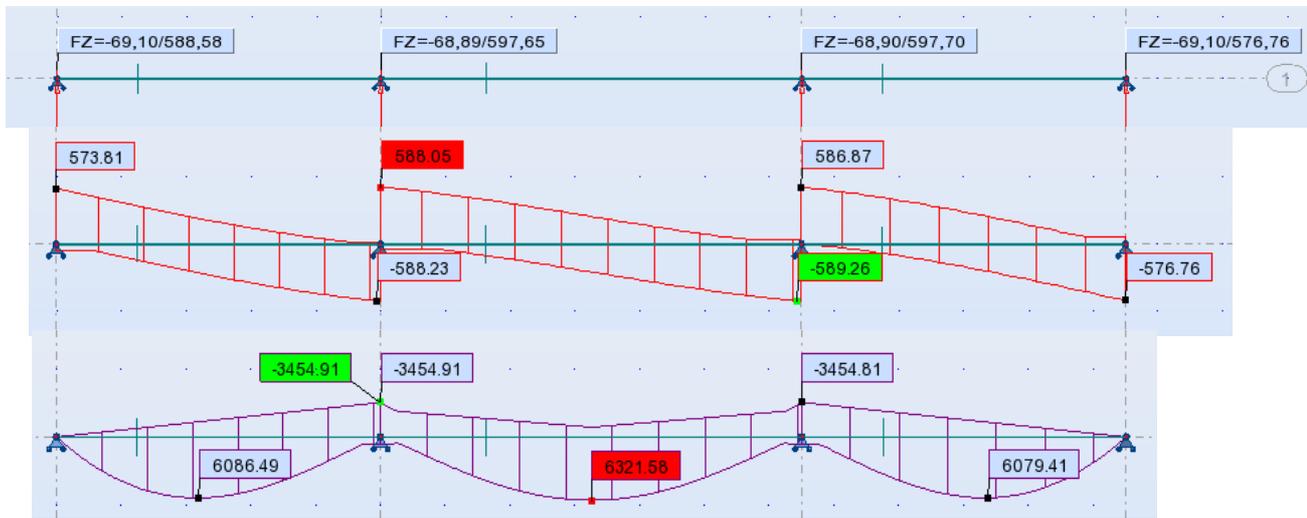
Cas 2 : deux (02) travées de rives chargées



Cas 3 : 01 travée de rive et travée centrale chargées



Charges TS



Annexe 11-3 : Calcul des actions du retrait

Le retrait du béton est une déformation ϵ_{cs} imposée dans sa section comprimée lors de son processus de durcissement. Il se compose du retrait thermique ϵ_{th} qui se produit à court terme, du retrait endogène ϵ_{ca} et du retrait de dessiccation ϵ_{cd} qui se produisent à long terme.

Dans notre étude, seuls les phénomènes se produisant dans le temps sont considérés.

$$\epsilon_{cs(\infty)} = \epsilon_{ca(\infty)} + \epsilon_{cd(\infty)}$$

- Calcul du retrait endogène

$$\epsilon_{ca(\infty)} = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 62,5 \times 10^{-6}$$

- Calcul du retrait de dessiccation

$$\epsilon_{cd(\infty)} = k_h \cdot \epsilon_{cd,0} \quad \text{avec } \epsilon_{cd,0} : \text{ le retrait de dessiccation de référence}$$

$$\epsilon_{cd,0} = 0,85 \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) e^{(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm,0}})} \right] \cdot 10^{-6} \beta_{RH}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right] = 0,221$$

RH : l'humidité relative de la zone estimée à 95% ; $f_{cm,0} = 10$ Mpa ; $f_{cm} = 43$ Mpa

Pour un ciment à prise normale, $\alpha_{ds1} = 4$ et $\alpha_{ds2} = 0,12$

$$\epsilon_{cd,0} = 0,74 \cdot 10^{-4}$$

k_h est fonction de la valeur du rayon moyen $h_0 = \frac{2A_c}{u}$

Avec : $A_c = 3,137 \text{ m}^2$ la section du tablier et $u = 8,73 \text{ m}$ le périmètre du tablier exposé à la dessiccation

$$h_0 = 718,67 \text{ mm}$$

La valeur de k_h est donnée par le tableau 36.

Valeurs de k_h

h_0 (mm)	k_h
100	1,00
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

$$k_h = 0,7 \rightarrow \epsilon_{cd(\infty)} = 0,7 \times 0,74 \cdot 10^{-4} = 0,518 \cdot 10^{-4}$$

- Bilan des actions du retrait

$$\epsilon_{cs(\infty)} = \epsilon_{ca(\infty)} + \epsilon_{cd(\infty)} = 62,5 \times 10^{-6} + 0,518 \cdot 10^{-4} = 1,143 \cdot 10^{-4}$$

Effort du retrait $N_c = E_{c,eff} \epsilon_{cs} A_c$ est appliqué au centre de gravité de la section mixte comme un effort normal appliqué au centre de gravité de la dalle en béton et génère un moment fléchissant $M_c = N_c \cdot Z_b$

Z_b : Distance entre le centre de gravité de la section mixte et le centre de gravité de la dalle.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \psi_L \cdot \varphi(t, t_0)}$$

$$E_{cm} = 22 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 34,077 \text{ Gpa} \quad \text{et} \quad \rho(\infty, t_0) = \left[1 + \frac{1 - \left(\frac{RH}{100} \right)}{0,1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 \left[\frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \right] \left[\frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} \right] \text{ (fonction de fluage)}$$

$$f_{cm} = 43 \text{ Mpa} ; \quad \alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7} = 0,866 ; \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2} = 0,96$$

t_0 est l'âge moyen du béton pour le cas de charge considéré appliqué sur la structure.

- $t_0 = 21$ jours pour le poids propre de la dalle ;
- $t_0 = 73,5$ jours pour la superstructure.

Ces valeurs sont obtenues après la simulation du phasage de construction joint en annexe....

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de $\rho(\infty, t_0)$ utilisées.

Valeurs du fluage en fonction du temps

Chargement	Ψ_L	t_0	$\rho(t, t_0)$
Bétonnage	1,1	21	1,33
Structure	1,1	73,5	1,047
Retrait	0,55	1	2,344

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \psi_L \cdot \rho(t, t_0)} = \frac{34\,077}{1 + 0,55 \cdot 2,344} = 14\,885 \text{ Mpa}$$

Pour la suite de l'étude, nous utilisons la section moyenne de la dalle donc l'épaisseur moyenne est 35 cm.

La section reprise par un PRS est $A_c = \frac{0,35 \times 10}{2} = 1,75 \text{ m}^2$

$$N_c = 14\,885 \times 1,143 \cdot 10^{-4} \times 1,75 = 2,977 \text{ MN} \quad \rightarrow \quad N_c = \mathbf{2,977 \text{ MN}}$$

• **Calcul de la position du centre de gravité de la section mixte**

- Section d'armatures longitudinales $A_c = 5(16,08 + 20,11) = 180,95 \text{ cm}^2$
- Section du PRS $A_a = 120 \times 1000 + 34 \times 2\,300 + 120 \times 900 = 306\,200 \text{ mm}^2$

$$Y_E = \frac{120\,000 \times 60 + 78\,200 \times 1\,270 + 108\,000 \times 2\,480 + 8\,040 \times 2\,835 + 10\,055 \times 2\,595}{306\,200} = 1\,382,234 \text{ mm}$$

Le bras de levier $z = 2\,540 - 1\,382,234 - 0,5 \times 350 = 982,766 \text{ mm} \quad \mathbf{Z = 0,983 \text{ m}}$

Annexe 11-4 : Vérification à l'ÉLU de la section (Σ_1) en phase de construction

A. Propriétés des matériaux

- **Béton** : $f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$ $f_{cm} = 43 \text{ Mpa}$ $E_{cm} = 34,077 \text{ Gpa}$
 - **Aciers pour CM** :
 - Pour les semelles : $80\text{mm} \leq e \leq 100 \text{ mm}$ → $f_{ys} = 315 \text{ Mpa}$
 - Pour l'âme : $16\text{mm} \leq e \leq 40 \text{ mm}$ → $f_{yw} = 345 \text{ Mpa}$
- $E_a = 210\,000 \text{ Mpa}$

B. Sollicitations

Les sollicitations exercées dans la section sont : $M_{Ed} = 43,9304 \text{ MN.m}$ et $V_{Ed} = -0,1894 \text{ MN}$

C. Détermination de la classe de la section

Classe des semelles

- **Semelle supérieure** : elle est mixte et connectée à la dalle. Suivant les recommandations de l'E.N 1994-2, 6.6 : **Classe C1** ;
- **Semelle inférieure** : elle est tendue, il n'y a pas risque de voilement. → **Classe C1**
- **Âme**

Détermination de l'axe neutre plastique

- Résistance plastique du béton : $F_C = A_C \left(0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \right) = 0,35 \times 5 \left(0,85 \times \frac{35}{1,5} \right) = 34,708 \text{ MN}$
- Résistance plastique de la semelle sup. : $F_{fs} = A_{Cfs} \times \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} = 0,9 \times 0,1 \times \frac{315}{1} = 28,35 \text{ MN}$
- Résistance plastique de l'âme. : $F_w = A_{Cw} \times \frac{f_{yw}}{\gamma_{M0}} = 2,4 \times 0,016 \times \frac{345}{1} = 13,248 \text{ MN}$
- Résistance plastique de la semelle inf. : $F_{fi} = A_{Cfi} \times \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} = 1,0 \times 0,1 \times \frac{315}{1} = 31,50 \text{ MN}$

Nous avons, $F_C \leq F_a = F_{fs} + F_w + F_{fi}$ et $F_a - F_C \leq 2b_f x t_f \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}}$ l'ANP est situé dans la semelle supérieure du PRS à une distance Z de la fibre supérieure de la dite semelle.

$$Z = \frac{F_{fs} + F_w + F_{fi} - F_C}{2b_{fs} \cdot f_{ys}} = \frac{28,35 + 13,248 + 31,50 - 34,708}{2 \times 0,9 \times 315} = 67,707 \text{ mm}$$

L'ANP est situé dans la semelle supérieure. Donc, l'âme est entièrement tendue et donc de **classe 1**.

Conclusion : la section (Σ_1) est de classe 1 et est vérifiée en analyse plastique sans risque de voilement.

D. Justification de la section en flexion

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,Pl}^+$$

$$M_{Rd,Pl}^+ = F_C \left(\frac{h_c}{2} + h_p + \frac{Z}{2} \right) + F_a \left(\frac{h_a}{2} - \frac{Z}{2} \right) \text{ avec } h_p = 0$$

$$M_{Rd,Pl}^+ = 34,708 \left(\frac{0,35}{2} + \frac{0,067707}{2} \right) + 83,034 \left(\frac{2,6}{2} - \frac{0,067707}{2} \right) = 110,069 \text{ MN}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,Pl}^+ \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

E. Justification sous l'effort tranchant

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,pl} \quad \text{avec} \quad V_{Rd,pl} = \frac{A_v f_{yw}}{\sqrt{3}} = \frac{2,41 \times 0,026 \times 345}{\sqrt{3}} = 12,48 \text{ MN}$$

$$V_{Ed} = 0,1894 \text{ MN} \leq V_{Rd,pl} = 12,48 \text{ MN} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

F. Justification sous l'interaction moment fléchissant-effort tranchant

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{Rd,pl}$$

$$V_{Ed} = 0,1894 \text{ MN} \leq 0,5 V_{Rd,pl} = 6,24 \text{ MN} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Annexe 11-6 : Vérification à l'ÉLU de la section (Σ_1) en phase de construction

A. Détermination de la classe de la section

Classe des semelles

- **Semelle supérieure** : elle est tendue, il n'y a pas risque de voilement. → **Classe C1**
- **Semelle inférieure** : elle est comprimée.

$$\frac{b_i - t_w}{2t_i} \leq 9\varepsilon \rightarrow \frac{1000 - 28}{2 \times 100} \leq 9 \sqrt{\frac{235}{315}} \rightarrow 4,86 \leq 7,32 \rightarrow \text{Classe C1}$$

• Âme

Détermination de l'axe neutre plastique

- Résistance des armatures longitudinales : $F_s = A_s \left(\frac{f_{sk}}{\gamma_s} \right) = 5 \times 10^{-4} (20,11 + 16,08) \left(\frac{500}{1,15} \right) = 7,867 \text{ MN}$
- Résistance plastique de la semelle sup. : $F_{fs} = A_{cfs} x \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} = 0,9 \times 0,12 \times \frac{295}{1} = 31,86 \text{ MN}$
- Résistance plastique de l'âme. : $F_w = A_{cw} x \frac{f_{yw}}{\gamma_{M0}} = 2,3 \times 0,034 \times \frac{345}{1} = 26,979 \text{ MN}$
- Résistance plastique de la semelle inf. : $F_{fi} = A_{cfi} x \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} = 1,0 \times 0,12 \times \frac{325}{1} = 39 \text{ MN}$

Nous avons, $F_s + F_{fs} \leq F_w + F_{fi}$ et $F_s + F_{fs} + F_w \leq F_{fi}$ l'ANE est situé dans l'âme du PRS à une distance Z au-dessous de la fibre inférieure de la semelle supérieure.

$$Z = \frac{F_{fi} + F_w - (F_s + F_{fs})}{2t_w \cdot f_{yw} / \gamma_{M0}} = \frac{39 + 26,979 - (7,867 + 31,38)}{2 \times 0,034 \times 345 / 1} = 1,119 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{h_G - Z_G}{h_G} \quad \text{avec} \quad h_G = h_w - (Y_G + t_s) \quad \text{et} \quad Z_G = h_p - (Y_G + t_s + Z)$$

$$Y_G = \frac{12 \times 90 \times 248 + 230 \times 3,4 \times 127 + 12 \times 100 \times 6}{12 \times 90 + 230 \times 3,4 + 12 \times 100} = 110,14 \text{ Cm de l'ame du PRS}$$

$$\alpha = \frac{98,36 - 20,36}{98,36} = 0,74 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1} \rightarrow \frac{2300}{34} \leq \frac{456 \times 0,825}{13 \times 0,74 - 1} \rightarrow 67,64 > 46,64 \rightarrow \text{l'ame est de classe 3 ou 4}$$

$$\psi = -\frac{(h_w - \alpha_h)}{\alpha_h} \text{ avec } \alpha_h = (h_w/2) - Z_G \rightarrow \psi = -1,42 < -1$$

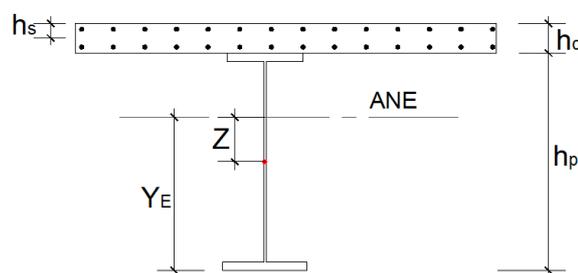
$$\frac{h_w}{t_w} = 64,44 \leq 62\varepsilon(1 - \psi)(-\psi)^{\frac{1}{2}} \rightarrow 64,44 \leq 147,50 \text{ l'ame est de classe C3}$$

Conclusion : la section (Σ_2) est de classe 3 et est vérifiée en analyse élastique avec risque de voilement local.

B. Justification de la section en flexion

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,el}^-$$

$$M_{Rd,el}^- = \text{Min}(M_{Rd,el,a}^{-inf} ; M_{Rd,el,a}^{-sup} ; M_{Rd,el,s}^-)$$



Coupe transversale en mi-portée de la travée P1-P2

- Calcul de la position du centre de gravité de la section mixte

$$Y_E = 1\,382,234 \text{ mm (Cf: annexe 11 - 3)}$$

- Calcul des inerties des sections élémentaires

- Pour les armatures : $I_s = 23\,573,57 \times 10^6 \text{ mm}^4$
 - Pour semelle sup. : $I_{Sup} = 130\,277,21 \times 10^6 \text{ mm}^4$
 - Pour âme. : $I_{ame} = 38\,691,03 \times 10^6 \text{ mm}^4$
 - Pour semelle inf. : $I_{Sinf} = 290\,943,19 \times 10^6 \text{ mm}^4$
- $$I = 402\,484,99 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- Calcul des contraintes

- Pour les armatures $M_{Rd,el,s}^- = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \cdot \frac{I}{h_p + h_c - h_s - y_E} = \frac{500}{1,15} \cdot \frac{402\,484,99 \times 10^6 \times 10^{-9}}{2\,540 + 350 - 175 - 1\,382,234} = 131,85 \text{ MN.m}$
- Pour la semelle inf. $M_{Rd,el,a}^{-inf} = \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{I}{y_E} = \frac{325}{1} \cdot \frac{402\,484,99 \times 10^6 \times 10^{-9}}{1\,382,234} = 94,58 \text{ MN.m}$
- Pour la semelle sup. $M_{Rd,el,a}^{-sup} = \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{I}{h_p - y_E} = \frac{295}{1} \cdot \frac{402\,484,99 \times 10^6 \times 10^{-9}}{2\,540 - 1\,382,234} = 102,55 \text{ MN.m}$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,el}^- \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

C. Justification sous l'effort tranchant

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

La section d'étude est de classe 3, il y'a risque de voilement de l'âme. Ce phénomène est à prendre en

compte si $\bar{\lambda}_W = \frac{\left(\frac{h_w}{t_w}\right)}{37,4\varepsilon(K_T)^{0,5}} > 0,8$ avec $K_T = 5,34 + 4\left(\frac{h_w}{a}\right)^2$ pour les âmes rédiées à des distances a .

Notre PRS est rédiée tous les $a=6,25$ m pour les travées de rives et 6,5 m pour la travée centrale.

$\bar{\lambda}_W = 0,907 > 0,8 \rightarrow$ le voilement est à prendre en compte dans la vérification de la section.

- **Calcul de la résistance maximale à l'effort tranchant de la section**

$$V_{Rd} = \text{Min}(V_{b,Rd} ; V_{pl,a,Rd})$$

$$V_{pl,a,Rd} = \frac{\eta f_{yw}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} h_w \cdot t_w = \frac{1,32 \times 345}{1 \times \sqrt{3}} 2,30 \times 0,034 = \mathbf{20,56 \text{ MN}}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw}}{\gamma_{M1}\sqrt{3}} h_w \cdot t_w$$

– Participation de l'âme à la résistance du voilement

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw}}{\gamma_{M1}\sqrt{3}} h_w \cdot t_w \quad \text{avec} \quad \chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_W} = 0,852$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,852 \times 345}{1,1 \times \sqrt{3}} 2,30 \times 0,034 = \mathbf{13,277 \text{ MN}}$$

On doit vérifier que :

$$\bar{\eta}_1 + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right] [2\bar{\eta}_3 - 1]^2 \leq 1$$

Avec : $\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{64,681}{88,63} = 0,73$ et $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{12,048}{13,277} = 0,907$

$$M_{pl,Rd} = \left[7,865 \left(\frac{0,35}{2} + 1,119 \right) + 31,86 \left(\frac{0,12}{2} + 1,119 \right) + 13,125 \times \frac{1,119}{2} \right] \\ + \left[13,853 \left(\frac{2,3 - 1,119}{2} \right) + 39 \left(\frac{0,12}{2} + \frac{2,3 - 1,119}{2} \right) \right] = 88,63 \text{ MN.m}$$

$$M_{f,Rd} = \left[31,86 \left(\frac{0,12}{2} + 1,119 \right) + 39 \left(\frac{0,12}{2} + \frac{2,3 - 1,119}{2} \right) \right] = 62,932 \text{ MN.m}$$

$$0,73 + \left[1 - \frac{62,932}{88,63} \right] [2 \times 0,907 - 1]^2 = 0,922 \leq 1 \quad \mathbf{OK}$$

ANNEXE 12: DIMENSIONNEMENT DES APPUIS

Annexe 12-1 : Dimensionnement de la culée

A. Évaluation des efforts horizontaux

a) Calcul de la rigidité

Pour l'appareil d'appui

Le déplacement est donné par : $\mu_1 = \frac{T}{nGS}$

avec T : l'épaisseur de l'appareil d'appui ;

n=2 le nombre d'appareil d'appui sur une pile ;

G=180T/m² : le module d'élasticité transversal des charges dynamiques non sismiques ;

S : la surface en plan de l'appareil d'appui.

Les dimensions de notre appareil d'appui sont : S= (700x800) mm =0,56 m² et T= 136 mm

$$\mu_1 = \frac{0,136}{2 \times 1,8 \times 0,56} = 0,0675 \text{ m /MN}$$

Pour la pile : $\mu_2 = \mu_{2-1} + \mu_{2-2}$

μ_{2-1} : déplacement du corps de la pile et μ_{2-2} : déplacement du chevêtre

Déplacement du corps de la pile :

$$\mu_{2-1} = \frac{H_{col}^3}{3nE_b I_{col}} = \frac{7,50^3 \times 10^6}{3 \times 2 \times 34077 \times 0,101736} = 0,0203 \text{ m/MN}$$

H_{col}= 13,50 m

n= 2 : Nombre de colonnes ;

E_b : Module de déformation du béton = 34 077 Mpa pour 35 Mpa

I_{col} : l'inertie de la colonne. $I = \pi\Phi^4/64 = 0,101736 \text{ m}^4$

$$\mu_{2-2} = \frac{(H_{ch} + H_{col})^3 - H_{col}^3}{3E_b I_{col}} = \frac{((1,2 + 13,00)^3 - 13,00^3)10^6}{3 \times 34077 \times 0,2304} = 0,028 \text{ m/MN}$$

h_{ch} : hauteur du chevêtre =1,20m ;

I_{ch} : l'inertie du chevêtre. $I_{ch} = \frac{b \cdot h_{ch}^3}{12} = \frac{1,6 \times 1,2^3}{12} = 0,2304 \text{ m}^4$

Feuille de calcul du mur garde grève

Données	Mur Garde grève	
	Arrière	Face avant
Largeur h (m)	0,50	0,50
Longueur b (m)	1,00	1,00
Nser (MN)	0,1275	0,06
M ser Per (MN.m)	0,019275	0,015000
M ser Expl (MN.m)	0,2298519	0,162
M ser (MN.m)	0,2491269	0,177000
Excentricité e(m)	1,953936471	2,95
e1=4h	2,00	2,00
Conclusion 1	e < e1 la section est dimensionnée en flexion composée avec un effort normal de compression	
Effort de compression du béton Nbmax (MN.m)=b*h* f_{bc}	10,500	10,500
Coef de remplissage Ψ	0,012142857	0,005714286
Excentricité critique ζ	0,249990813	0,249991203
$e_{NC}=\zeta*h$	0,1250	0,1250
Conclusion 2	e > eNC section partiellement comprimée	
Mser fictif (MN.m) =Nser(e+d-h/2)	0,274627	0,189000
α_{ser}	0,680689	0,663798
σ_{st}	147,766127	159,541920
Mrb =0,5*hd ² $\sigma_{bc}\alpha_{ser}(1-\alpha_{ser}/3)$	0,559462	0,549553
Conclusion 3	Mser fictif < Mrb → AS'=0	
AS fictif(cm ²) =Mser Fictif/d(1- $\alpha_{ser}/3$) σ_{st}	53,421738	33,805343
AS théo (cm ²) =AS fictif-Nser/ σ_{st}	48,321738	31,405343
As min (cm ²)	32,00	32,00
Choix des aciers principaux	10HA25 / ml	10HA20 / ml
As réel (cm ²)	49,09	31,42
Choix des aciers de répartition	HA10 e=15 cm	HA10 e=15 cm

Feuille de calcul du mur de front

Données	Section S1(h= 7,47m)		Section S2(h= 3,86m)	
	Face arrière	Face avant	Face arrière	Face avant
Largeur h(m)	1,20		1,20	
Longeur b(m)	1,00		1,00	
Nser(MN)	0,359664616		0,243861662	
M ser Per(MN)	0,718013138		0,355533447	
M ser Expl(MN)	0,820255093		0,921162264	
M ser	1,538268231		1,276695711	
Excentricité e(m)	4,276951812		5,235327688	
e1=4h	4,80		4,80	
Conclusion 1	e > e1 la section est dimensionnée en flexion simple avec un effort normal de compression		e > e1 la section est dimensionnée en flexion simple avec un effort normal de compression	
α_{ser}	0,557522		0,557522	
σ_{st}	250		250	
Mrb (MN.m) =0,5*hd ² $\sigma_{bc}\alpha_{ser}(1-\alpha_{ser}/3)$	2,991352		2,991352	
Conclusion 2	Mser < Mrb → AS'=0			
AS (cm²) =Mser /d(1- $\alpha_{ser}/3$) σ_{st}	69,977581		58,078348	
As min (cm²)	38,40		38,40	
Choix des aciers	14HA25 / ml		12HA25 / ml	
As réel (cm ²)	68,72		58,91	
Armatures horizontales	A_H=0,1h 12 cm²/ml	A_H=0,075h 9,00 cm²/ml	A_H=0,1h 12 cm²/ml	A_H=0,075h 9,00 cm²/ml
Choix A _H	HA14 e=12,5 cm	HA12 e=12,5 cm	HA14 e=12,5 cm	HA12 e=12,5 cm
Armatures verticales	/	A_V=0,1h 12,00 cm²/ml	/	A_V=0,1h 12,00 cm²/ml
Choix A _V	/	HA14 e=12,5 cm	/	HA14 e=12,5 cm

Feuille de calcul de la semelle sous culée

Données	Section du patin S4 (L= 1,40m)	Section du talon S3(L= 2,60m)
	Face inférieure	Face supérieure
Hauteur h(m)	1,00	1,00
Largeur de la semelle B(m)	5,00	5,00
Largeur du patin B1(m)	1,40	-
Largeur du talon B2(m)		2,60
$\Sigma M/A$ (kN)	1 894,885194	
Σ Forces V(kN)	1 039,188616	
Excentricité e_A(m)	1,823427591	
Noyau central (B/3 ; 2B/3)	(1,66 ; 3,33) m	
Conclusion 1	eA < C (B/3 ; 2B/3) Semelle totalement comprimée, donc pas d'acier comprimé dans la semelle	
Contraintes dans la semelle	Formule	Valeurs
Répartition Trapézoïdale (kN/m ²)	$\sigma_{réf1} = 5RV/2B (1-1,2 eA/B)$	292,2080847
Répartition triangulaire (kN/m ²)	$\sigma_{réf2} = RV/(2eA)$	284,9547252
	FERRAILLAGE	
Moment fléchissant (kN.m)	Section du patin S4 (L= 1,40m)	Section du talon S3 (L= 2,60m)
	279,255631	719,276763
α_{ser}	0,557522	0,557522
σ_{st}	250	250
Mrb (MN.m) $=0,5*hd^2\sigma_{bc}\alpha_{ser}(1-\alpha_{ser}/3)$	1,731106	1,731106
Conclusion 2	Mser < Mrb → AS'=0	
AS (cm²)=Mser /d(1-$\alpha_{ser}/3$)σ_{st}	15,244390	39,26486675
As min (cm²)	20,00	20,00
Choix des aciers	10HA16 / ml	8HA25 / ml
As réel (cm ²)	20,11	39,27
Armatures répartition	AH=0,1h = 10 cm²/ml	AH=0,1h = 10 cm²/ml
Choix A _H	HA12 e=12,5 cm	HA12 e=12,5 cm

Annexe 12-2 : Dimensionnement de la pile

Feuille de calcul de la colonne

Données	Colonne
Largeur h(m)	1,20
Longueur b(m)	1,20
Nu(MN)	12,544308
Mu Per(MN)	0
Mu Expl(MN)	1,23034275
Mu	1,23034275
Excentricité e(m)	0,098079763
e1=4h	4,80
Conclusion 1	e < e1 la section est dimensionnée en flexion composée avec un effort normal de compression
Effort de compression du béton Nbmax(MN.m)=b*h*fbc	25,200
Coef de remplissage Ψ	0,49779
Excentricité critique ζ	0,248053961
$e_{NC}=\zeta*h$	0,2977
Conclusion 2	e < eNC section entièrement comprimée
As min (cm²)	15,07
As max (cm ²)	565,20
Choix des aciers	10HA14
As réel (cm ²)	15,39
Choix des aciers de répartition	HA8 e=20 cm

ANNEXE 13 : VÉRIFICATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSÉE DANS ALIZE

Alizé-Lcpc - Définition d'une Structure : D:\...CORRECTIO... - □ X

Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèques Configurer Alizé Fenêtre ?

Titre : PROJET EKOMBITIE

Structure de base

	épais. (m)	module (MPa)	Nu	matériau type
	0,04	2450	0,35	bb
collé	0,15	4000	0,35	autre
collé	0,3	500	0,35	autre
collé	0,3	125	0,35	autre
collé	infini	50	0,35	autre

Modifier la structure
nb de couches : 5
Ajouter 1 couche
Supprimer 1 couche

Série de calculs
nb de calculs : 10
Voir/gérer les variantes

Niveaux de calcul
Modifier les niveaux

Aide
Nature des interfaces
Epaisseurs mini-maxi
Calcul direct (charge réf.)
Quitter Alizé

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles - □ X

Trafic PL cumulé : données

Moyenne journalière annuelle (MJA) :
 Taux accroissement géométrique (%):
 Taux accroissement arithmétique (%):
 Durée de service (années):
 Trafic cumulé PL : 2081304
 Cocher au plus 3 cases

Aide
CAM : Guide lcpc-sétra 94
CAM : Catalogue 1998
Risques : Guide lcpc-sétra 94
Risques : Catalogue 1998
Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type : gnt et sol
 coefficient CAM : 1
 trafic cumulé NE : 2,0813E+6
 Coefficient A : 12000
 pente b : -0,222

Calculer EpsiZ admissible
Calcul inverse NE = f(EpsiZ)

Bibliothèque des matériaux Imprimer Enregistrer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "gnt et sol"

EpsilonZ admissible =
Mémo ...
7-EpsiI= 135,9
8-EpsiI= 86,7
9-EpsiI= 474,8

effacer=dbl click
Fermer

ANNEXE 14 : AVANT MÈTRE DES TRAVAUX

AVANT MÈTRE									
Réf.	Éléments	Forme	Unité	Dimensions				Nbre d'élts	Qté
				Long. (m)	larg. (m)	H ou ep. (m)	Ø (m)		
A	INFRASTRUCTURE								
A.1	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour semelles sous pile	Rectangle	m ³	9,00	3,00	1,20	-	2	64,80
A.3	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Semelle de liaison (culée)	Rectangle	m ³	11,00	5,00	1,20	-	2	132
B	SUPERSTRUCTURE								
B.1	Appuis								
B.1.1	Pile								
B.1.1.1	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Chevêtre	Rectangle	m ³	9,00	1,60	1,40	-	2	40,32
B.21.1.2	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Bossage	Rectangle	m ³	0,40	0,40	0,15	-	8	0,19
B.1.1.2	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Colonne	Circulaire	m ³	-	-	13,00	1,20	4	14,70
B.1.2	Culée								
B.1.2.1	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Mur garde grève	Rectangle	m ³	10,00	0,50	3,00	-	2	30,00
B.1.2.2	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Mur de front	Rectangle	m ³	10,00	1,20	11,00	-	2	264,00
B.1.2.3	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Bossage	Rectangle	m ³	0,40	0,40	0,15	-	8	0,19
B.1.2.4	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Dalle de transition	Rectangle	m ³	4,00	9,40	0,30	-	2	22,56
B.1.2.5	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour Mur en retour	Rectangle	m ³	10,00	19,25	0,30	-	4	231,00
B.1.2.6	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour corbeau	Rectangle	m ³	9,40	0,60	0,30	-	2	3,38
B.1.3	Poutres métalliques								
B.1.3.1	Masse d'acier		T	587,20					
B.1.3.2	Peinture		m ²	2 970,00					
B.1.4	Dalle en béton								
B.1.4.1	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour dalle		m ³					1	508,04

B.5	Les équipements								
B.5.1	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour trottoirs	Rectangle	m ²	165,00	1,5	0,25	0	2	495,00
B.5.2	Bordures T2	Linéaire	ml	165,00				2	330,00
B.5.3	Revêtement bitumineux	Rectangle	m ³	165,00	5,00	0,08	-	1	66
B.5.4	Étanchéité	Rectangle	m ²	165,00	10,00	-	-	1	1650
B.5.5	Joint de chaussée	Linéaire	ml	7,00	-	-	-	3	21
B.5.6	Gardes corps	Linéaire	ml	170,00	-	-	-	2	340
B.5.7	Appareils d'appui élastomère	Carrée	U	-				8	8,00
B.5.8	Fourniture et la pose des décharges d'eau pluviale.		U	12,00	-	-	-	2	24
B.5.9	Barrière type BN4	Linéaire	ml	165,00				2	330,00

HYDRO_0308

Gumbel (Maximum Likelihood)

Results of the fitting

Number of observations : 26

Parameters

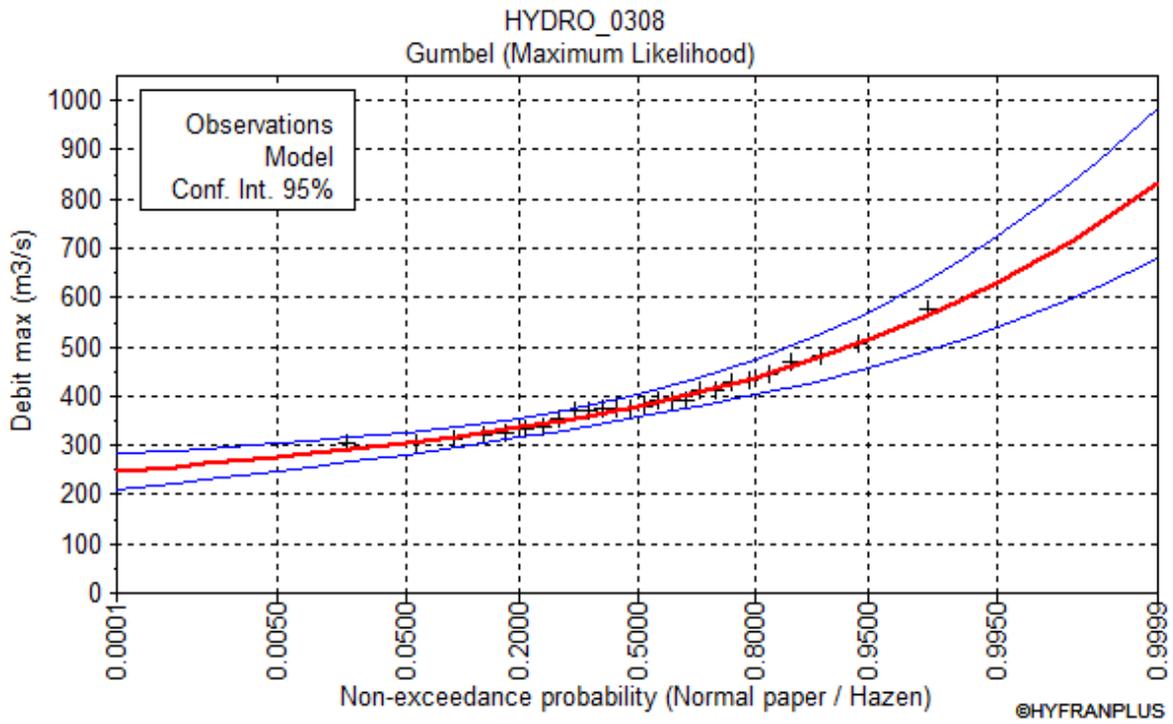
u 360.705573
alpha 51.201855

Quantiles

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

T	q	XT	Standard deviation	Confidence interval (95%)
10000.0	0.9999	832	78.2	679 - 986
2000.0	0.9995	750	65.3	622 - 878
1000.0	0.9990	714	59.8	597 - 832
200.0	0.9950	632	47.0	540 - 724
100.0	0.9900	596	41.5	515 - 678
50.0	0.9800	560	36.1	490 - 631
20.0	0.9500	513	28.9	456 - 569
10.0	0.9000	476	23.5	430 - 522
5.0	0.8000	438	18.2	402 - 473
3.0	0.6667	407	14.5	379 - 435
2.0	0.5000	379	11.7	356 - 402
1.4286	0.3000	351	10.2	331 - 371
1.2500	0.2000	336	10.1	317 - 356
1.1111	0.1000	318	10.7	297 - 339
1.0526	0.0500	305	11.6	282 - 327
1.0204	0.0200	291	12.8	266 - 316
1.0101	0.0100	283	13.6	256 - 309
1.0050	0.0050	275	14.4	247 - 304
1.0010	0.0010	262	16.0	230 - 293
1.0005	0.0005	257	16.6	224 - 289
1.0001	0.0001	247	17.9	212 - 282

HYDRO_0308



HYDRO 1998_2017

Gumbel (Maximum Likelihood)

Results of the fitting

Number of observations : 17

Parameters

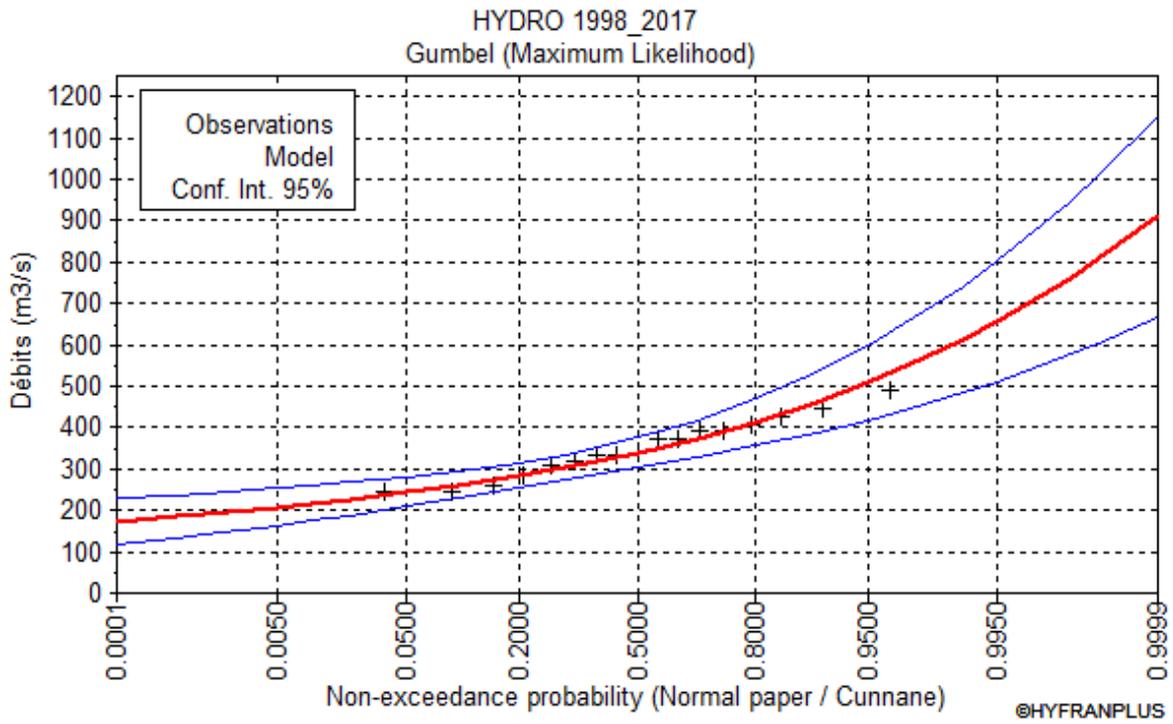
u 315.668567
alpha 64.570737

Quantiles

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

T	q	XT	Standard deviation	Confidence interval (95%)
10000.0	0.9999	910	124	668 - 1150
2000.0	0.9995	806	103	604 - 1010
1000.0	0.9990	762	94.5	576 - 947
200.0	0.9950	658	74.2	512 - 803
100.0	0.9900	613	65.5	484 - 741
50.0	0.9800	568	56.9	456 - 679
20.0	0.9500	507	45.5	418 - 597
10.0	0.9000	461	37.0	388 - 533
5.0	0.8000	413	28.6	357 - 469
3.0	0.6667	374	22.6	330 - 418
2.0	0.5000	339	18.2	304 - 375
1.4286	0.3000	304	15.8	273 - 335
1.2500	0.2000	285	15.7	254 - 316
1.1111	0.1000	262	16.8	229 - 295
1.0526	0.0500	245	18.2	209 - 281
1.0204	0.0200	228	20.2	188 - 267
1.0101	0.0100	217	21.6	175 - 259
1.0050	0.0050	208	22.9	163 - 253
1.0010	0.0010	191	25.5	141 - 241
1.0005	0.0005	185	26.4	133 - 237
1.0001	0.0001	172	28.5	117 - 228

HYDRO 1998_2017

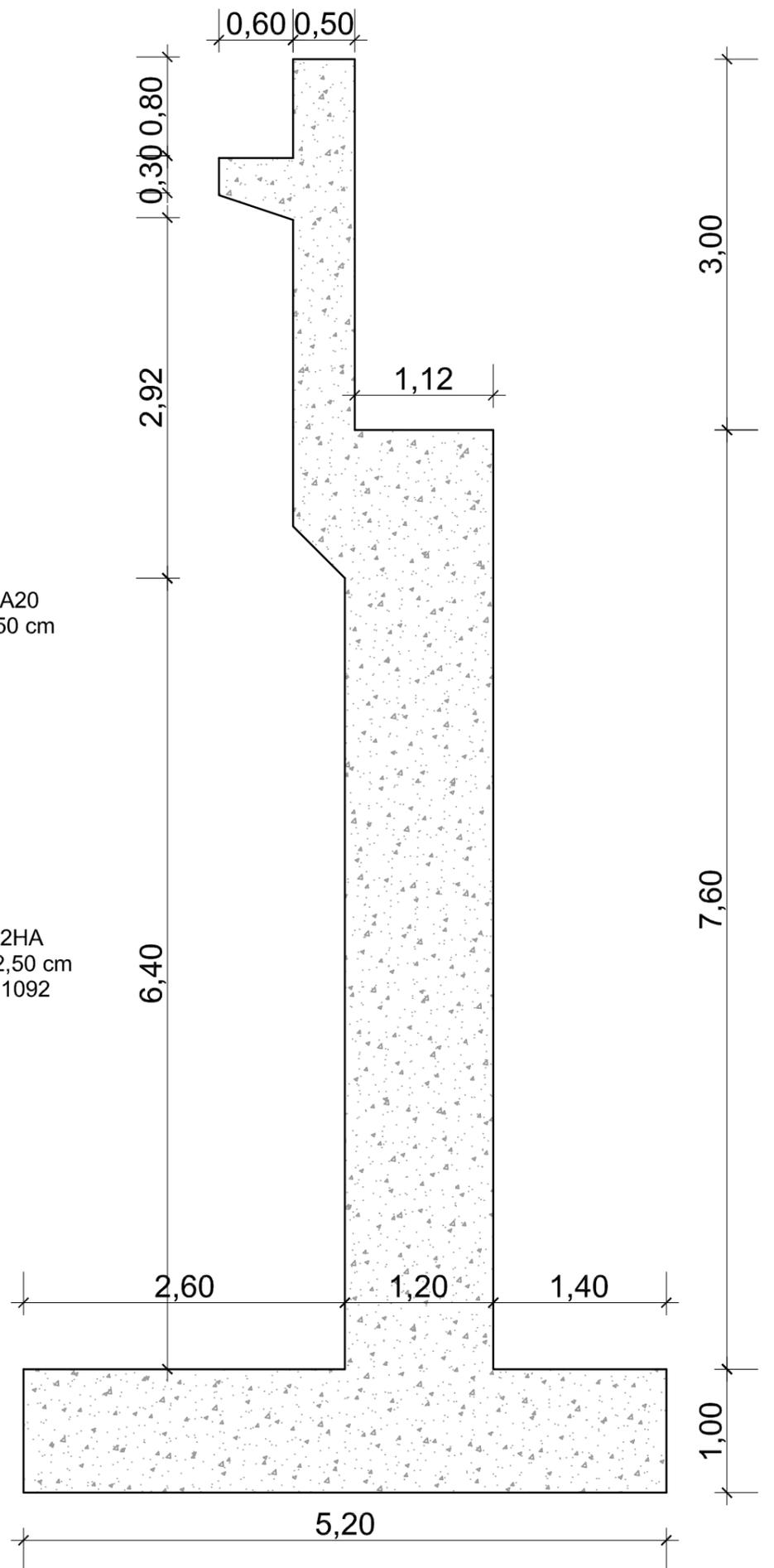
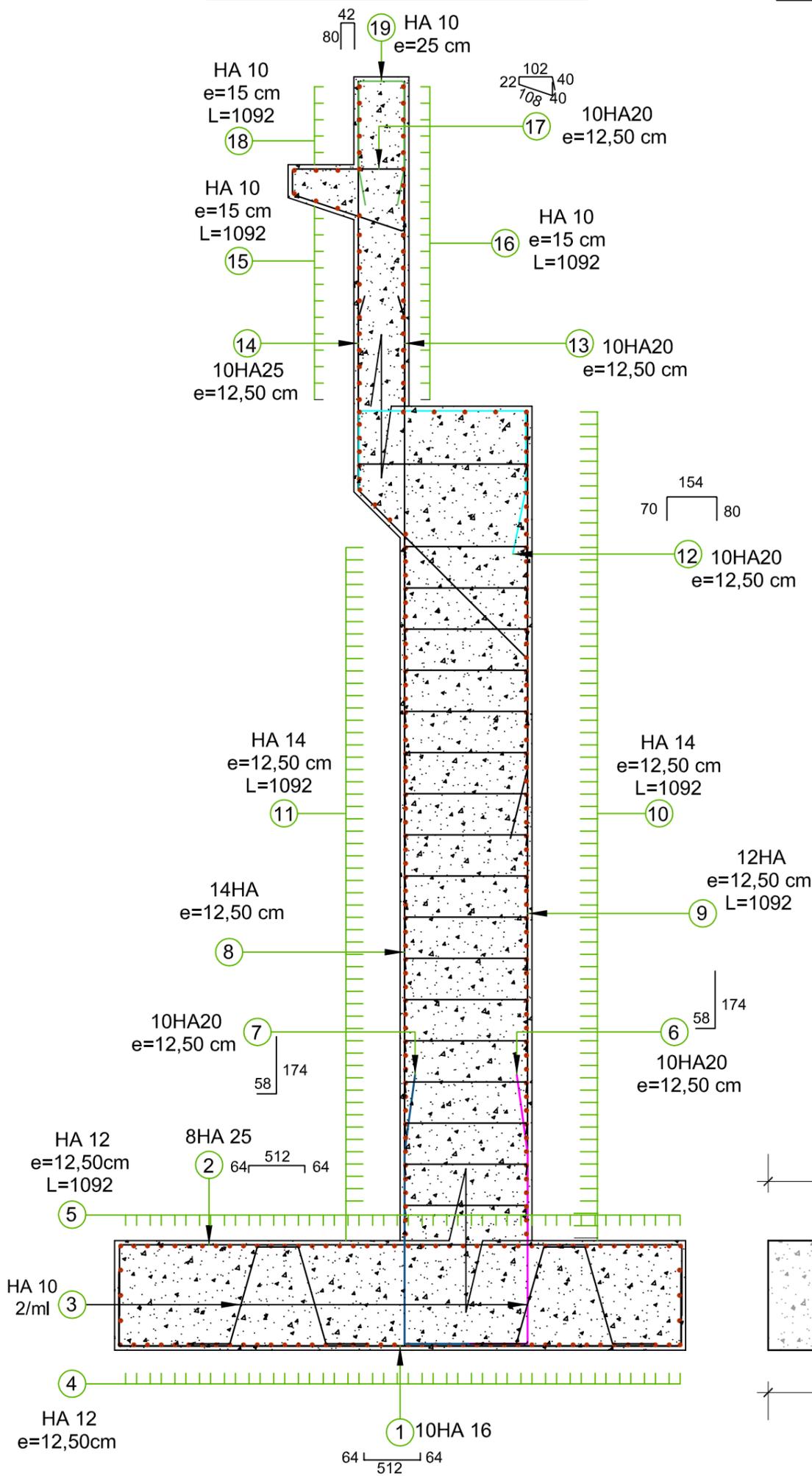




CARNET DES PLANS D'EXÉCUTION

Ferrailage de la culée

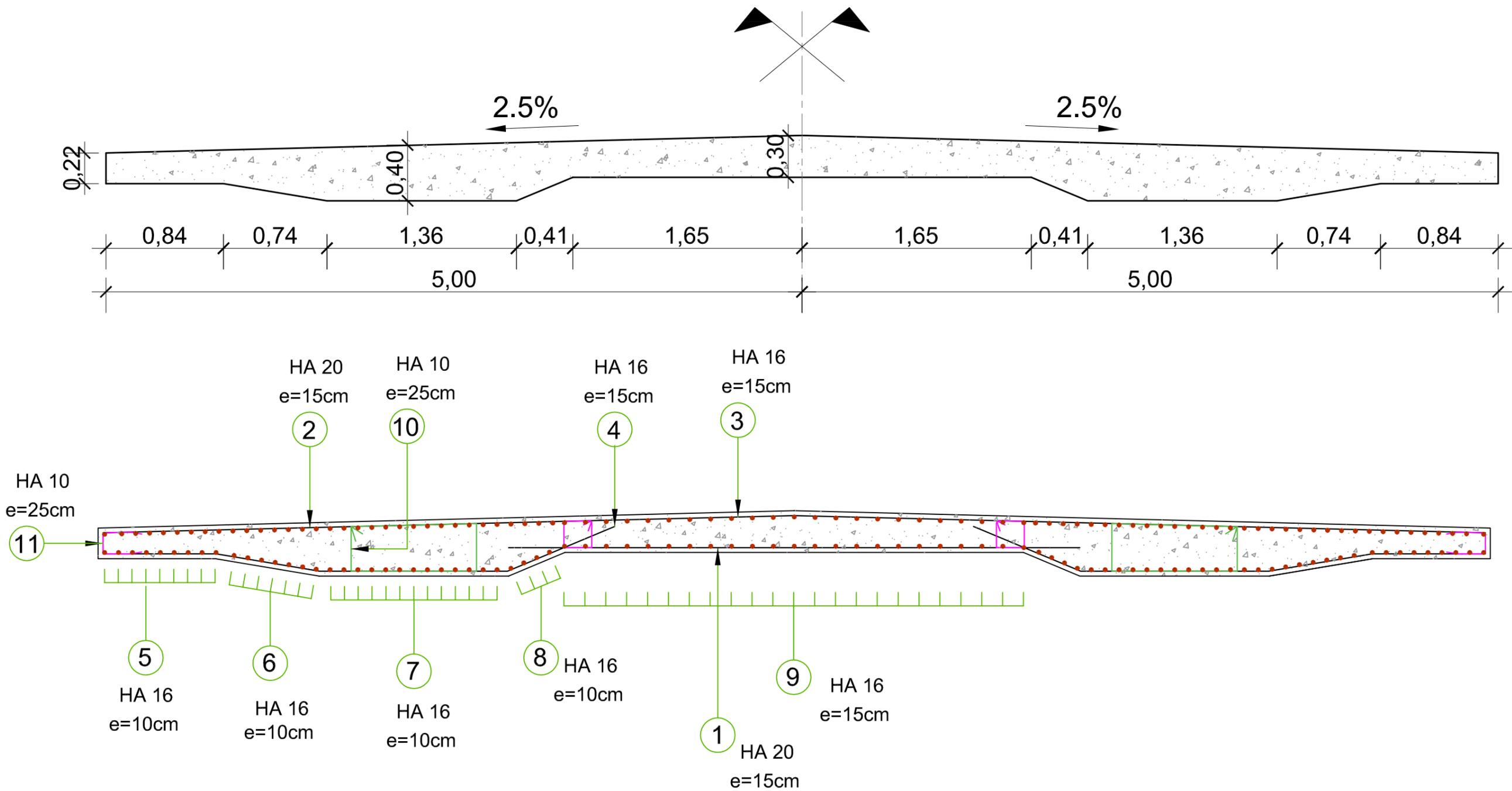
Vue en élévation de la culée



ETUDES DETAILLEES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PONT ET SES VOIES D'ACCES AU FLEUVE NYONG A EKOMBITIE: AU PK24+00 DE K'LA ROUTE MFOU-NKILZOK-EKOMBITIE DANS LA REGION DU CENTRE-CAMEROUN(LOT1)

PLAN D'EXECUTION DE LA CULEE

	Dessiné par:	RFE	Echelle:	
	Vérifié par:	EDF		
	Date:	Juillet 2021		

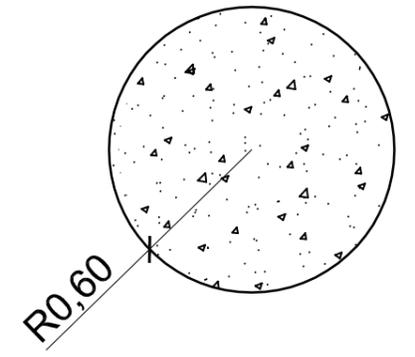


ETUDES DETAILLEES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PONT ET SES VOIES D'ACCES AU FLEUVE NYONG A EKOMBITIE: AU PK24+00 DE K'LA ROUTE MFOU-NKILZOK-EKOMBITIE DANS LA REGION DU CENTRE-CAMEROUN(LOT1)

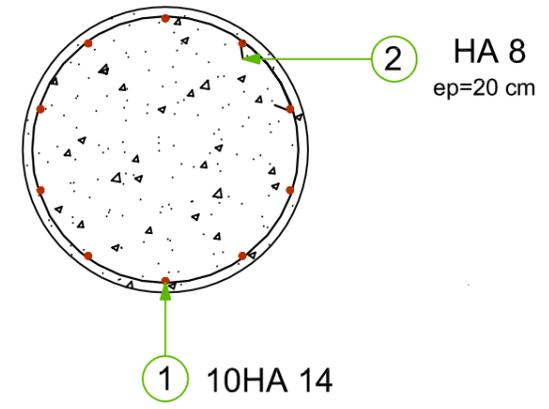
PLAN D'EXECUTION DE LA DALE

	Déssiné par:	RFE	Echelle:	
	Vérifié par:	EDF		
	Date:	Juillet 2021		

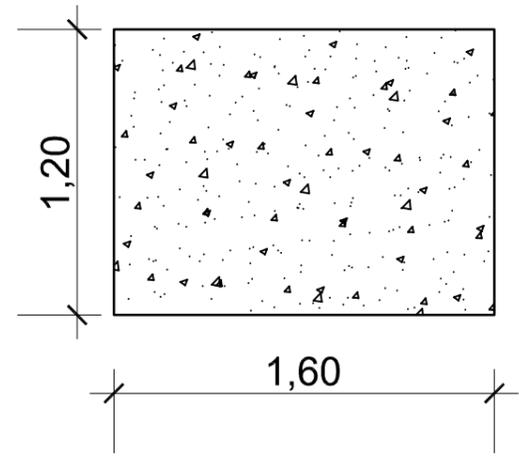
Coffrage de la colonne



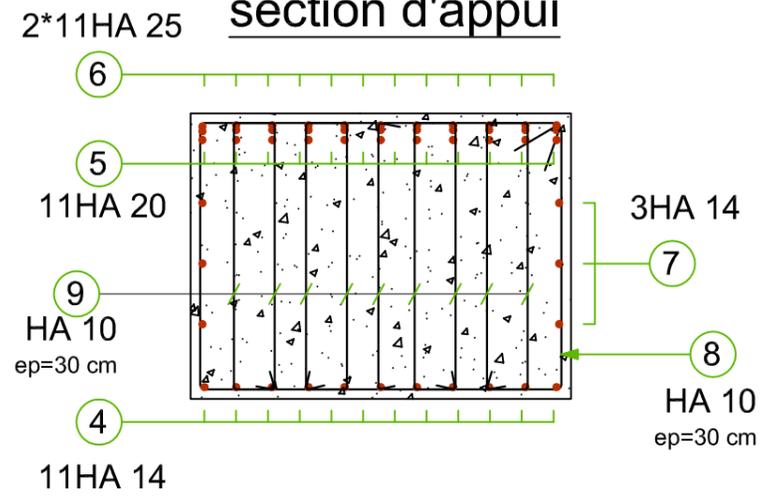
Ferrailage de la colonne



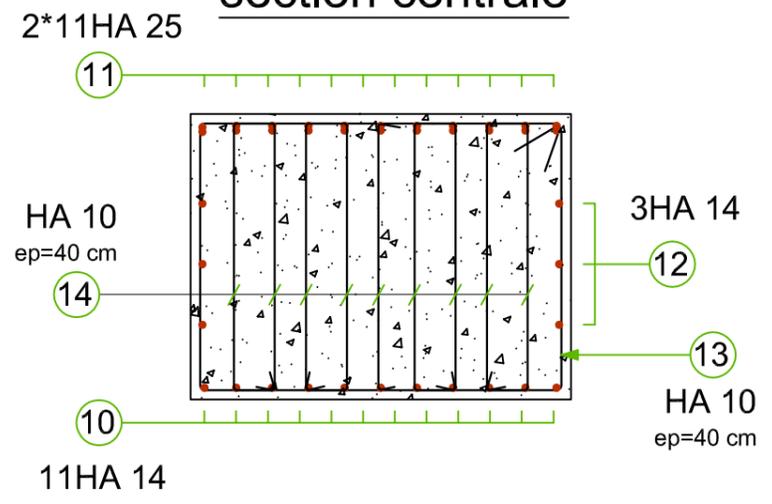
Coffrage du chevêtre



Ferrailage du chevêtre section d'appui



Ferrailage du chevêtre section centrale



NOMENCLATURE DES ACIERS

BARRE	Ecart (cm)	Façonnage	Nombre d'éléments	Longueur de coupe (m)	Ø8	Ø10	Ø12	Ø14	Ø16	Ø20	Ø25
COLONNE											
1	HA14	80	10	12,00	0,00	0,00	0,00	120,00	0,00	0,00	0,00
2	HA8	20	66	3,65	240,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	HA14	12,5	10	2,40	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00
CHEVETRE											
4	HA14		11	8,92	0,00	0,00	98,12	98,12	0,00	0,00	0,00
5	HA20		11	8,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,12	0,00
6	HA25		11	8,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,12
7	HA14		11	8,92	0,00	0,00	0,00	98,12	0,00	0,00	0,00
8	HA10	30	16	5,60	0,00	89,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	HA14		11	8,92	0,00	0,00	98,12	98,12	0,00	0,00	0,00
11	HA25		11	8,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,12
12	HA14		11	8,92	0,00	0,00	0,00	98,12	0,00	0,00	0,00
13	HA10	40	10	5,60	0,00	89,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	HA10	40	180	1,75	0,00	315,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Béton : B35 Armatures: Aciers fe E50 fe = 500MPa Enrobage: 4cm
 Volume béton: m3 Ratio des aciers: kg/m3

ETUDES DETAILLEES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PONT ET SES VOIES D'ACCES AU FLEUVE NYONG A EKOMBITIE: AU PK24+00 DE K'LA ROUTE MFOU-NKILZOK-EKOMBITIE DANS LA REGION DU CENTRE-CAMEROUN(LOT1)

PLAN D'EXECUTION DE LA PILE

	Dessiné par:	RFE	Echelle:	
	Vérifié par:	EDF		
	Date:	Juillet 2021		