



B.P: 11 306 Yaoundé,
Tel/fax : (237) 22 22 03 06/ (237) 22 22 203 08

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE
DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400
ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE : GENIE CIVIL & HYDRAULIQUE
OPTION: ROUTES ET OUVRAGES D'ART**

Présenté et soutenu publiquement le 15 Janvier 2020 par

TANDA NGUEKEU Blondel Jospin (20170039)

**Directeur de Mémoire : Dr Abdou LAWANE GANA, Maitre de conférences (CAMES)
Maître de stage : Guillaume LOMBARDOT, responsable Génie Civil au chantier RBN,
RAZEL-BEC**

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr (MC) Adamah MESSAN

Membres et correcteurs : M. Moussa LO
M. Issa MADOUYOU

Promotion [2020/2021]

DEDICACES

À
LA
FAMILLE
TANDA

REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce au Seigneur Dieu le créateur qui s'est donné le souffle de vie.

Nous remercions également :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement représenté par son Directeur Général qui n'a ménagé aucun effort afin de nous permettre d'avoir une formation de qualité
- À Monsieur Abdou LAWANE, mon directeur de mémoire, Chef de département de Génie Civil et Hydraulique à la Fondation 2iE pour toute sa disponibilité, son encadrement et toute son attention à mon égard ;
- Monsieur **Franck CASTELYN**, le Directeur Général de RAZEL CAMEROUN qui a permis notre stage au sein de l'entreprise Razel;
- Monsieur **Thomas AMOUGOU**, Directeur du Projet de la construction de la route BATCHENGA-NTUI, pour son admission des bureaux RAZEL à BATCHENGA et sa considération ;
- Monsieur **Guillaume LOMBARDOT**, responsable génie civil et encadreur professionnel sur le projet de construction du pont de NATCHIGAL, pour ses conseils, sa disponibilité, sa considération et pour son encadrement ;
- Monsieur **Albert MINDLEND**, chef du personnel du chantier de RBN pour ses conseils et sa générosité ;
- Tout le personnel de **RAZEL** pour son accueil chaleureux, sa collaboration et sa considération qu'il a fait preuve à notre endroit le long de notre stage.

RESUMÉ

Le présent mémoire porte sur une étude technique détaillée et la méthodologie de mise en œuvre de l'hourdis par dalles poussées d'un pont bipoutre mixte de 400 ml sur le fleuve Sanaga, dans le cadre de la construction de la route Batchenga –Ntui au Cameroun. En effet l'objectif de cette étude est de déterminer de manière précise les paramètres structurels de la dalle du tablier ainsi que les paramètres de mise en œuvre de cette dalle avec un procédé technique peu répandu et qui demande une grande préparation. Pour ce faire nous avons dans un premier temps fait une modélisation dans le logiciel Robot Structural Analysis 2019, en prenant les éléments de structure nécessaire pour une modélisation proche des conditions réelles de sollicitation de l'hourdis. Les résultats obtenus à travers la modélisation nous ont permis d'étudier les points de sollicitation sensible de l'hourdis notamment la zone de liaison entre la charpente métallique et le hourdis, le tunnel et les Gousset à cet endroit. Nous n'avons pas manqué d'étudier les flexions transversale et longitudinale de la dalle qui permettent de la ferrailer correctement. Cet ainsi que nous avons déterminé que tout le long du tunnel il existe un effort de glissement qui sera repris **22,07%** par les clés de voussoirs et à **77,92 %** par les poches de bétonnage. Nous avons également déterminé une section d'acier de **18,1cm²** à disposer au-dessus du tunnel. Pour ce qui est de la flexion transversale de la dalle, nous avons disposés des **HA 25 espacé de 17 cm** en nappe inférieure et en nappe supérieure, pour la flexion longitudinale nous avons disposé des **HA 20 et HA16 espacés de 30 cm** en nappe inférieure contre des **HA 20 espacés de 15 cm** en nappe supérieure. Nous avons ensuite fait un calcul et le choix du joint de chaussé. Passé l'étude structurelle de la dalle, nous avons fait l'étude détaillée du procédé de mise en œuvre de l'hourdis, de la mise en place des coffrages au poussage des plots de dalles et enfin le clavage.

Mots Clés :

1 – bipoutre

2 - hourdis

3 - pont

4 - poussées

5 – mixte

ABSTRACT

This thesis deals with a detailed technical study and the methodology for the implementation of the high-slab slab of a 400-ml composite double-girder bridge on the Sanaga River, as part of the construction of the Batchenga -Nui road at Cameroon. Indeed the objective of this study is to determine in a precise way the structural parameters of the slab of the deck as well as the parameters of implementation of this slab with a little technical process and which requires a great preparation. To do this, it was first necessary to make a modeling in the Robot Structural Analysis 2019 software, taking the necessary structural elements for modeling close to the actual conditions of solicitation of the slab. The results obtained through the modeling allowed us to study the sensitive points of stress of the hour, in particular the zone of connection between the metallic framework and the slab, the tunnel and the Gussets at this place. We did not miss to study the transverse and longitudinal bends of the slab which allows to scrap it correctly. This as well as we determined that all along the tunnel there is a sliding effort that will be retaliation 22.07% by the keys is 20.59 t and to 77.92% by the pockets is 72.69 t with 33.7 cm² of steel to be eliminated in these concreting pockets for this purpose. We also determined an 18.1 cm² steel mill section above the tunnel. As for the transverse flexion of the slab, we arranged HA 17 spaced 17 cm apart in lower and upper layers, for longitudinal flexion we obtained HA 20 and HA16 spaced 30 cm lower sheet against HA 20 spaced 15 cm higher sheet. We then made a calculation and the choice of the road joint.

LISTE DES ABREVIATIONS

BAEL : Béton Armé Aux États Limites

BB : Béton Bitumineux ;

CCTP : cahier des clauses techniques particulières

CCTG : Cahier des Clauses Techniques Générales

ELU : état limite ultime

ELS : état limite de service

GBA : Glissière de sécurité en béton armé

EIES : étude d'impact environnemental et social

HA : Haute Adhérence GBA Glissière en Béton Armé

IPE : Profil Européen en I

PRS Profilés Reconstitués soudés

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

SETRA Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : VUE EN PLAN DU PROJET.....	7
FIGURE 2: PARTIES D'UN PONT [8]	12
FIGURE 3 : CHOIX DU TYPE DE PONT MIXTE. [10]	17
FIGURE 4 : EXEMPLE DE PONT BIPOUTRE (EN CONSTRUCTION)	18
FIGURE 5 : EXEMPLE DE PONT MIXTE EN CAISSON	19
FIGURE 6 : PONT TYPE POUTRELLES ENROBÉES	20
FIGURE 7 : EXEMPLE D'ÉLÉMENTS DE COFFRAGE MOBILE [8]	21
FIGURE 8: EXEMPLE DE DALLE DE TABLIER PRÉFABRIQUÉ [8].....	22
FIGURE 9 : EXÉCUTION DE LA DALLE PAR POUSSAGE AVANT 2005 ET APRÈS 2005 [8].....	24
FIGURE 10 : INTERFACE DU LOGICIEL ROBOT.....	28
FIGURE 11 : ILLUSTRATION MODEL 3D CONSTITUÉ PAR LE HOUDIS ET LES LIAISONS LINÉAIRES SIMPLES	29
FIGURE 12 : APPLICATION DES SUPERSTRUCTURES DANS LE SENS TRANSVERSAL	29
FIGURE 13 : APPLICATION DE LA CHARGE BT [1].....	31
FIGURE 14 : JOINT DE CHAUSSEE.....	36
FIGURE 15 : COUPE TRANSVERSALE DE L'HOUDIS	38
FIGURE 16 : COUPE TRANSVERSALE DU COFFRAGE DE L'HOUDIS	39
FIGURE 17 : ILLUSTRATION DE LA PLATTE FORME SUPÉRIEURE DE L'ARRIÈRE BEC.....	40
FIGURE 18 : ÉTAILLAGE ET COFFRAGE MÉTALLIQUE DE L'HOUDIS	41
FIGURE 19 : PARTIE SUPÉRIEURE DU COFFRAGE DE LA DALLE	41
FIGURE 20 : PHASAGE DE POSE DES ARMATURES DE PLOT AVANT COULAGE	42

FIGURE 22 : AVANT BEC AVANT ET APRÈS INSTALLATION DU TUNNEL.....	45
FIGURE 23: RAILS ET PLATINES SOUDÉS AUX PRS	46
FIGURE 24 : ÉQUIPEMENT DU TUNNEL.....	47
FIGURE 25 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES VANNES ET CLARINETTES.	49
FIGURE 26 : CLARINETTE ET VANNES D'AIR POUR LES COFFRAGES- DÉCOFFRAGE.	50
FIGURE 27 : DISPOSITIF DE GUIDAGE AVANT	51
FIGURE 28 : DISPOSITIF DE GUIDAGE INTERMÉDIAIRE.....	52
FIGURE 29 : VÉRIN HYDRAULIQUE DU SYSTÈME DE POUSSAGE.	52
FIGURE 30: PARAMÈTRES DE PRÉ-DIMENSIONNEMENT DU TABLIER BIPOUTRE [8].....	62
FIGURE 31 : FORMULES DE PRÉ-DIMENSIONNEMENT DU TABLIER DES PONTS BIPOUTRES [8].	63
FIGURE 32 : DIFFÉRENTES SECTION DES PRS MODÉLISÉES	66
FIGURE 33 SYSTÈMES DE CHARGEMENT BC [1]	70
FIGURE 34 : SYSTÈME BT DE CHARGEMENT [1].....	71
FIGURE 38 : INTERFACE DU LOGICIEL ROBOT	76
FIGURE 39 : ILLUSTRATION MODEL 3D CONSTITUÉ PAR LE HOUDIS ET LES LIAISONS LINÉAIRES SIMPLES	77
FIGURE 40 : APPLICATION DES SUPERSTRUCTURES DANS LE SENS TRANSVERSAL	77
FIGURE 41 : APPLICATION DE LA CHARGE BT[1].....	79
FIGURE 42 : MODÈLE DE CALCUL RÉGLEMENTAIRE [11].	82
FIGURE 43 : DÉTAILS DE CLÉS	87
FIGURE 44 : CONTRAINTE DE CISAILLEMENT ET CONTRAINTE NORMALE MAXIMALES POUR UN PRS.....	90
FIGURE 45 : EFFORT DE GLISSEMENT REPRIS AU NIVEAU DES CLÉS	91
FIGURE 46: DÉTAILS DES DIMENSIONS DU TUNNEL.	91
FIGURE 47 : PRINCIPE DE FERRAILLAGE DE LA DALLE	96

FIGURE 48 : DIFFUSION DE CHARGE DANS LE HOUDIS (SENS TRANSVERSAL) ..	97
FIGURE 50: PLAGES D'UTILISATION DES JOINTS DE CHAUSSEE	101
FIGURE 51 : JOINT DE CHAUSSE MULTIFLEX SX	101

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE RAZEL	4
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DU BETON	33
TABLEAU 3 : RECAPITULATIF DE SOLLICITATIONS	34
TABLEAU 4 : CYCLE DE MISE EN ŒUVRE D'UNE DALLE DE HOUDIS	58
TABLEAU 5 : VALEURS DE PRE-DIMENSIONNEMENT DU TABLIER BIPOUTRE.	65
TABLEAU 6 : DES CHARGES DUES AUX SUPERSTRUCTURES DU TABLIER.....	68
TABLEAU 7 : COEFFICIENTS DE D'AGRESSIVITE TRANSVERSALE DE LA CHARGE [1].....	69
TABLEAU 8 : NOMBRE DE FILES PAR CLASSE DE PONT.....	71
TABLEAU 9: CARACTERISTIQUES DE CALCUL DE CONTRAINTE LIMITE DE TRACTION	81
TABLEAU 10: RECAPITULATIF DE SOLLICITATIONS	93
TABLEAU 11 : CALCUL ACIER TRANSVERSAUX EN FIBRE INFERIEURE	94
TABLEAU 12 : CALCUL ACIER TRANSVERSAUX EN FIBRE SUPERIEURE	94
TABLEAU 13 : CALCUL ACIER LONGITUDINAUX EN FIBRE INFERIEURE.....	95
TABLEAU 14 : CALCUL ACIER LONGITUDINAUX EN FIBRE SUPERIEURE.....	95
TABLEAU 15 : PLANNING DE COULAGE DES PLOTS DE DALLE.....	102
TABLEAU 16 : LES PHASES DE REALISATION DES TRAVAUX ET DES ACTIVITES SUSCEPTIBLES D'AVOIR DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT.	104

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOURDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Table des matières

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUMÉ	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
Table des matières.....	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE I : ETUDE ET CALCUL DETAILLÉ DE L'HOURDIS	2
CHAPITRE I:PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET GENERALITES SUR LES PONTs	2
I- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	2
1- Razel-Bec	2
2- Les activités de l'entreprise	2
II- CONTEXTE DU PROJET ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE	5
1- Justification du projet.....	6
2- Choix du type d'ouvrage.....	6
3- Données fonctionnelles et géométrie de l'ouvrage	6
4- RECONNAISSANCE GENERALE DU SITE.....	8
a) Visite du site.....	8
b) Collecte des données.	9
5- Définition du Mode de mise en œuvre de l'hourdis	10
a) Mode de réalisation	10
b) Fonctionnement mécanique.....	10
III- GENERALITES SUR LES PONTS MIXTES	11
1 – historique sur les ponts.....	11
2- définition et différentes parties d'un pont.....	12
a) Composition de l'infrastructure	12
b) Composition de la superstructure	13

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

3-	Classification des ponts.....	14
a)	Classification suivant le fonctionnement mécanique [10]	15
b)	Classification suivant la destination des voies supportées [10]	15
c)	Classification selon la position de l'axe en plan	15
d)	Classification suivant la durée de vie.....	16
e)	Classification suivant la mobilité	16
f)	Classification suivant la continuité de la superstructure [10]	17
4-	Présentation des ponts mixtes	17
5-	Les différents types de ponts mixtes.....	17
a)	Ponts mixte de type bipoutres	18
b)	Ponts mixtes en caisson.....	18
c)	Les ponts mixte de type poutrelles enrobées.....	19
6-	Procédés de mise en œuvre des dalles de pont bipoutre.	20
1-	Exécution de la dalle par équipage mobiles [10]	21
2-	Exécution de la dalle par préfabrication.....	21
3-	Autres méthodes d'exécution de la dalle.....	23
CHAPITRE II : METHODOLOGIE.....		25
I- METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT DE L'HOUDIS DUN PONT MIXTE.....		25
1-	Pré-dimensionnement des éléments de la dalle et de la charpente.	25
	Les charges permanentes	26
	Les charges d'exploitation et surcharges [1]	26
	Définition des Combinaisons [1].	27
2-	Modélisation de la structure.....	27
	Description	27
	Du logiciel ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL	27
	Description du model de dimensionnement.....	28
CHAPITRE III : RESULTATS ET APPLICATIONS		33
1-	Introduction.....	33
2-	Matériau	33
3-	Dimensionnement de la dalle.....	34

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

Évaluation de charges	34
4- Calcul de l'hourdis	34
5- Vérification du non poinçonnement de la dalle	35
6- Dimensionnement du joint de chaussée	36
PARTIE II : ETUDE DU MODE D'EXECUTION DE L'HOUDIS	38
CHAPITRE IV: ETUDE D'EXECUTION DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES	38
I- OUVRAGE	38
II- PREPARATION AVANT POUSSAGE	39
1- Généralités	39
2- Étude d'exécution	39
a) Outils de préfabrication et de poussage.....	39
a) Cycle de fabrication d'un plot.....	42
b) Armatures des plots	42
3- Mise en place du système de poussage	45
a) Installation du tunnel et du système coffrage-décoffrage.	45
4- MISE EN PLACE DU SYSTÈME DE GUIDAGE.	50
a) Les dispositifs de guidage avant.....	50
b) Les dispositifs de guidage intermédiaire ou secondaire.....	51
c) Système de poussage des hourdis.....	52
III- PROCEDURE D'EXECUTION DE L'HOUDIS PROPREMENT DITE.....	53
1- MOYENS PERSONNELS ET MATERIELS.....	53
2- OPERATIONELS PRÉLIMINAIRES	54
a) Mise en place du coffrage	55
b) Préparation du support et mise en place du ferrailage.	55
c) Réception et bétonnage.	56
d) Ecrasement et autorisation de décoffrage et poussage.....	57
3- RENDEMENT D'EXECUTION.....	57
CONCLUSION GENERALE.....	60
BIBLIOGRAPHIE	61
ANNEXES:.....	62

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

ANNEXE 1 : DESCENTE DE CHARGE SUR LE HOUDIS	62
1- Evaluation des charges.....	66
a) Les charges permanentes.....	66
b) Les charges d'exploitation et surcharges	68
2- Modélisation de la structure.....	75
Description	75
a) du logiciel ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL	75
b) Description du model de dimensionnement	76
ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX	81
ANNEXE 3 : CALCUL DU HOUDIS	85
ANNEXE 4 : VERIFICATION DU NON POINÇONNEMENT DE LA DALLE	97
ANNEXE 5 : CALCUL DU JOINT DE CHAUSSEE	99
ANNEXE 6 : PLANNING DE COULAGE DES PLOTS DE DALLE.....	102
ANNEXE 7 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE	103
I- CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE	103
II- IDENTIFICATION, DESCRIPTION ET ANALYSE DES IMPACT POTENTIELS DU PROJET.....	104
1- Impact du projet en phase de chantier.....	105
a) Les impacts négatifs	105
b) Impacts positifs	107
2- Impact du projet en phase d'exploitation de l'ouvrage.....	108
a) Impacts négatifs.....	108
b) Impacts positifs liés à l'exploitation de l'ouvrage	109
III- MESURES D'ATTENUATIONS DES IMPACTS	110
1- Mesures d'atténuations des impacts négatifs du projet en phase de chantier	110
2- Mesures relatives aux impacts en phase de construction des ouvrages	111
IV- SURVEILLANCE ET SUIVI ENVIRONNEMENTAL	111

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le parcours d'ingénieur à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) est sanctionnée par un stage de fin de formation devant permettre à l'élève ingénieur, d'asseoir les compétences acquises sur un projet concret, en lien étroit avec la formation théorique reçue et aussi, de se confronter au monde professionnel dans lequel il est appelé à évoluer. Dans cette optique, nous avons été accueillis par l'entreprise Razel Cameroun entreprise de travaux au Cameroun, dans son sein et sur un de ses chantiers de réalisation d'un des ouvrages d'art les plus remarquables actuellement. Et il nous a été confié l'étude techniques détaillées et méthodologie de mise en œuvre de l'hourdis par dalles poussées d'un pont mixte bipoutre de 400 ml sur le fleuve Sanaga dans le cadre de la construction de la route Batchanga-Ntui. Pour l'accomplissement de cette tâche, nous allons tout d'abord définir l'environnement dans le lequel notre étude sera faite en présentant l'entreprise d'accueil, ensuite nous allons entrer dans le vif du sujet en définissant la méthodologie pour l'étude structurelle de notre hourdis ce qui nous permettra de continuer en faisant ressortir les différentes sollicitations auxquelles il sera soumis, pour lesquels nous déterminerons les disposition de résistances à ces sollicitations et ainsi que les armatures. Nous allons ensuite passer à l'étude détaillée de la mise en œuvre de ce hourdis sur le terrain par un procédé breveté par l'entreprise. Ceci sera fait par la définition des différents équipements de mise en œuvre, la définition de la procédure proprement dite avec les ressources nécessaires. Nous irons ensuite faire une étude d'impact environnementale de l'ouvrage d'art en identifiant, en décrivant et en analysant les impacts du projet en phase de chantier en phase de chantier et en phase d'exploitation du projet.

PARTIE I : ETUDE ET CALCUL DETAILLÉ DE L'HOUDIS

CHAPITRE I:PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET GENERALITES SUR LES PONTS

Le présent chapitre a pour objet de présenter l'entreprise d'accueil dans laquelle nous avons mené notre étude, ensuite de définir le contexte et la justification du projet sur lequel porte notre étude et nous allons succinctement définir les généralités sur le pont pour permettre de définir et appréhender les termes et concepts relatifs à notre étude.

I- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1- Razel-Bec

La société RAZEL-Bec est présente sur le continent africain depuis 1948. Évoluant dans le secteur des travaux publics, sa notoriété est solide grâce à la confiance de ses partenaires depuis près de soixante-cinq ans. Elle intervient principalement dans les domaines d'adduction d'eau & vrd, génie civil, travaux publics & travaux de terrassement.

Filiale du groupe FAYAT plus présent dans le domaine du BTP, il a réalisé en 2013 un chiffre d'affaire de 815 millions d'Euros. La synergie avec les filiales du groupe FAYAT permet à RAZEL-BEC de proposer une offre globale d'être à la hauteur des projets les plus ambitieux.

2- Les activités de l'entreprise

RAZEL réalise des travaux de génie civil, des travaux de VRD à Douala et à Yaoundé. RAZEL au Cameroun, c'est aussi la réhabilitation de nombreux ouvrages de génie civil vétustes, secteur dans lequel il se positionne depuis 5ans. Par ailleurs c'est le premier fournisseur de granulat du secteur formel de la construction au Cameroun, avec trois installations de production respectivement à Yaoundé, Douala et Dschang. Les activités de l'entreprise considérablement augmenté, ceci bien sûr grâce à son expertise technique et contractuelle des marchés routiers. On peut ainsi présenter quelques des marchés sur lesquels RAZEL s'est positionné ces trois dernières années :

➤ Le terrassement

- **Terrassement : Port en eau profonde de Kribi.**

Dans le cadre de la réalisation du port en eau profonde de Kribi, RAZEL a été sollicité pour réaliser les terrassements préliminaires de la plate-forme devant accueillir les futures installations portuaires.

- Sur une emprise de 40 mètres de large, RAZEL réalise pour la **SNH** (société nationale des hydrocarbures) **une voie d'accès au centre de traitement du gaz** entre la route nationale Edéa- Kribi et la plateforme devant recevoir le gazoduc dans le village de **BIPAGA1**.

➤ *La route*

- **Route NANDEKE MBERE :**

Cette route dont RAZEL est mandataire, est un projet de 72 km de route reliant la ville de NANDEKE à MBERE sur le plateau de l'Adamaoua au Cameroun.

- **Route Garoua BOULAÏ NANDEKE :**

Le projet confié au groupement RAZET et DTP, se situe dans le département du MBERE, hormis les travaux routiers, RAZEL réalise aussi quatre ponts et notamment celui de **LOM** long de 130 mètres.

➤ *Les VRD*

- **Boulevard des Nations Unies :**

Réhabilitation d'une portion du boulevard des nations unies sur 620 mètres de long. Ce chantier est situé au cœur du quartier New BELL de Douala.

- **Travaux de bitumage de la route NSAM-OBOBO-NKOLNGUIE :**

Dans le cadre de l'amélioration de la mobilité dans la ville de Yaoundé, RAZEL réalise des travaux de bitumage de la route NSAM-OBOBOGO-NKOLNGUIE longue de 2,6 km.

- **Voie de contournement pour la SCDP :**

Ce programme rentre dans le cadre de la sécurisation du dépôt pétrolier de Yaoundé situé dans le quartier NSAM. Les travaux consistent en la construction de la voie de contournement du dépôt pétrolier de la SCDP. Cette voie à une longueur de 1,8 km.

➤ *Les carrières*

- **La carrière du chantier RGBN (Route Garoua-Boulai-Nandéké) :**

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Dana est le site choisi pour l'implantation de la carrière dédiée au projet RGBN, elle s'étend sur une superficie de plus de 50 hectares et elle située à 20 km de Nandéké.

- La carrière de Nkometou :

Elle est exploitée depuis 1998, est situé à 22 km de Yaoundé ce site de roche massive s'étend sur 15 hectares. La carrière alimente la capitale en granulat de classe 0/5, 5/16 et 16/25 pour la fabrication de produit béton qui représente 80% de la production. Environ 15% de la classe 0/31,5 sont consacrés aux produits routiers, 5% à la fourniture de ballast pour la société ferroviaire CAMRAIL.

- La carrière de Logbadjeck :

Situé sur l'axe lourd Douala-Yaoundé à une quarantaine de kilomètre de Douala, le site de Logbadjeck occupe une position stratégique puisqu'il alimente les chantiers de RAZEL à Douala et à Kribi.

-la carrière du chantier RBN (route batchenga -Ntui avec la construction du pont sur la Sanaga). Situé dans le département du MBAM et Kim elle a usage exclusif du chantier de RBN

Le tableau suivant présente succinctement cette entreprise.

Tableau 1: presentation de l'entreprise Razel

Enterprise	RAZEL Cameroun
Adresse	BP : 11306 Yaoundé, Rue de l'indépendance-Immeuble STAMATADES. Site Internet : www.razel-bec.com
Secteur d'activité	Bâtiments et travaux publics
Année de création	1948
Statut juridique	Société Anonyme
Situation financière	Capital: 100 000 000 FCFA
	Chiffre d'affaires: non déclaré
Effectifs	1400 Employés
Principaux sites d'activités	Yaoundé, Douala, Bagangté, Kribi
Concurrents	SOGEA SATOM, Matière, SIX International, DTP Terrassement, BUNS, ARAB CONTRACTOR, ANDRADE.

II- CONTEXTE DU PROJET ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE

Le bassin agricole du Mbam-Sanaga représente un fort potentiel de production, notamment pour le cacao, le maïs, le palmier à huile, le plantain et le manioc. Il bénéficie aussi d'un réseau important d'établissements de micro-finances. Cependant, ces opportunités restent peu développées car les conditions actuelles d'accès et de circulation des biens et des personnes dans cette zone sont encore très limitées. La traversée du fleuve Sanaga, notamment, s'effectue aujourd'hui par bac. Celui-ci est régulièrement en panne et il est alors nécessaire de parcourir 200 km supplémentaire. L'amélioration du niveau et de la qualité de service sur cet axe permettra de mettre en valeur ces potentialités en créant un important corridor d'échange nord-sud desservant directement, ou à travers un réseau de pistes qui se greffent sur la route, nombre de villes, localités et villages. Le projet permettra donc une dynamisation de l'activité agricole et une évolution des modes de production.

DESCRIPTIF :

Le projet comprend :

- 595 KM de voirie
- Un pont de 400 m sur la Sanaga
- 50 KM de piste rurales
- La fourniture de kits de transformation agricole.
- La réhabilitation de 3 centres d'insertion professionnelle.
- Des infrastructures.

IMPACTS

- Exploiter les potentialités du bassin agricole du Mbam-Sanaga
- Contribuer au désenclavement et à la croissance économique des régions du centre et de l'Adamaoua.
- Améliorer la continuité de la chaîne de transport en direction Nord et Tchad

1- Justification du projet

Les principaux enjeux sociaux et économiques de ce projet sont associés à l'amélioration de l'économie à travers la facilitation du transport et de la fluidité de la circulation, à la valorisation des activités agricoles, à la sécurité des usagers du pont. Le projet permettra de relier les villes de NGAOUNDÉRÉ et celles du grand Nord à la ville du centre, facilitera aussi le transport des marchandises du point de transit en projet au centre vers le NORD-CAMEROUN et le TCHAD. Le projet permettra toutefois d'améliorer par des activités induites, les conditions de vie pour une forte proportion des résidences situées en bordure de la route actuelle.

2- Choix du type d'ouvrage

Les ouvrages mixtes à poutres sont des ouvrages très répandus qui peuvent être projetés dans des situations très diverses : milieu urbain ou rural ; portée principale de 30 m à 130 m ; longueur totale de quelques dizaines de mètres à plus d'un kilomètre ; largeur totale de 7-8 mètres à une vingtaine de mètres ; ouvrage standard très économique ou ouvrage plus sophistiqué

3- Données fonctionnelles et géométrie de l'ouvrage

➤ Tracé en plan

L'ouvrage est rectiligne en plan. Les axes d'appuis sont rayonnants. Il supporte 2 voies de circulation. De la culée C0 à la culée C7, les portées développées à l'axe de l'ouvrage sont de 42,5m – 2 x 60m – 75m – 2 x 60m – 42,5m. Des abouts de 0.7 m sont présents de part et d'autre de C0 et C7, soit une longueur totale de 401.4m de charpente métallique.

➤ Profil en long

L'ouvrage est en pente constante descendante de 0,7% de C0 vers C7

➤ Profil fonctionnel

Le profil en travers du pont est à dévers en toit de 2,5%. Le tablier, symétrique par rapport à l'axe de l'ouvrage, a une largeur utile de 11.46 m et est composé de :

- 02 trottoirs de 1,25 m de largeur;
- 02 voies de circulation de 3,5 m chacune;

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

- 02 GBA de 0,48 m de largeur.

De chaque côté du tablier est placé un dispositif de retenue de type S8, un dispositif de retenue GBA et une corniche béton préfabriquée. La largeur totale du tablier est de 11,96m.

L'entraxe entre les poutres principales est de 6,4 m

➤ Ouvrage à construire

L'ouvrage à construire est un bipoutre mixte de longueur développée à l'axe de 400 m.

➤ Éléments graphiques

On donne ci-dessous quelques éléments graphiques, en partie issus des plans d'avant-projet. Ces éléments donnent les cotes fonctionnelles des ouvrages uniquement.

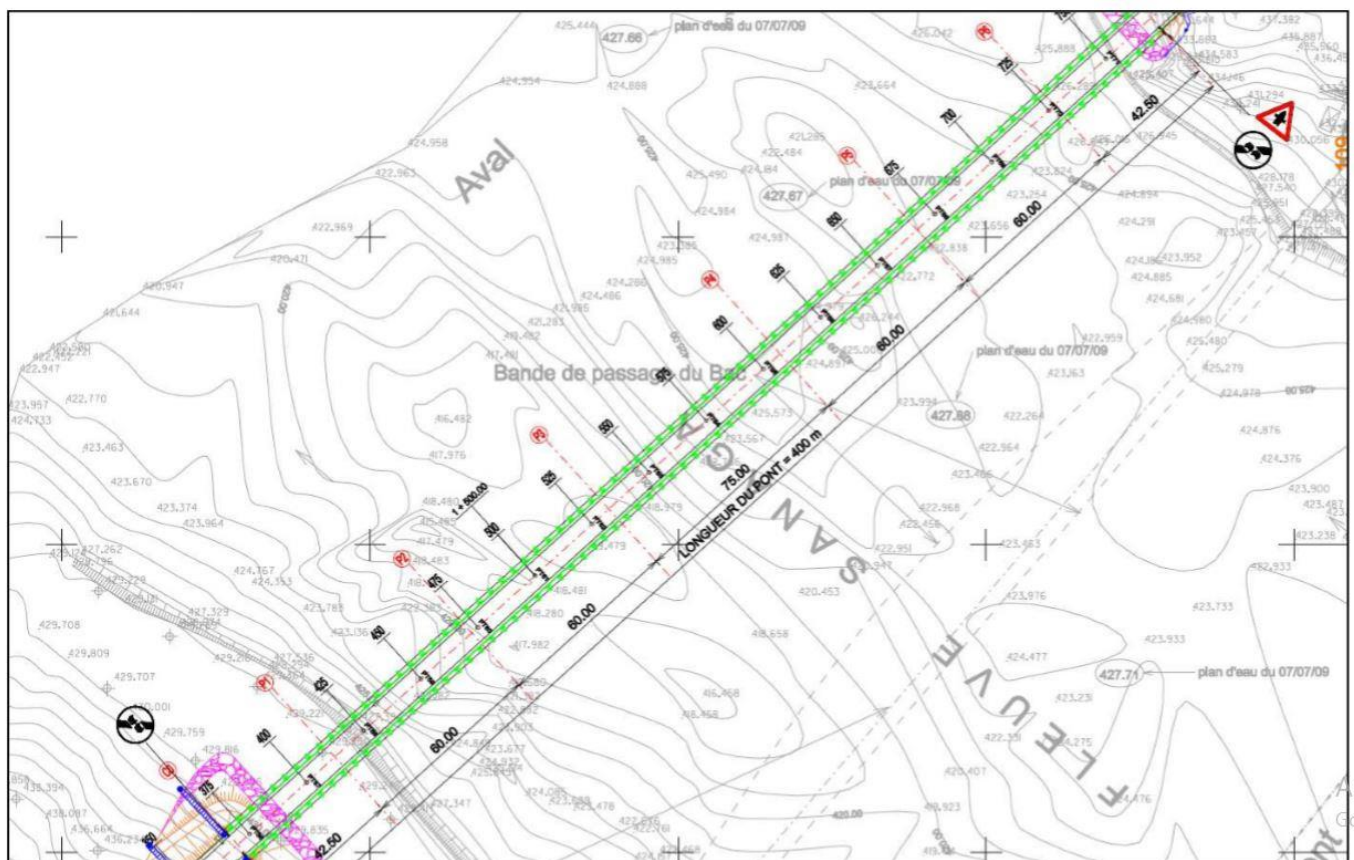


Figure 1 : vue en plan du projet

➤ **Morphologie transversale de l'hourdis**

La dalle d'un bipoutre à entretoises présente une épaisseur constante dans le sens longitudinal et le plus souvent variable dans le sens transversal (en général entre 24 et 50 cm). Elle est exécutée en béton armé lorsque sa largeur est inférieure à une quinzaine de mètres. Elle est solidaire de la charpente métallique grâce à des connecteurs soudés sur la semelle supérieure des deux poutres principales. Elle est exécutée après mise en place de la charpente, soit par coulage en place, soit par assemblage d'éléments préfabriqués sur chantier ou en usine. La très grande majorité des ouvrages mixtes à poutres sont du type « bipoutre à entretoises ». Leur tablier est composé d'une dalle en béton, en général simplement armée, et d'une charpente métallique constituée de deux poutres principales connectées à la dalle et reliées par des poutres secondaires appelées « entretoises », ne présentant aucun contact avec la dalle.

Dans notre cas, la voie portée porte un profil en toit symétrique selon la continuité de la route, donc nous aurons les deux poutres métalliques identiques et situées aux mêmes altitudes

➤ **Morphologie longitudinale.**

Les ouvrages mixtes, et notamment les ouvrages à poutres, présentent une très grande souplesse vis-à-vis de la distribution des travées. Pour un ouvrage de grande longueur franchissant une brèche naturelle sans contrainte particulière, le rapport entre portée des travées de rive et portée des travées courantes peut atteindre 0,8, ce qui permet – pour un nombre d'appuis donné – de limiter la portée maximale de l'ouvrage.

4- RECONNAISSANCE GÉNÉRALE DU SITE

La reconnaissance générale du site passe par la recherche documentaire dans le but de connaître d'une part les caractéristiques physiques générales du site (situation géographique, relief, climat, géologie, hydrologie) et, d'autre part, ses caractéristiques socioéconomiques (démographie et activités socioéconomiques).

a) **Visite du site**

La visite du site se déroulera en deux étapes à savoir les observations complétées d'une interview.

- LES OBSERVATIONS

Il sera question ici de faire des observations dans le but de comprendre l'environnement du projet, observer ce qui est fait et ce qui reste à faire, prendre connaissance des difficultés et contraintes apparentes du projet.

- LES INTERVIEWS

Il s'agit d'une entrevue avec le personnel sur le site ayant assisté aux premières phases de réalisation du pont, il s'agit notamment des les fondations et des appuis (culées et appuis). Ceci c'est dans le but de comprendre l'environnement de travail.

b) Collecte des données.

Il sera question d'entrer en possession des données nécessaires pour la compréhension et la résolution de notre problématique. Les informations à collecter sont entre autres les données géométriques, topographiques et les données relatives aux matériaux.

- Les données géométriques

Les données géométriques renseignent sur la morphologie de l'ouvrage en donnant les informations sur la longueur du tablier et la largeur de la chaussée.

- les données topographiques

Les données topographiques renseignent sur le profil en long, le tracé en plan et le profil en travers du pont.

- Données relatives aux matériaux

Pour ce qui est des données relatives aux matériaux, elles concernent le poids volumique du béton armé, la résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours, la limite d'élasticité des aciers de la charpente métallique, des armatures de la dalle, la résistance moyenne à la traction du béton, la résistance ultime a la traction du goujon, les coefficients partiels de sécurité de la charpente, des armatures, du béton et enfin la limite d'élasticité des poutres et des connecteurs.

5- Définition du Mode de mise en œuvre de l'hourdis

a) Mode de réalisation

Le mode de réalisation du tablier envisagé sera la suivant le suivant :

Mise en place de la charpente métallique des tabliers par lancement depuis la plateforme d'assemblage. Hourdis préfabriqués et mis en place par la méthode des dalles poussées, avec poussage des 2 côtés de l'ouvrage ; le hourdis poussé comprenant également les encorbellements. Le clavage des dalles préfabriquées est réalisé après poussage complète des dalles, de C0 vers C7. Réalisation des superstructures, chaussées et équipements. Mise en service

Le phasage de la mise en place des dalles poussée est détaillé au chapitre III.

Le calcul de l'hourdis de sera effectué suivant le fascicule 61.

- Durée de vie

Les durées de vie, de service et d'utilisation de l'ouvrage sont fixées à 100 ans.

- Sismicité

Nous ne tiendrons pas de l'analyse sismique pour cet ouvrage.

b) Fonctionnement mécanique

Les ouvrages mixtes comportent une dalle en béton armé ou précontraint et une charpente métallique, reliées par des connecteurs. Ces derniers empêchent tout mouvement relatif du dessous de la dalle par rapport au-dessus de la charpente et imposent l'identité des déformations de la fibre inférieure de la dalle et de la fibre supérieure de la charpente métallique.

Dans les zones de moments positifs, le centre de gravité de la section mixte étant situé assez haut, la dalle est comprimée et la charpente métallique majoritairement tendue. Il en résulte un fonctionnement très économique, chaque matériau étant sollicité selon ses résistances préférentielles. Par contre, dans les zones de moments négatifs, le béton de la dalle est fortement tendu donc considéré comme non participant. Les efforts ne sont alors repris que par les aciers passifs longitudinaux de la dalle et par la charpente métallique, la partie inférieure de cette dernière étant fortement comprimée donc soumise à des risques d'instabilité. Il en résulte une moins bonne

utilisation du potentiel des matériaux constituant la section et, en général, la nécessité d'augmenter les sections d'acier de la charpente métallique.

III- GENERALITES SUR LES PONTS MIXTES

La conception et la réalisation d'un passage routier (voie ferrée ou route) est très souvent conditionnée par deux types d'obstacles :

- Naturel (brèche, cours d'eau)
- Artificiel (route, voie ferrée, canal)

On a des solutions qui s'offrent à nous pour assurer la continuité de l'ouvrage :

- L'élimination de l'obstacle (obturer une brèche, détourner un cours d'eau).
- Conserver l'obstacle mais on réalise (un tunnel au-dessous, faire une déviation, ou un pont au-dessus)

1 – historique sur les ponts

Pendant de longs siècles, les gens les franchirent grâce à des gués ou à des bacs, même si cela rallongeait souvent leur chemin. Les ponts étaient rares car leur construction était tout un art et d'une grande difficulté [9].

Les premiers ponts consistaient en de simples troncs d'arbres abattus et jetés entre les deux rives de la rivière, puis arrivèrent les pontons et les ponts en corde essentiellement en Amérique et Asie (ce qui éveilla d'ailleurs la curiosité des Européens).

Ces ponts en corde se rencontraient encore assez fréquemment au siècle dernier.

Mais les maîtres incontestables en la matière furent les Romains (env. 600 ans avant J-C), qui construisirent des ponts de bois soutenus par des piliers, puis utilisèrent la maçonnerie (taille de pierre).

Après la chute de l'Empire Romain, il resta en Europe de nombreux ponts en arcs, en pierres massives, témoignant de l'habileté des Romains.

Mais pendant des siècles, personne ne poursuivit leur ouvrage et cet art se perdit.

Ce n'est que beaucoup plus tard que l'Eglise s'y intéressa. L'histoire des ponts modernes commença avec le remplacement des arcs en demi-cercles par des formes elliptiques (pont de la Concorde à Paris). Cette nouvelle forme autorisait une portée beaucoup plus grande des arcs de ponts [13].

Avec l'invention de l'acier au XVIII^e siècle, le bois et la pierre ne constituaient plus les seuls matériaux, et les premiers ponts métalliques apparurent. Les ponts d'acier devinrent le symbole de la modernité et certains devinrent même de réels chefs-d'œuvre de leur époque

2- définition et différentes parties d'un pont

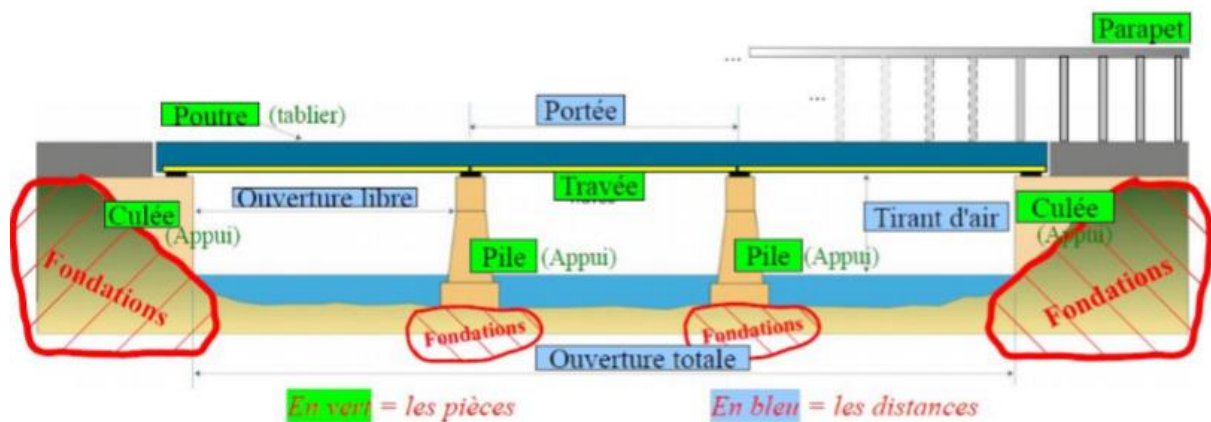


Figure 2: parties d'un pont [8]

a) Composition de l'infrastructure

➤ Les fondations

Les efforts de toute nature agissant sur l'ouvrage se trouvent reportés sur les poutres qui les transmettent aux appuis constitués par les piles et les culées qui, elles, à leur tour ont pour mission de les reporter au sol par l'intermédiaire des fondations. [2]

On a trois types des fondations :

- des fondations superficielles (semelles et radiers)
- des fondations semi-profondes (puits)
- des fondations profondes (pieux)

➤ **Les appuis**

Il existe deux types d'appuis: les appuis de rive ou culées (culées noyées ou culées massives) et les appuis intermédiaires ou piles (piles constituées de colonnes ou piles constituées de voiles).

Les piles et les culées dépendent de deux éléments qu'elles unissent: le sol et le tablier. Elles doivent : donc être conçues au mieux, en tenant compte de ces facteurs.

En plus de leur rôle de support des extrémités des ouvrages d'art, les culées doivent souvent soutenir les terres des ouvrages d'accès. Selon la nature des sols, le niveau d'appui sera proche de la surface (fondations superficielles) ou à grande profondeur (fondations profondes).

b) Composition de la superstructure

➤ **Le tablier**

Le tablier est une partie de l'ouvrage supportant la chaussée (ou la voie ferrée) au-dessus de la brèche à franchir. Une dalle, des entretoises et parfois des longerons sont associées aux poutres pour former le tablier [10].

- **Dalle** : La dalle ou hourdis sert d'élément de couverture; c'est elle qui reçoit la couche de roulement de la chaussée et les surcharges des véhicules. Outre celui de couverture, le rôle de la dalle est de reporter les charges permanentes et les surcharges sur les poutres, les longerons et les entretoises.
- **Entretoises** : Les entretoises sont perpendiculaires aux poutres qu'elles relient entre elles (sauf dans les ponts biais où elles sont parallèles aux appuis).

Elles ont un double rôle: celui de contreventement transversal s'opposant au déversement des poutres et celui de solidarisation, en répartissant les surcharges et le poids propre sur les poutres.

- **Longerons** : Les longerons, essentiellement utilisés dans les ponts métalliques, sont disposés parallèlement à l'axe longitudinal de l'ouvrage et relient entre elles les différentes entretoises.
- **Poutres principales** : Les efforts dus au poids propre (de la dalle, des longerons et des entretoises) et aux surcharges sont transmis aux poutres qui les reportent sur les appuis [10]

On distingue les poutres latérales ou poutre de rive ou, encore, poutres principales et les poutres sous chaussée, poutres sensiblement identiques, réparties de façon uniforme sous le tablier.

- **Contreventement** : Le contreventement est constitué par une poutraison croisée horizontale entre poutres latérales, le tout destiné à assurer la stabilité du tablier sous les efforts du vent
- **les accessoires de la superstructure** : Ils sont constitués par tous les éléments du tablier qui n'interviennent pas dans la résistance mécanique de l'ouvrage. C'est du poids mort qu'il faut supporter en permanence. Ce sont :
 - La chaussée
 - Les gargouilles
 - Les trottoirs
 - Les dispositifs de sécurité (garde-corps, glissières et barrières de sécurité)
 - Les corniches
 - Les joints de chaussée
 - Les lampadaires...

NB : Sous l'effet des différences de température, ou sous l'application des surcharges, les tabliers se déplacent par rapport aux piles et aux culées. Il est donc nécessaire d'interposer entre eux des dispositifs permettant ces mouvements: ce sont les appareils d'appui. Ils sont fixes ou mobiles et sont fabriqués en élastomère, en béton, en métal ou en matériaux spéciaux et très souvent en néoprène.

3- Classification des ponts

Les ponts sont de différents types et on peut les classer de plusieurs points de vue

a) Classification suivant le fonctionnement mécanique [10]

Selon cette classification, on distingue les caractéristiques suivantes :

- Les ponts à poutres

Dont les réactions ne comportent que des composantes verticales; On trouve dans cette catégorie les ponts à poutres sous chaussée, les ponts à poutres latérales, les ponts dalle, les ponts en caisson, etc.

- Les ponts en arc

Ce sont tous les ponts dont les réactions d'appui comportent une composante horizontale. On classe dans cette catégorie les ponts en arc, les ponts à béquilles obliques ou droites, les portiques ouverts et les cadres fermés ;

- Les ponts à câbles

Ce sont tous les ponts portés par des câbles. Les charges verticales produisent des réactions inclinées divergentes. Dans cette catégorie, figurent les ponts à haubans et les ponts suspendus.

b) Classification suivant la destination des voies supportées [10]

Suivant ce critère, on distingue les types de ponts suivants :

- **Les ponts routes** : ce sont les ponts qui portent une route lui permettant ainsi de franchir un obstacle ;
- **Les ponts rails** : ce sont des ponts qui portent un chemin de fer qui lui permet de franchir un obstacle ;
- **Les ponts rails / routes** : ce sont les ponts qui portent une route et un chemin de fer à la fois ;
- **Les passerelles** : ce sont des ouvrages réservés uniquement à la circulation des piétons ;
- **Les ouvrages hydrauliques** : ce sont des ouvrages destinés à faire passer un cours d'eau.

c) Classification selon la position de l'axe en plan

Suivant ce critère, on distingue les ponts suivants :

- **Ponts droits** : ce sont des ponts dont les lignes d'appuis font un angle droit avec l'axe du pont ;
- **Ponts biais** : ce sont les ponts dont les lignes d'appuis font un angle (différents de l'angle droit) avec l'axe du pont. Il faut limiter dans la mesure du possible l'angle de biais, il ne doit pas trop s'éloigner de l'angle droit ;
- **Ponts courbes** : ce sont les ponts dont l'axe présente une courbure.

d) Classification suivant la durée de vie

Suivant la durée de vie on distingue :

- Les ponts définitifs

Ils sont construits pour une durée de vie égale à celle du matériau, et tant qu'ils pourront supporter les charges accrues des véhicules.

- Les ponts semi définitifs

Ce sont les ponts ayant, en général, l'infrastructure définitive et la superstructure provisoire ;

Ils s'exécutent soit pour des raisons d'économie, soit quand on ne peut procurer, en temps utile, la superstructure définitive ;

- Les provisoires

Ils sont construits pour une durée relativement courte et sont utilisés soit pour le rétablissement rapide de la circulation, dans le cas de la déstructuration d'un pont définitif, soit pour assurer la circulation, pendant la construction ou la réparation d'un pont définitif.

e) Classification suivant la mobilité

On distingue :

- Les ponts fixes
- Les ponts mobiles :

Qui s'exécutent quand il est nécessaire d'augmenter temporairement le tirant d'air, pour le passage des vaisseaux. Ils sont de trois sortes :

- Les ponts levants : dont le tablier est mobile en hauteur
- Les ponts tournants dont le tablier est monté sur pivot, permettant de la faire tourner horizontalement.
- Les ponts basculants

f) Classification suivant la continuité de la superstructure [10]

Ponts à poutres indépendantes où la superstructure est interrompue au-dessus des piles.

Ponts à poutres cantilevers où la superstructure est interrompue entre les piles.

Ponts à poutres continues où la superstructure n'a pas d'interruption. La liste n'est pas exhaustive car on trouve aussi d'autres critères de classification tels que le mode d'exécution, la position des voies supportées, etc.

4- Présentation des ponts mixtes

Un pont mixte acier/béton comporte des éléments structuraux en acier et en béton armé ou précontraint, dont la particularité réside dans le fait de faire fonctionner ces matériaux selon leurs aptitudes optimales, notamment en compression pour le béton et en traction pour l'acier. Ses éléments présentent une solidarisation entre eux, sous forme de liaisons mécaniques de façon à créer un ensemble monolithique.

Toute fois les ouvrages composés uniquement de béton armé ou précontraint, malgré l'acier qu'ils possèdent ne sont pas considéré comme des ponts mixtes.

5- Les différents types de ponts mixtes

Le choix du type de pont mixte est fait selon la portée à laquelle on a à faire

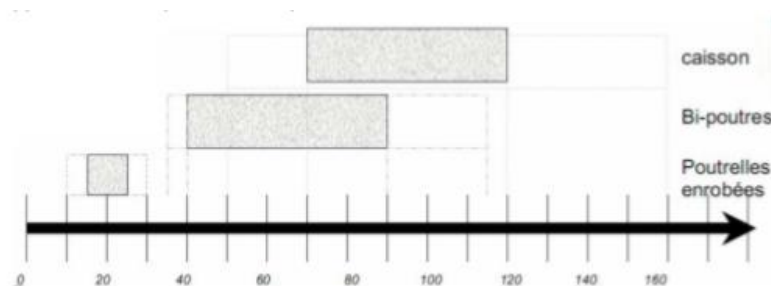


Figure 3 : choix du type de pont mixte. [10]

a) Ponts mixte de type bipoutres

Les ponts mixtes bipoutres sont les ponts standards. C'est ce type de pont que l'on rencontre le plus souvent car ils ont une construction facile et fiable. Pour les ponts mixtes bipoutres, les portées sont inférieures à 100 - 120 m.



Figure 4 : exemple de pont bipoutre (en construction)

b) Ponts mixtes en caisson

Les ouvrages mixtes de type caisson sont beaucoup plus rares que les ouvrages à poutres. En effet, ils sont plus complexes et donc plus coûteux à réaliser et à entretenir. Toutefois ils peuvent être adoptés pour des considérations esthétiques ou par rapport à l'espace disponible pour la réalisation des appuis.

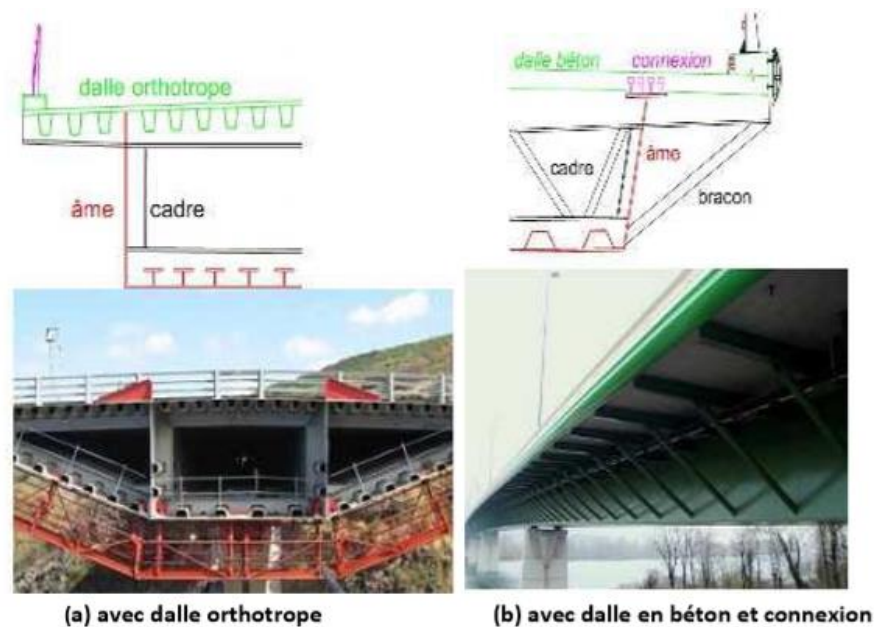


Figure 5 : exemple de pont mixte en caisson

c) Les ponts mixte de type poutrelles enrobées

Le pont mixte illustré à la FIGURE 1.9 est de type poutrelles enrobées. Le tablier de ce pont est constitué de poutres en acier laminées partiellement ou totalement enrobées. L'avantage de ce dimensionnement est de ne pas faire appel à un étaieement provisoire durant sa mise en œuvre, ce qui est très intéressant lorsqu'il est difficile d'interrompre les voies de circulation comme les voies ferrées. Un autre avantage est la robustesse élevée de ce type de structures. Les grandes quantités d'acier et de béton, nécessaires pour sa construction, n'en font pas une solution optimisée sur le plan économique et environnemental

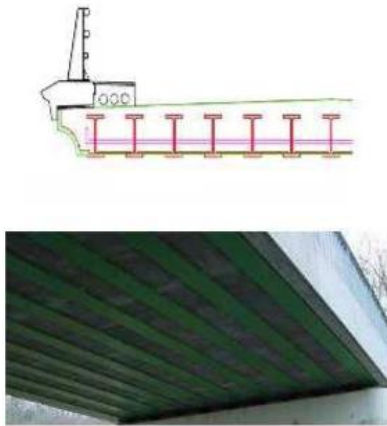


Figure 6 : pont type poutrelles enrobées

6- Procédés de mise en œuvre des dalles de pont bipoutre.

Les techniques d'exécution des dalles de ponts mixte se regroupent en deux grandes familles :

Le coulage en place et la préfabrication.

Le coulage en place est une méthode qui présente de très nombreux avantages. Il minimise en effet le nombre de joints dans la dalle, permet de corriger les imperfections géométriques de la charpente et optimise le tonnage de ferrailage de la dalle et la consommation d'acier de charpente.

D'autre part La préfabrication présente également des avantages :

- Elle réduit les effets du retrait qui participent pour beaucoup à la fissuration de la dalle
- Elle permet une exécution rapide de la dalle

Et présente également des inconvénients tels que :

- La multiplication des clavages qui sont des zones de fragilité
- La pose des éléments préfabriqués est souvent délicate
- Augmentation des ratios de ferrailage passif du fait des très nombreux clavages

1- Exécution de la dalle par équipage mobiles [10]

Le coulage en place avec des équipages mobiles consiste à construire la dalle in situ, par tronçons (ou plots) de 8 à 20 m de longueur, à l'aide d'outils circulant sur la charpente métallique.

La dalle de la grande majorité des ponts mixtes est construite avec cette méthode car cette dernière est bien adaptée aux ouvrages comportant une charpente simple comme les bipoutres à entretoises, de loin les plus nombreux.

Un équipage mobile est une structure provisoire composée d'une charpente métallique et de plateaux coffrant reposant sur l'ossature du tablier. Lorsqu'il y a lieu de coffrer avec cet outil la partie située entre les semelles supérieures de la charpente, par exemple parce que l'utilisation de coffrages perdus n'est pas souhaitable, on utilise un équipage complet à trois plateaux coffrant, un pour la partie centrale et un pour chaque encorbellement. Lorsque, au contraire, il n'est pas nécessaire de coffrer avec l'équipage cette partie, par exemple parce que celle-ci est coffrée par une prédalle ou la tôle supérieure d'un caisson fermé, on utilise un équipage mobile partiel ne coffrant que les parties en encorbellements de la dalle et ne comprenant donc que deux plateaux coffrant latéraux.

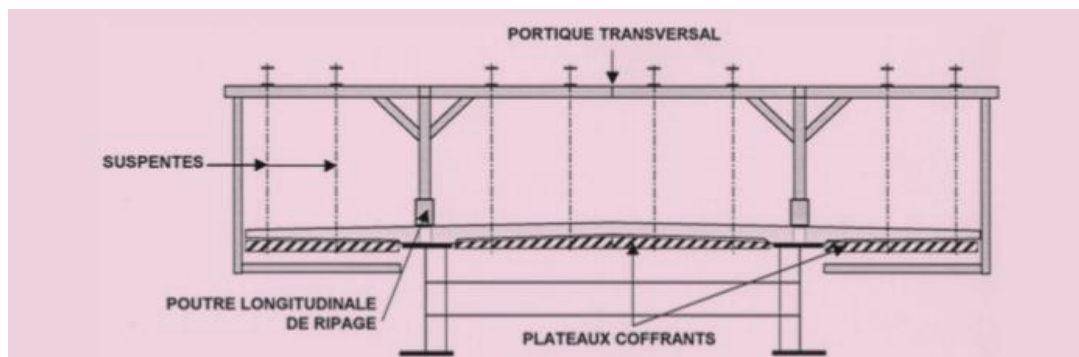


Figure 7 : exemple d'éléments de coffrage mobile [8]

2- Exécution de la dalle par préfabrication

La construction de la dalle par préfabrication consiste à construire – en usine ou sur une aire proche des culées – des tronçons de dalle de 2,5 à 4 m de longueur, en pleine épaisseur, à poser ces éléments sur la charpente et, enfin, à bétonner en place les joints de clavage prévus entre eux.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Moins répandue que la construction par équipages mobiles, la préfabrication présente des avantages constructifs qui la rendent très pertinente sur les ouvrages :

- comportant une charpente ou une géométrie complexe (bipoutres ou caissons à pièces de pont, largeur variable, biais, etc.
- dont le délai d'exécution est très réduit ;
- dont les conditions de site sont délicates (zones de gel sévère, chantiers très éloignés de centrales à béton, franchissement de voies circulées, etc.

Toutefois la préfabrication de la dalle nécessite un très grand soin tant dans la conception que dans la construction.

En ce qui est de la pose des éléments préfabriqués, Les éléments de dalle préfabriqués sont en général posés à l'avancement, soit pour faciliter la circulation de l'engin les positionnant sur la charpente, soit pour optimiser le bétonnage des clavages. Lorsque le tablier de l'ouvrage se situe près du terrain naturel et d'une voie circulaire, les éléments préfabriqués peuvent être posés avec une grue mobile située à côté du tablier en cours de construction.



Figure 8: exemple de dalle de tablier préfabriqué [8]

3- Autres méthodes d'exécution de la dalle

En dehors des méthodes de préfabrication des dalles de tablier ou de coulage sur place, il existe d'autres méthodes qui ne sont pas très populaires.

Il existe dont le coulage en place avec des coffrages perdus ; le coulage avec prédalles collaborantes et nous avons le coulage en place sur coffrage traditionnels et nous avons enfin la mise en place par poussage de plots coulés derrière une culée [10].

Mise en place par poussage de plots coulés derrière une culée.

Au début des années 1990, une entreprise française de génie civil a développé et breveté une méthode de construction de la dalle d'un pont mixte s'inspirant de la technique des ponts poussés en béton précontraint. Elle consiste à couler des tronçons de dalle derrière une culée sur un bâti métallique provisoire soudé ou boulonné à la charpente, puis à déplacer par vérinage horizontal l'ensemble des tronçons déjà construits. Entre 1990 et 2005, elle a été utilisée sur une dizaine d'ouvrages dont le viaduc de Varennes-lès-Mâcon et le viaduc de Brioude, sur l'Allier. Pendant cette période, compte tenu des conflits géométriques entre la dalle et les connecteurs mais aussi des problèmes de tolérances, les parties situées à l'aplomb des semelles supérieures des poutres n'étaient exécutées qu'après achèvement du poussage, ce qui imposait la mise en place dans la dalle, en construction, de gros profilés transversaux et, en service, d'une précontrainte transversale [8]

Depuis fin 2005, l'entreprise met en œuvre une nouvelle technique reprenant les mêmes grands principes mais permettant de supprimer la précontrainte transversale et les profilés de liaison. Utilisée notamment sur le pont en arc sur le Tech, à Vila, et sur le pont de la Route des Tamarins franchissant la ravine Bras Mouton à la Réunion [8]

Dans cette nouvelle technique, la connexion de la charpente au béton de remplissage du tunnel est assurée de façon classique par les goujons et celle de ce béton au reste de la dalle est effectuée par l'intermédiaire de clés de cisaillement multiples disposées de façon continue le long des faces sub-verticales du tunnel ainsi que par les poches de connexion qui font office d'ergots de blocage.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

La liaison entre la connexion et la dalle est complétée par un ferrailage mis en œuvre autour des connecteurs avant poussage de la dalle, noyé en fin de construction dans le béton auto plaçant.

Pendant la construction, la dalle est guidée, à l'arrière, grâce à un dispositif fixé sur le bâti métallique provisoire et, à l'avant, grâce à des petits profilés métalliques provisoires. Brelés sur la dalle, de part et d'autre de chaque semelle supérieure, ces profilés imposent à la dalle de suivre le tracé en plan des poutres principales

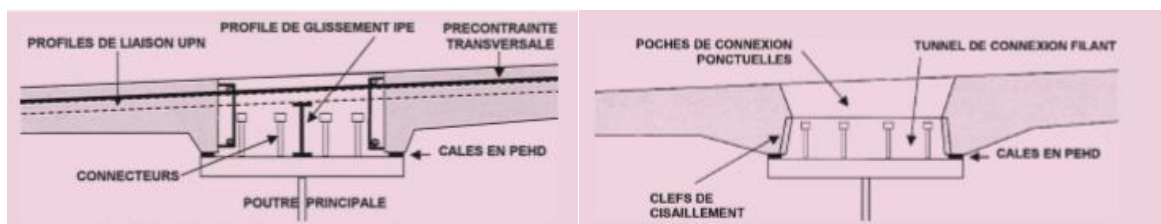


Figure 9 : exécution de la dalle par poussage avant 2005 et après 2005 [8]

Nous avons défini à ce chapitre les éléments nécessaires pour appréhender les rouages des ponts bipoutres en général et nous avons également défini les éléments pour la compréhension du contexte dans lequel notre étude sur la dalle du hourdis et ainsi que la procédure de mise en œuvre de ce dernier.

CHAPITRE II : METHOLOGIE

INTRODUCTION

Dimensionner le tablier d'un pont mixte acier-béton consiste à déterminer ses éléments géométriques et structuraux pour qu'il soit stable sous l'action des charges qui lui seront appliquées. Ressortir une méthodologie de ce travail c'est décrire les étapes à suivre pour arriver à un dimensionnement correct fait selon les règlements. Dans le cadre de ce travail, la méthodologie à suivre commence par la reconnaissance générale de la zone d'étude à travers ses caractéristiques physiques générales et socioéconomiques et, la visite du site axée sur les observations faites accompagnée d'une enquête. Après vient la collecte des données utiles pour le dimensionnement. La présentation des méthodes de dimensionnement du tablier du pont les règlements prescrits d'autre part vient compléter la méthodologie. Enfin, l'exploitation et l'adoption des résultats.

I- METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT DE L'HOUDIS DUN PONT MIXTE

La méthodologie de dimensionnement des ponts bipoutres à entretoise se compose de plusieurs étapes à savoir le pré-dimensionnement qui est selon le guide de conception durable des ponts mixte, l'application des charges selon le Fascicule 61 titre II, l'évaluation des charges à l'aide du logiciel AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2019 présenté en annexe 1 et enfin la vérification et le calcul des sections d'acier selon le Fascicule Spécial N°81-31, le Fascicule 61 titre V et le BAEl 91.

1- Pré-dimensionnement des éléments de la dalle et de la charpente.

Le pont mixte bipoutre de BATCHENGA servira à la traversé du fleuve SANAGA et est déployé sur 400 ml le long d'une route de 1x2 voies de 3,5 m de large chacune, et d'après les exigences, les résultats des études et calculs menés par la maitre d'œuvre dans le cadre de la conception dudit pont, nous avons à faire à un pont qui s'étend sur une longueur de 400 ml et une largeur de 11,96 m.

Le tablier composé de 2 voies de 3.5m et 2 trottoirs de 1.5m + contre corniche fait largeur totale de tablier est **L_T= 11,96 m**

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Le pré-dimensionnement nous a permis de caler les dimensions suivantes pour les calculs

Hauteurs des poutres métalliques : 2,6m

Entraxe entre les poutres : 6,4

Largeur semelle inférieure : 0,9 m

Largeur semelle supérieure : 0,8 m

Épaisseur de la dalle au droit des poutres : 0,5 m

Épaisseur de la dalle au centre de la dalle : 03 m

L'ouvrage projeté doit être apte à supporter les sollicitations induites par les charges et surcharges à savoir sont les charges permanentes et les charges d'exploitation

Les charges permanentes

Elles comprennent le poids propre des poutres et de la dalle pris en compte directement par le logiciel et le poids des superstructures tels que du revêtement, des trottoirs, des garde-corps, des glissières de sécurité les GBA, l'étanchéité.

- Les poutres métalliques
- Hourdis
- les superstructures
 - Chape d'étanchéité
 - La couche de roulement
 - Corniches préfabriqués
 - Les dispositifs de retenues et GBA

Les charges d'exploitation et surcharges [1]

L'évaluation des charges et surcharges passent par la définition de la largeur roulable, du nombre de voies et de la classe de l'ouvrage.

Les ponts routes sont rangés en 3 classes, en fonction de la largeur roulable et de leur destination.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Sont rangés en première classe tous les ponts supportant des chaussées de largeur roulable supérieure ou égale à 7 m, ou les ponts supportant des bretelles d'accès à de telles chaussées.

Sont rangés en deuxième classe les ponts supportant des chaussées à deux voies de largeur roulable comprise entre 5.50 m et 7 m valeurs imites exclues.

Sont rangés en troisième classe les ponts autres que ceux énumérés ci-dessus, supportant des chaussées à une ou deux voies de largeur roulable inférieure ou égale à 5.50 m.

Les surcharges routières prises en compte dans les calculs sont celles du fascicule 61 titre II (système A, système B, charges militaires, charges sur les trottoirs) complémentées par les charges d'un camion type grumier du modèle camerounais.

NB : Le détail de l'application de ces charges est en **annexe 1** du présent document

Définition des Combinaisons [1].

Selon le Fascicule 61 titre V, les relations suivantes donnent les combinaisons à l'ELU et à l'ELS.

$$\begin{cases} ELU : 1,35G + 1,5Q + 1,6x \text{ surcharges trottoir} + \delta x_{max} \left[\begin{matrix} 1,6A(l); 1,6B(BC, Bt, Br); \\ 1,35Mc120; 1,35Gr \end{matrix} \right] \\ ELS : G + Q + 1,2 \text{ surcharges trottoir} + \delta x_{max} [1,2A(l); 1,2B(Bc, Bt, Br); MC120; Gr] \end{cases}$$

2- Modélisation de la structure

Description Du logiciel ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL

Autodesk® Robot Structural Analysis Professional est un logiciel collaboratif, polyvalent et rapide. Conçu spécialement pour le BIM, le logiciel Robot Structural Analysis Professional est capable de calculer les modèles les plus complexes grâce à un maillage automatique par éléments finis d'une puissance exceptionnelle, des algorithmes non linéaires, ainsi qu'un jeu complet de normes de conception, le tout pour des résultats quasiment instantanés. Il permet aussi l'évaluation des sollicitations ainsi que le ferraillage d'une structure. Ce logiciel est aussi utilisé pour le dimensionnement de la structure selon les Euro codes. Son interface est présentée à la Figure suivante :

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

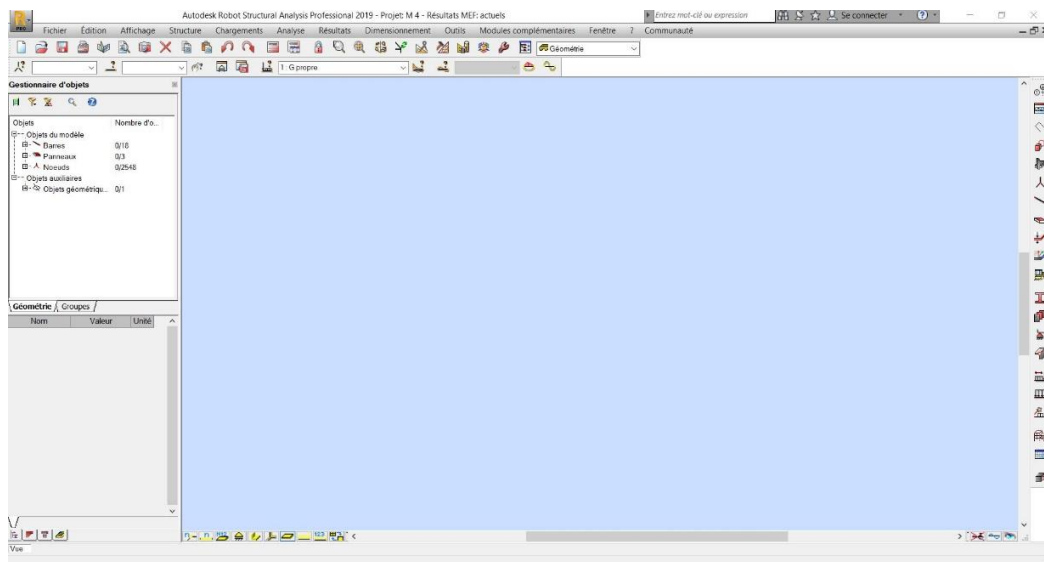


Figure 10 : interface du logiciel Robot.

Description du model de dimensionnement

À l'aide du LOGICIEL ROBT, nous avons modélisé une structure composée de deux poutre en PRS en S460M sur les repose une dalle en béton C35/40 sur une longueur de 200 m. nous avons une partie de la structure entière du pont suffisante pour prendre en compte les sollicitations les plus défavorables. Nous avons ainsi modélisé la structure passant par la travée principale du pont de 75 m et les deux autres travées de 60 m chacune.

Ces deux poutres en Acier S460 reposent sur des appuis simples et un appui double au début de la structure. La liaison entre les poutres et le hourdis en béton armée est assurée par des appuis simples linéaires tout le long de chacune des poutres.

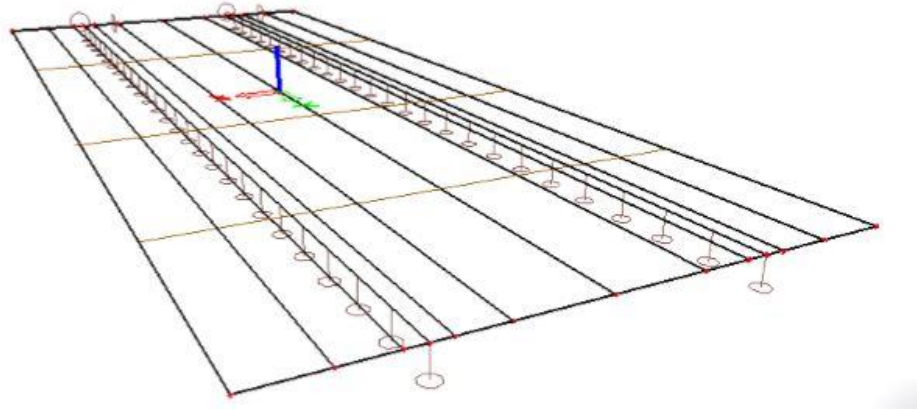


Figure 11 : illustration model 3D constitué par le hourdis et les liaisons linéaires simples

a) Application des charges sur le model

- Le poids propre

Le poids propre de l'hourdis et des poutres sont automatiquement pris en compte par le logiciel de calcul

Toutes fois les charges dues aux superstructures sont calculées et appliquées au modèle de façon à reproduire le plus proche possible la réalité du terrain

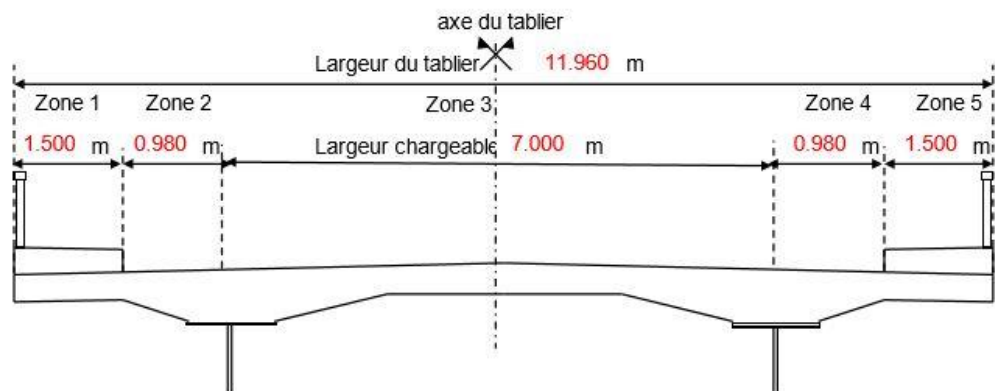


Figure 12 : application des superstructures dans le sens transversal

Le pont est de première classe

Nombre de voies de circulation $n=2$

Pour l'application des charges de superstructures, nous avons subdivisé le tablier en 05 zones :

- Zone 1 : Trottoir + GC type S8
- Zone 2 : GBA + bande neutralisée
- Zone 3 : Chaussée - largeur chargeable
- Zone 4 : GBA + bande neutralisée
- Zone 5 : Trottoir + GC type S8

Les charges à considérer sont celles du fascicule 61 titre II du CPC.

b) Application de la charge BC

On choisit le nombre et la disposition des convois de manière à produire l'effet le plus défavorable; tout en respectant le règlement suivant:

Dans le sens longitudinal, le nombre de camions est limité à 2 par file, orientés dans le même sens. La distance des 2 camions d'une même file est déterminée pour produire l'effet le plus défavorable et peut être nulle (minimum 4,5 m entre essieux des 2 camions). On peut considérer une partie d'un camion, l'autre partie étant sur la travée suivante ou sur le remblai d'accès, mais on ne peut couper un camion [1].

Dans le sens transversal, le nombre de files de camions, N_f , ne doit pas dépasser le nombre de voies, N_v , (c.à.d. $N_f \leq N_v$), même si cela est géométriquement possible. On ne peut pas couper une file de camion. De plus, une distance minimale de 0,25 m (Figure 3) est exigée entre l'axe de la file de roues la plus excentrée et le bord de:

- La largeur chargeable s'il s'agit du calcul des poutres principales.
- la largeur roulable s'il s'agit du calcul des autres éléments du tablier (hourdis, entretoises) [1].

c) Application de la charge Bt

Dans le sens longitudinal et transversal, le convoi Bt est appliqué comme suit :

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

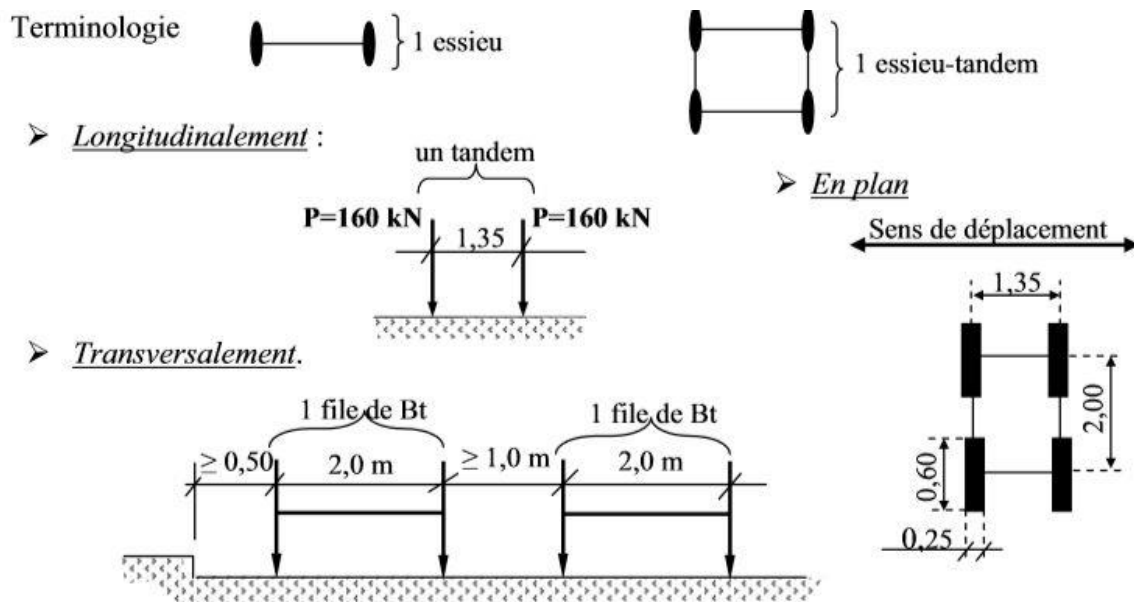


Figure 13 : application de la charge Bt [1].

Remarque :

Le système Bt ne s'applique pas au pont de la 3ème classe. Pour les ponts de la 1ère et de la 2ème classe, il convient de respecter les règlements suivants

- Dans le sens longitudinal, un seul tandem est disposé par file
- Dans le sens transversal, un seul tandem est supposé circuler sur les ponts à une voie. Alors que pour les ponts supportant deux voies ou plus, on ne peut placer que 2 tandems au plus sur la chaussée, côte à côte ou non, de manière à obtenir l'effet le plus défavorable. Une distance minimale de 0,50 m (Figure 4) est exigée entre l'axe de la file de roues la plus excentrée et le bord de :

- la largeur chargeable s'il s'agit du calcul des poutres principales.
- la largeur roulable s'il s'agit du calcul des autres éléments du tablier (le hourdis ou les entretoises).

d) Application du convoi MC120

Le convoi Mc 120 s'applique comme suit :

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

- Ce système est exclusif de toute autre charge routière, C'est à dire qu'on ne lui ajoute pas l'effet de la charge de trottoir, par exemple
- Dans le sens transversal, un seul convoi est supposé circuler quelle que soit la largeur de la chaussée. Les chenilles peuvent être disposées sur toute la largeur chargeable. Leur position est choisie de manière à obtenir l'effet le plus défavorable
- Dans le sens longitudinal, la distance entre deux véhicules successifs d'un convoi est au moins égale à 36,50 m entre les points de contact avec la chaussée

Nous avons ainsi défini le canevas de notre étude structurelle sur la dalle du tablier qui est allé du pré-dimensionnement à la modélisation de la structure dans le logiciel ROBOT ANALYSIS 2019. Cette modélisation passe par l'application des différentes charges sur le model, détaillé dans l'annexe 1 du document. Les résultats de cette modélisation seront exploités pour les calculs des section d'armatures des différentes parties de la dalle qui nécessitent une attention particulière au vue des sollicitation auxquelles elles seront soumises.

CHAPITRE III : RESULTATS ET APPLICATIONS

1- Introduction

L'ouvrage d'application sur lequel se base notre étude est le pont sur le fleuve SANAGA situé à NATCHIGAL. Il s'agit d'un pont bipoutre mixte acier-béton de 400 ml, qui supporte une chaussée en partie supérieure. Le présent chapitre a pour objet d'implémentation de la méthodologie présentée au chapitre 2. Pour cela il sera question de présenter d'entrée de jeu les caractéristiques des matériaux utilisés et ainsi que les hypothèses de calcul, et ensuite vient les résultats du dimensionnement de la dalle, qui passe par la descente de charge, ces résultats seront utilisés pour le calcul des armatures du tunnel, des armatures pour la flexion longitudinale et ceux pour la flexion transversale et enfin le calcul du joint de chaussée à mettre en œuvre sur l'ouvrage.

2- Matériau

➤ Aciers de charpente

Les caractéristiques de l'acier sont les suivants>

$$E_a = 210GPa$$

$$G = 81GPa$$

$$\rho = 7850kg/m^3$$

➤ Béton du tablier

On a retenu pour le hourdis des tabliers un béton C35/45 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 2 : caractéristiques du béton

Béton	Résistance caractéristique à la compression Fck	Résistance caractéristique à la traction Ft	Module instantané de déformation Ei, 28	Module différé de déformation Ev, 28
C35/45	35 MPA	2.70 MPA	35980 MPA	12100 MPA

3- Dimensionnement de la dalle

Évaluation de charges

L'évaluation des charges qui s'appliquent sur la dalle est détaillé en **annexe 1** du présent document.

4- Calcul de l'hourdis

Le but de cette partie est de déterminer les sections d'armatures à mettre en place au niveau de la dalle à l'aide des résultats obtenu après la modélisation du model de calcul dans le logiciel Robot Structural Analysis 2019

Le hourdis est sollicité dans les deux sens, le sens transversal et le sens longitudinal. Nous avons donc une étude des flexions longitudinale et transversale

Tableau 3 : récapitulatif de sollicitations

moment transversal		moment KNm/ml
ELS	Max	201.93
	Min	-148.76
	max	276.19
ELU	Min	
moment longitudinal		moment KNm/ml
ELS	fibre inferieure	34.32
	fibre supérieure	47.71
	fibre inferieure	32.76
ELU	fibre supérieure	63.87

Etant donné que le hourdis est coulé en deux phases, c'est à dire dans un premier temps le corps de l'hourdis est d'abord coulé pour le poussage avec la réservation du tunnel et des poches, et

ensuite le tunnel est coulé par la suite, cette partie constitue un point de faiblesse qu'il est important d'étudier.

En plus le tunnel constitue le point de liaison entre la charpente métallique et la dalle par le billet des goujons, cette partie est sujette à des sollicitations tel un le cisaillement due au glissement de l'hourdis au-dessus de la semelle du PRS.

Ce cisaillement est donc repris par les clés du tunnel d'une part et les poches de bétonnage du tunnel. Donc un ferrailage est alloué expressément à cette sollicitation.

Nous avons donc obtenu l'effort de résistance des clés du tunnel après calcul

$V_c = 44,58 \text{ t/ml}$ Est l'effort de résistance des deux parois des clés face glissement

Cet effort de résistance ne reprend qu'une partie de l'effort de glissement **G**

On a : **$G_{\max} = 91,3 \text{ t/ml}$** .

Pour ainsi dire que dans les zones où le glissement est important, on doit donc avoir :

$$G_{\max} = 91,3 \text{ t/ml} \leq V_G = 116,0 I_2 + 44,6$$

Donc pour reprendre cet effort de glissement Sur tous les plots, les poches auront pour dimensions **$0,655 \text{ m} \times 0,420 \text{ m}$** à l'interface/tunnel/poche.

NB : Les détails du calcul sont donnés en annexe 3 du document.

5- Vérification du non poinçonnement de la dalle

Une force est localisée lorsque les dimensions de son impact sont petites par rapport aux dimensions de la dalle. Sous l'action des forces localisées telle que le système de charge Br, il y'a lieu de vérifier la résistance de la dalle au poinçonnement.

La condition suivante doit être vérifiée pour qu'il n'y ait pas poinçonnement :

$$Q_{ELU} \leq Q_{adm} = 0,45x \frac{U_c x h x f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$Q_{ELU} = 166, kN < Q_{adm} = 1145,34 kN$$

Condition satisfaisante, il n'y aura pas un risque de poinçonnement dans la dalle

NB : Les détails du calcul sont donnés en annexe 4 du document.

6- Dimensionnement du joint de chaussée

Les joints de chaussées sont conçus et réalisés pour assurer la continuité de circulation entre deux éléments rigides ou souples solidarisés aux deux parties de l'ouvrage au moyen de tiges précontraintes.

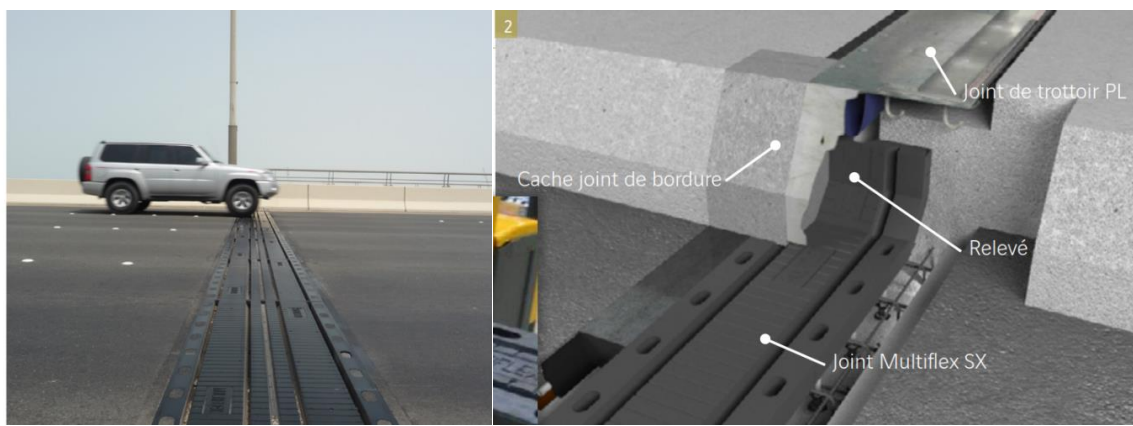


Figure 14 : Joint de chaussée

Dans le plus part des cas, est inséré entre les éléments métalliques, un profil en élastomère qui empêche la pénétration des corps étrangers.

Le choix d'un type de joint de chaussée fait référence à une classification basée sur l'intensité du trafic et le souffle, on distingue :

- Les joints lourds pour les chaussées supportant un trafic journalier supérieur à 3000 véhicules.
- Les joints semi lourds pour un trafic entre 1000 et 3000 véhicules.
- Les joints légers pour un trafic inférieur à 1000 véhicules. Tout en satisfaisant un certain nombre d'autres exigences non moins essentielles :

➤ Confort et esthétique

Souple, il assure la continuité de la surface de roulement quelle que soit l'importance d'hiatus.

Absence de bruits de vibration

➤ **Résistance :**

Le choix des matériaux constitutifs (nature et qualité), est garant de bon comportement sous une circulation sans cesse croissante.

➤ **Etanche :**

En assurant la continuité de l'étanchéité, il participe activement à la protection de l'ouvrage équipé et aussi une bonne évacuation des eaux

Choix du joint de chaussée

La figure ci-dessous nous donne les différentes plages d'utilisation des joints de chaussée

NB : le détail de calcul du joint de chaussée est en annexe 5

PARTIE II : ETUDE DU MODE D'EXECUTION DE L'HOUDIS

CHAPITRE IV: ETUDE D'EXECUTION DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES

Ce chapitre traitera du procédé d'exécution de l'hourdis selon la méthode de dalles poussées successifs sur l'arrière de la culée. Le poussage de la dalle s'effectue des deux coté de rives et un clavage sera effectué au centre pour lier les deux éléments. Après la description de l'ouvrage, nous allons définir les préliminaires avant l'exécution et enfin nous détaillerons le procédé proprement dit.

I- OUVRAGE

Localisation du chantier

Le projet consiste créer un pont mixte bipoutre à la pointe dans le cadre de la construction de la route BATCHENGA-NTUI au Cameroun. Correspondant au deuxième pont sur le fleuve SANAGA.

Caractéristiques de l'ouvrage

Nous pouvons voir sur la coupe transversale et longitudinale les caractéristiques du pont.

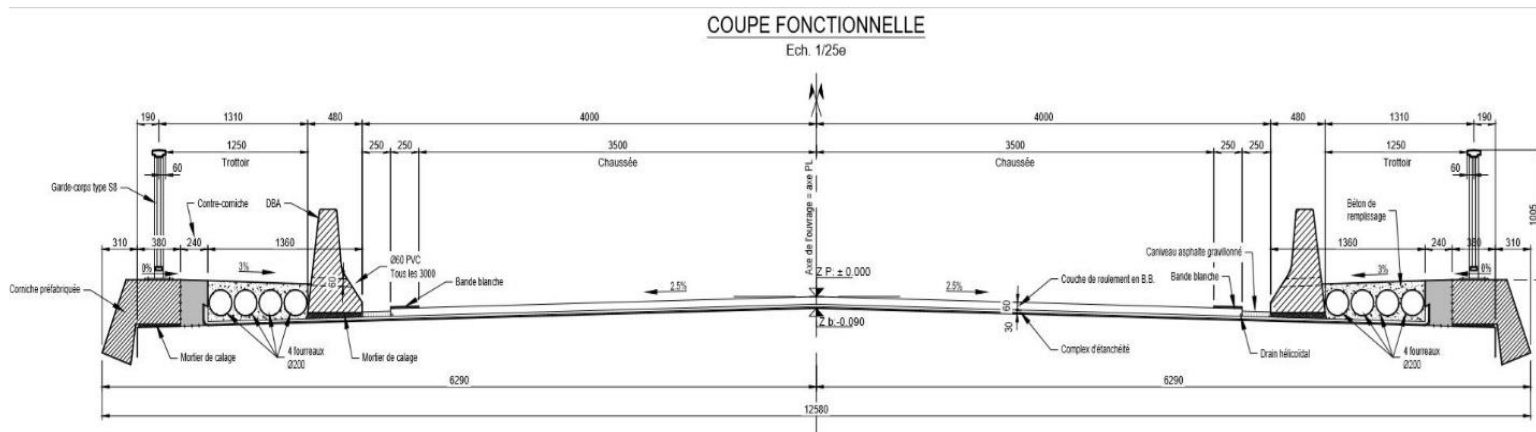


Figure 15 : coupe transversale de l'hourdis

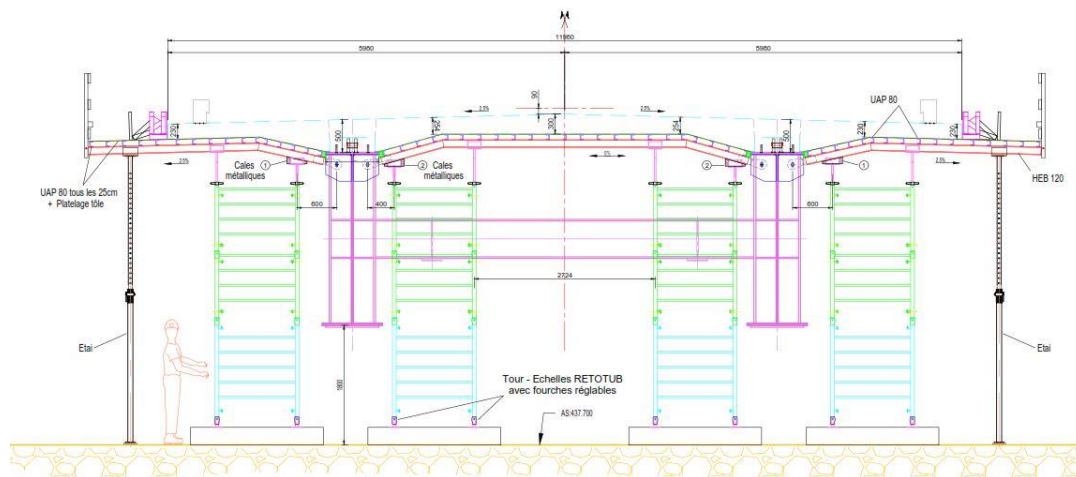


Figure 16 : coupe transversale du coffrage de l'hourdis

II- PREPARATION AVANT POUSSAGE

1- Généralités

La dalle est préfabriquée par tronçons de 5,98m, sur un banc de préfabrication installé en about des PRS de chaque côté de rive des culée C0 et C7. Nombre de plot = 66. Chaque tronçon est bétonné en continuité avec le précédent et poussé sur la structure métallique. Le glissement de la dalle béton sur la charpente se fait par l'intermédiaire d'un patin filant en PEHD. La dalle préfabriquée est ensuite liaisonnée à la charpente, par un béton de clavage. Les abouts de dalle sont coffrés et bétonnés en place. Ces abouts (= retombée de poutre) reçoivent les joints chaussée

2- Étude d'exécution

Certains éléments sont à prévoir à avant de procéder à l'exécution de la mise en œuvre de la dalle :

- Vérifier le positionnement des connecteurs gênant le poussage,
- Réalisation éventuelle d'une réservation sur culée pour mise en place des arrières becs,
- Coordonner avec le charpentier la fabrication des platines de fixation des arrières becs sur le PRS, Platines provisoires ou laissées en place sur PRS

a) Outils de préfabrication et de poussage

Cet outil comprend plusieurs éléments :

➤ Les arrières becs

Ils s'agit ici des espaces aménagés au-dessus des poutres au droit des culées sur lesquels les plots de dalles seront coulés et poussés. Tous les autres équipements et éléments pour le poussage et le coulage des dalles sont aménagés sur ces plateformes. Ces poutres sont équipées d'une crémaillère + tube rectangulaire fixe avec un tuyau pompier de part et d'autre pour coffrage futur longrine de connexion.



Figure 17 : illustration de la Platte forme supérieure de l'arrière bec.

➤ Coffrage métallique

Le coffrage est solidaire des poutres et est divisé en trois parties : Le plateau central et les deux encorbellements.

Le plateau central est relié aux poutres PRS (par des vis et trou oblong) de façon à permettre un jeu altimétrique pour les coffrages-décoffrage.

Les coffrages de rives sont fixés sur les arrières becs par deux articulations, et supportés en rives par 3 étais à vis posés sur des semelles béton armé

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN



Figure 18 : étaillage et coffrage métallique de l'hourdis



Figure 19 : partie supérieure du coffrage de la dalle

➤ **Système de poussage**

Il comprend de chaque côté:

- Une centrale hydraulique
- Quatre vérins à double effet fonctionnant par paire

- 02 sabots de poussage

a) Cycle de fabrication d'un plot

La fabrication d'un lot passe par plusieurs étapes à savoir :

- La mise en place du ferrailage
- Fermeture du coffrage/ préparation bétonnage
- Bétonnage de dalles
- Décoffrage des dalles
- Poussage de dalles
- Remise en état pour prochain cycle.

b) Armatures des plots

Les armatures de chaque tronçon sont assemblées en dehors du coffrage métallique, sur une aire bétonnée (gabarit) ayant la forme de l'intrados du tablier. Le plot est équipé sur gabarit d'un métal déployé pour arrêt du béton. Le plot d'armatures n'est pas équipé de ses cales à béton pour permettre sa mise en place à travers les armatures en attentes du plot précédent par ripage sur l'outil métallique.

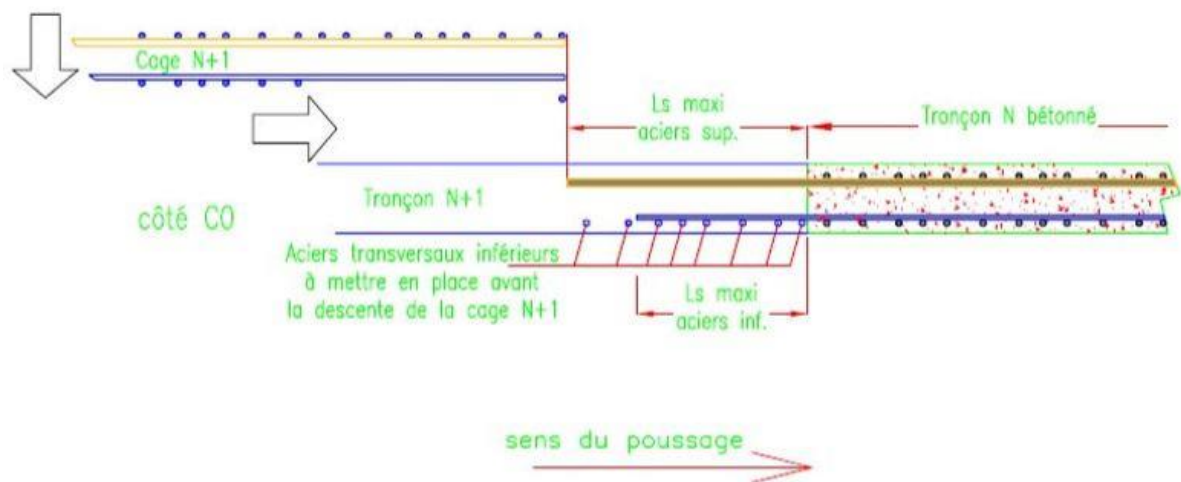


Figure 20 : phasage de pose des armatures de plot avant coulage

Figure principe sur la mise en place des cages

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Les cales sont mises en place une fois le recouvrement assuré. L'arrêt béton est réalisé par la mise en place d'un peigne.

L'ensemble du plot de 5.98 X 11.00 m et pesant 4 tonnes environ est manutentionné à la grue à l'aide d'un palonnier. L'ensemble (fonction paillasse armatures + palonnier + moufle) = environ 5,7 tonnes



Figure 21 : mise en place des armatures

Les poutres d'armatures filantes du tunnel sont à poser avant le passage de l'hourdis préfabriqué

Ces armatures peuvent être posées sur la charpente avant son montage ou à l'avancement partir d'une passerelle métallique.

Le poussage de l'hourdis est effectué sur les deux rives donc tous les travaux d'installation du matériel de coulage et du système de poussage sont effectués sur les deux rives.

L'installation du coffrage de l'hourdis de la dalle se fait en 03 étapes :

- La première étape consiste au coulage des petits plots en béton armés de 50x50x50 cm 3 sur lesquels seront reposés les étaies des coffrages. Notons que ces plots permettent de diminuer la hauteur de service des étaies lorsqu'il existe une grande hauteur entre la partie supérieure des PRS et la plateforme support.
- La deuxième étape consiste à La fixation du coffrage métallique aux poutres PRS et à l'étalement provisoire en bois.

Le coffrage est constitué de 02 parties : le plateau central et les parties en encorbellement.

Le plateau central est fixée de part et d'autre aux PRS et supporté ensuite par des étais en bois dans un premier temps. Et les parties en encorbellement quant à elles sont fixés au PRS d'un côté et la partie libre repose sur les étaies.

Toutefois il est à noter que le coffrage est boulonné sur les goussets avec des trous oblongs de 30x70 mm.

- Et enfin la mise en place des étaies métalliques à vis.

Le coffrage est solidaire des poutres et est supporté par des étais métalliques à vis. Ces étais doivent être capable de supporter les charges de l'ensemble coffrage + dalle en bétons + équipement de poussage avant que le hourdis ne soit poussée sur les PRS.

Les étais métalliques à vis ont une double fonction, en dehors de supporter les charges de l'hourdis pendant la phase de construction. Ceux-ci servent également à caler les altitudes du coffrage.

En effet, avant chaque coulage, il faut caler le coffrage correctement par rapport aux PRS pour ainsi assurer une bonne planimétrie le long du coffrage et respecter les pentes prescrites. Pour ce faire, à l'aide du théodolite un ensemble de 08 points sont visés et le coffrage est réglé sur les vis des étais de façon à avoir les bonnes altitudes.

3- Mise en place du système de poussage

Le système de poussage comprend les vérins équipés de sabots et les centrales hydrauliques qui vont avec, les tuyaux de coffrages et de décoffrages l'ensemble dans le tunnel et ces tuyaux sont équipées de leurs vannes à air.

a) Installation du tunnel et du système coffrage-décoffrage.



Après installation du tunnel

Avant installation du tunnel

Figure 22 : avant bec avant et après installation du tunnel

Le tunnel est la partie de la dalle où se trouvent les bourgeons de connexion entre le hourdis et les Profilés Reconstitués Soudés. Après le poussage, cet espace servira pour le coulage du béton de liaison entre la dalle en béton armée et la charpente métallique du pont. Mais avant le poussage, cette réservation au niveau du poste de coulage de la dalle est utilisée pour le déplacement des vérins d'une part et d'autre part elle sert pour le jeu de coffrage et de décoffrage du tunnel de la dalle et du déplacement. Il est constitué de plusieurs éléments intervenants dans le poussage pour les uns et pour les autres dans le coffrage-décoffrage du tunnel. Pour ce qui est du système de coffrage-décoffrage, nous avons :

- **les rails soudés aux extrémités des PRS.**

En effet, sur l'air de coulages des plots de hourdis, nous avons les PRS qui ont une configuration différente car elles serviront à l'installation des systèmes de poussage et de coffrage-décoffrage. Ainsi, sur cette partie des PRS, sont soudés une sorte de rail pour le déplacement des vérins sur le PRS. Ces rails sont soudés à la place des goujons déconnexions et serviront au

déplacement du sabot des vérins le long de la partie de poussage du PRS. Ainsi après le poussage complet des dalles de l'hourdis, ces rails seront retirés et remplacés par les gougeons de connexion de la dalle u hourdis.

Les extrémités des PRS sont divisées en 02 parties, une partie où est installée le système de poussage (vérins + sabots) et une zone de préfabrication de l'hourdis (zone de coulage de la dalle). Une échelle de poussage est soudée le long des 02 parties des extrémités des PRS remplaçant les goujons connecteurs pendant la préfabrication, sont soudés sur les semelles des PRS des plaques de coffrage du tunnel.

- Les plaques d'appui.

Ces tôles sont elles aussi soudées aux semelles des PRS et serviront d'appui pour les tuyaux de coffrage-décoffrage.

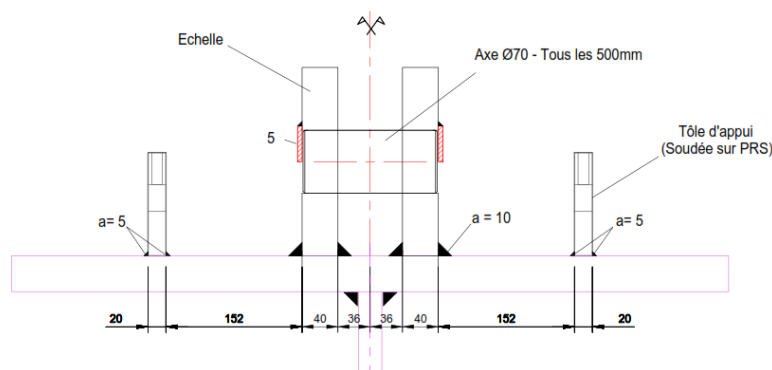


Figure 23: rails et platines soudés aux PRS

- Les tuyaux pompiers de coffrage et de décoffrage.

Ce sont des tuyaux de 70 mm qui serviront pour déplacer la joue de coffrage du tunnel par leurs gonflements et dégonflements.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

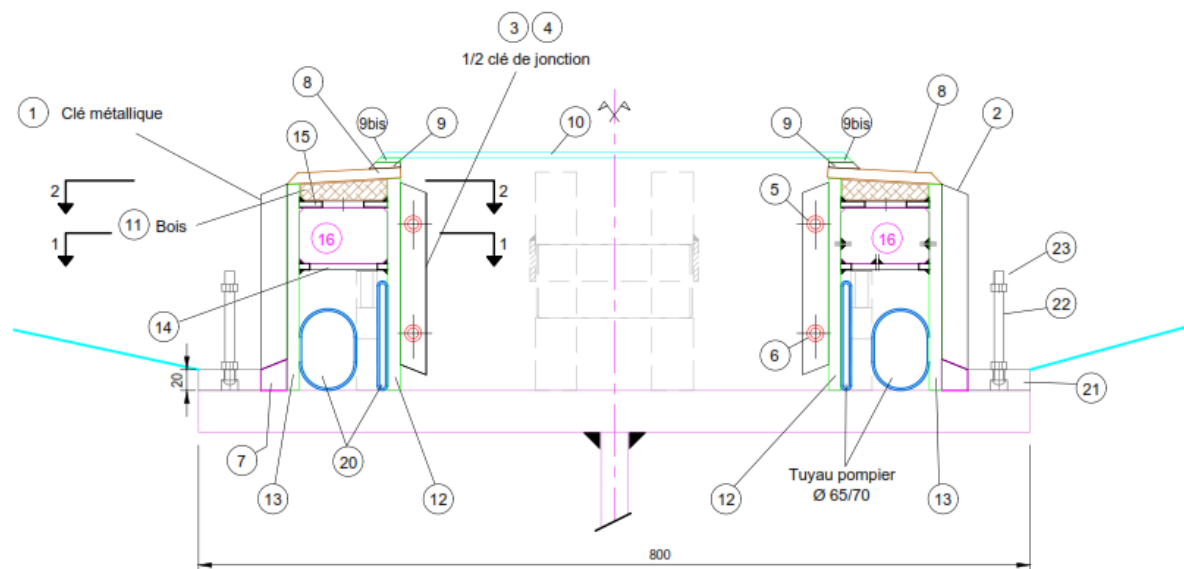


Figure 24 : équipement du tunnel

Identification des éléments de la figure et leurs rôles :

- Eléments 1&2 : les Clé de voussoir métallique : elle joue un double rôle, elles permettent dans un premier temps de donner une forme à la joue du tunnel qui lui permettra de faciliter la reprise de bétonnage. Et dans un second temps elle sert à récupérer une partie des efforts de cisaillements de dû au glissement au-dessus des PRS
- Eléments 4&3- parement intérieure de la clé métallique de voussoir
- Eléments 5&6- vis et écrou de serrage pour les jonctions des clés de voussoir métalliques
- Eléments 8- PEHD (polystyrène haute densité) permettant le coulissage de la joue supérieure du coffrage du tunnel. Relié à l'élément 11 en bois par une colle
- Eléments 9- PEHD rattaché à l'élément 8 par une vis sans fin permette le coulissage de la plaque métallique qui sert de joue de coffrage supérieure du tunnel.

- Eléments 10- plaque métallique servant de joue supérieure du tunnel. Elle est simplement posée sur les éléments 9 ou 8 en fonction de la position (coffrage ou décoffrage) et maintenue sous l'effet de son propre poids.
- Eléments 11- élément en bois servant de remplissage et d'élément de fixation du PEHD 8.
- Eléments 12 et 13 – plaque métallique, élément constitutif des coffrages des clefs de voussoir
- Eléments 14 et 15- tige métallique de jonction des clés
- Eléments 20- tuyau de coffrage et de décoffrage
- Eléments 21- patin de glissement, cet élément permet au béton qui prend appui sur lui de glisser sur le PRS pendant la phase de poussage.

- **Les patins de glissements**

Pour assurer le glissage du hourdis le long des PRS pendant le poussage.

Les patins de glissement utilisé dans le cadre de ce travail est un produit TYVAR, c'est une plaque plastique de PEHD utilisé dans la manipulation et manutention de matériaux en Vrac et pour le revêtement des bandes d'usures. Matériau très glissant, ne laisse aucune marque et contient un additif lubrifiant sec qui lui procure une excellente autolubrification. La section de de béton s'appuie dessus pendant la phase de poussage et sert de patin de glissement pour le déplacement des hourdis.

- **Les clarinettes**

Sur chaque côté de rive, nous avons un ensemble de 05 clarinettes dont 01 grande et 04 petites soit 02 pour le coffrage et 02 pour le décoffrage.

La grande, elle est directement connectée au compresseur qui lui envoi de l'air qu'elle repartie aux petites clarinettes.

Principe de fonctionnement des clarinettes (vannes d'air)

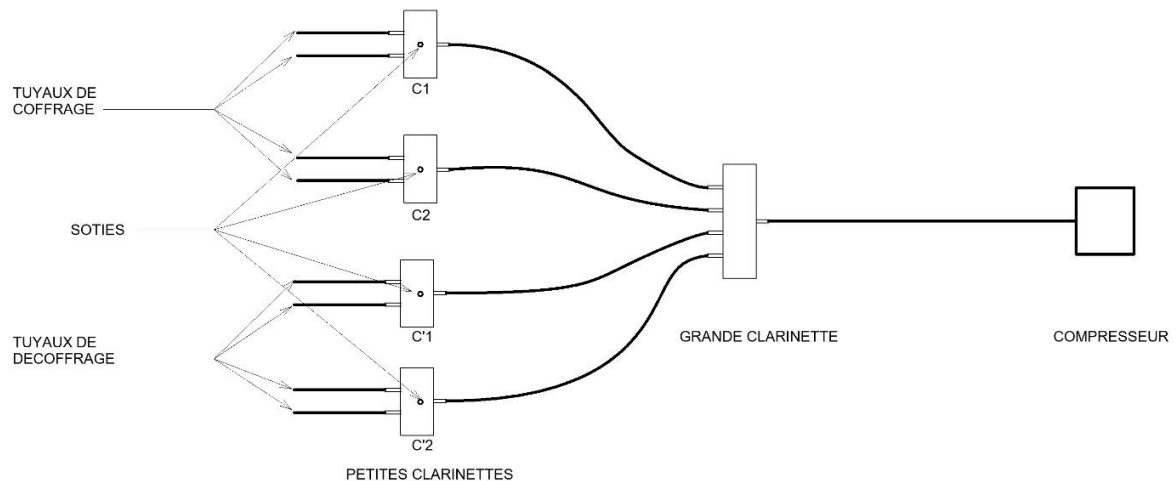


Figure 25 : principe de fonctionnement des vannes et clarinettes.

Nous avons une grande clarinette qui est composée d'un tube d'entrée et de 04 tubes de sortie (donc 02 tubes pour le coffrage et 02 pour le décoffrage) et chaque tube est muni d'une vanne. Nous avons ensuite 04 petite clarinettes et chacune d'elle possède 03 sorties donc une pour faire sortir l'air de la clarinette et les deux autres sont connectées aux tuyaux de décoffrage ou de coffrage.

Lorsqu'on est en phase de coffrage, on envoie de l'air dans un premier temps avec la pression minimale par le compresseur et ouvre les vannes de vidage des clarinettes de coffrage, cela nous permet de savoir si l'air arrive correctement. Ensuite on ouvre les vannes des tuyaux toujours en laissant les sorties de vidage ouverte. Une fois que nous avons la confirmation que l'air passe dans les tuyaux de coffrage, on peut augmenter légèrement la pression du compresseur et jouant avec les vannes de vidage on peut contrôler la quantité d'air qui arrive dans les tuyaux de coffrage dont le but est de déplacer le coffrage jusqu'à sa position de coffrage.



Figure 26 : clarinette et vannes d'air pour les coffrages-décoffrage.

Ces vannes de clarinettes sont utilisées pendant toute la phase de coulage et pendant la phase de décoffrage. Pendant le coffrage les vannes de coffrage sont maintenues ouvertes pour caler les clés dans la position de coffrage et pareillement pour la phase de décoffrage et de poussage.

4- MISE EN PLACE DU SYSTÈME DE GUIDAGE.

Pendant le poussage des dalles de l'hourdis, il existe le risque que la dalle sorte de l'axe de la semelle du PRS, donc pendant le poussage un contrôle méticuleux doit être effectué continuellement pour s'assurer que les dalles restent correctement dans l'axe de la semelle du PRS. Cependant il est difficile d'apprécier ce déplacement à l'œil nu, donc un dispositif est mis en place pour surveiller ce déplacement au fur et à mesure du poussage et ce dispositif permet également de corriger ce déplacement lorsque la dalle connaît un désaxement. D'où les dispositifs de guidage, ils sont constitués :

- les dispositifs de guidage avant.
- les dispositifs de guidage intermédiaires.

a) Les dispositifs de guidage avant

Considéré comme dispositif de guidage principal, un élément est placé sur le premier plot de dalle de chaque côté et sur une semelle du PRS. Il est constitué des éléments en acier de grande résistance.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

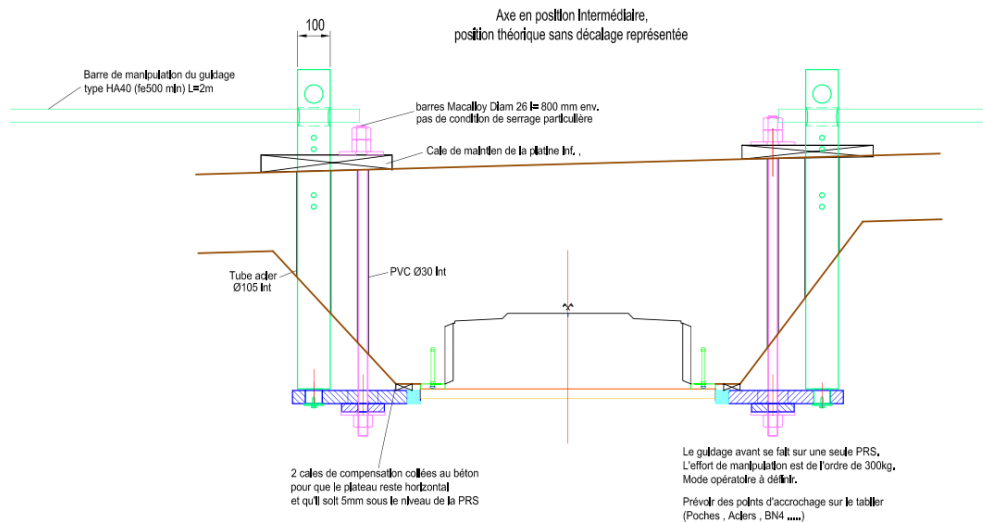


Figure 27 : dispositif de guidage avant

La figure ci-dessus est une coupe transversale au droit d'un dispositif de guide principal. Il est constitué d'un axe excentrique qui lui permet de transformer le mouvement de translation dû au décalage du hourdis en mouvement de rotation et inversement. Ce dispositif fonctionne de la manière suivante :

Lorsque le hourdis est entraîné pendant le poussage et se décale de son axe, il entraîne une rotation de l'axe de guidage du dispositif. Et avec la barre de manutention sur son axe, il est possible de re-axer le hourdis correctement sur la semelle.

b) Les dispositifs de guidage intermédiaire ou secondaire

Les dispositifs de guidage intermédiaires sont des dispositifs plus petits et moins robustes que le dispositif de guidage principal, ils sont placés en paires à environ tous les 60 mètres environ 02 contrairement aux dispositifs de guidage principaux.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

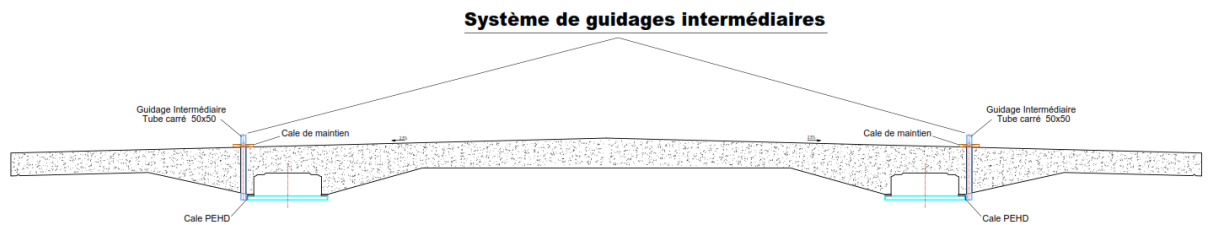


Figure 28 : dispositif de guidage intermédiaire.

c) Système de poussage des hourdis

Les dispositifs de poussage sont constitués par de 04 vérins accrochés aux sabots d'accrochage et l'ensemble est connecté à une centrale hydraulique qui permet de commander les différents vérins grâce au système hydraulique.

Nous avons un ensemble de quatre vérins qui poussent tous ensemble le plot coulé en s'appuyant sur deux points de contact sur la dalle, les vérins étant subdivisé en paires de 02 vérins. À l'aide du sabot et des rails soudé sur la semelle du PRS, les vérins parcourent toute la zone de poussage jusqu'à ce que le plot coulé sorte complètement du coffrage permettant le coulage du prochain plot. Et une fois que le 'plot courant est sortie du coffrage, le vérin fait chemin retour pour se positionner à sa position initiale pour attendre le prochain coulage.



Figure 29 : vérin hydraulique du système de poussage.

III- PROCEDURE D'EXECUTION DE L'HOUDIS PROPREMENT DITE.

Le processus de mise en œuvre de l'hourdis par dalles poussées est une succession de tâches répétitives. Le cycle de fabrication d'un plot est le suivant :

- mise en place du ferrailage.
- fermeture du coffrage et préparation du bétonnage.
- bétonnage des dalles.
- décoffrage des dalles.
- poussage de dalles.
- Remise en état pour prochain cycle.

1- MOYENS PERSONNELES ET MATERIELS

Personnel

- Equipe topographique interne et externe
- Conducteur de travaux
- Ingénieur Ouvrage d'Art
- Chef de chantier
- Chefs d'équipes
- Maçons
- Ferrailleurs
- Laborantins.

* L'équipe type de coffrage et de ferrailage est composée de :

- 1 Chef de chantier
- 1 Chef d'équipe
- 12 boiseurs
- 12 manœuvres
- 14 ferrailleurs
- 4 manœuvres spécialisés.

Matériel

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

- Grue PPM de 60 tonnes et grue NCK de 50 tonnes pour la manutention
- Compresseurs à air comprimé
- Vibreurs à air comprimé
- 2 Jeux de coffrage pour hourdis de chaque côté du fleuve
- Accessoires de coffrage
- Echafaudages + accessoires
- 2 jeux de vérin de poussage avec centrales hydrauliques.

La liste de ce matériel pourra subir des modifications en fonction des besoins du chantier.

Pour la topographie :

- Théodolite
- Appareils de niveau
- Mires
- Jalons
- Accessoires usuels

Pour le laboratoire :

- Cône d'Abrams
- Eprouvettes diamètres 16 * 32.

Les coffrages seront répartis comme suit :

- 01 jeu de coffrage pour les hourdis coté de rive 1
- 01 jeu de coffrage pour les hourdis côte de rive 2

Matériaux

- Béton : sera fabriqué à partir de deux centrales à béton de marque installées sur chaque rive du fleuve Sanaga.
- Acier : fourniture ;
- Ciment : CEMI 52.5 R ;
- Adjuvants : OPTIMA 145 ;
- Huile de décoffrage SIKAFER ou similaire ;

2- OPERATIONELS PRÉLIMINAIRES

Tout le matériel et les équipements utilisés feront l'objet d'une vérification minutieuse préalable afin de s'assurer de leur bon état de fonctionnement.

Les ouvriers appelés à intervenir pendant les travaux seront équipés de :

- Les élingues
- Les gans
- Les casques
- Les chaussures de sécurité
- Les lunettes de protection
- Les caches nez
- Et tout autre équipement de sécurité qui pourrait servir à protéger les

a) Mise en place du coffrage

Avant de procéder à la pose des échafaudages on procède alors à l'emplacement puis au réglage de la cote souhaitée et à la mise en place du support métallique et platelage du tablier

Ensuite vient la réception des échafaudages, le responsable génie civil doit respecter personnellement l'échafaudage terminé et vérifier son conformité par rapport au projet. Il renseigne et valide la fiche de contrôle des ouvrages et il notifie au chef chantier de l'autorisation de la mise en charge.

Après l'installation des échafaudages et des coffrages, il reste un certain nombre de choses à faire soit :

- Enduire les surfaces des coffrages avec un agent démoulant et fermer les jonctions par un mastic
- Pose des coffrages suivant les plans approuvés
- Réalisation des réglages finaux et réception du coffrage et ferrailage par le contrôle externe et extérieur.

b) Préparation du support et mise en place du ferrailage.

Les différentes réservations (tunnels, frettage et poches de bétonnage) sont intégrées dans le coffrage, et on s'assurera que la peau du coffrage est propre et exempt de toutes souillures et égratignures

En ce qui est du ferrailage, il est préparé au complet avant la phase de bétonnage :

- Le ferrailage est réalisé sur un coffre témoin suivant les plans approuvés, en s'assurant que les aciers sont exempts de traces de rouilles ou de souillures.
- Le ferrailage est transporté et placé dans le coffre réel sur le tablier au moyen d'une grue et acheminé via des treuils pour sa mise en place finale.
- S'assurer que les ligatures sont conformes.
- Poser des cales et réaliser des réglages finaux.

c) Réception et bétonnage.

L'autorisation du bétonnage est un point d'arrêt qui n'est levé qu'après réception du coffrage et ferrailage par la Maitrise d'œuvre.

- L'opération de bétonnage est exécutée en continu sans interruption ni reprise aux moyen des toupies et des bennes approvisionnées par les centrale à béton.
- Le béton est coulé par couche de 30 à 50 cm et vibré par un vibreur à aiguille.
- Lors du coulage des prélèvements sont effectués, par le laboratoire tous les 25 m³, avec :
 - 4 éprouvettes pour essais à 01 jour (compression)
 - 3 éprouvettes pour essais à 07 jours (compression)
 - 3 éprouvettes pour essais à 28 jours (compression)

A la fin du bétonnage, on procèdera à un talochage de la surface du béton fini afin de garantir un bon uni. Et après le talochage, un produit de cure est répandu immédiatement au moyen d'un pulvérisateur sur toute la surface de l'hourdis avec un dosage de 150 g/m². Et la fin de la cure, le hourdis sera recouvert par une bâche étanche destinée à le protéger en cas de pluie.

Le produit de cure pulvérisé en couche mince sur la surface de béton frais. Ce produit forme une pellicule étanche qui empêche l'évaporation de l'eau et protège le béton de la dessiccation (déshydratation visant à éliminer de l'eau dans un corps ce processus pouvant être naturel ou forcé) limitant ainsi le risque de microfissure.

d) Ecrasement et autorisation de décoffrage et poussage.

Le système de poussage utilisé par l'entreprise bien qu'ingénieux est complexe du fait qu'on soumet à très jeune âge le béton aux efforts de pousser.

Suivant la note de calcul de l'hourdis, la contrainte minimale du béton au décoffrage et au poussage est de 14Mpa, il sera donc question pour le laboratoire de réaliser des essais de compression sur les éprouvettes prélevées la veille.

Au total 10 éprouvettes cylindriques de dimension 16*32 seront prélevées lors du bétonnage dont 04 à compresser le lendemain du jour de décoffrage et poussage à intervalle de 1h ou 2h selon les premiers résultats obtenus.

- L'accord pour le décoffrage et le poussage ne sera donné qu'après compression et obtention d'une valeur de résistance $> 14 \text{ MPA}$
- Si cette valeur n'est pas atteinte, le décoffrage et le poussage sera différé jusqu'à son obtention
- D'après le planning et dispositions prises, il est prévu de réaliser un coulage d'éléments de tablier par jours travaillés. Ce planning nécessite chaque jour une méticuleuse rigueur et organisation.
- Les essais d'écrasement auront lieu à 6h45 chaque matin. des dispositions spéciales pour l'acheminement du personnel afin de pouvoir tenir les délais d'une dalle coulée par jour seront prises.

3- RENDEMENT D'EXECUTION.

La mise en œuvre des dalles demande une certaine répétitivité pour pouvoir respecter les délais et produire un meilleur rendement.

Les deux premiers jours on procède au rodage. 01 plot fabriqué et poussé sur PRS par jour après rodage sur 02 plots et fabrication et mise en place d'une paillasse d'armature par jour.

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOURDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

Exemple de cycle type :

Tableau4 : *cycle de mise en œuvre d'une dalle de hourdis*

désignation tâche	début de la tache	fin de la tache	temps passé	nombre de personnes+ fonctions	matériels	matériaux	observation
mise en place du ferraillage	12h	13h	1h	1 chef +4 ouvriers (dont 02 ferrailleurs)	grue mobile +tir- fort		
fermeture du coffrage/ préparation bétonnage	13h00	14h30	1h30	01 chef + 04 ouvriers	huile de décoffrage +cales		attente de béton
bétonnage de dalles	14h45	16h 30	1h 45	01 chef + 04 ouvriers	grue mobile +benne à béton +aiguille vibrante+ compresseur	19 m3	
décoffrage des dalles	8h00	9h00	1h	01 chef + 04 ouvriers	compresseur		
poussage de dalles	9h00	10h10	1h10	01 chef + 04 ouvriers	04 vérins + 01 centrale hydraulique		
Remise en état pour prochain cycle	10h20	12h00	1h40	01 chef + 04 ouvriers	compresseur		ragréage en sous face

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Le tableau ci-dessus mentionne le cycle de travail effectué pour la mise en œuvre d'une dalle de plot pour un côté de rive. Toutefois les travaux sont effectués des deux côtés et de façon simultanée et les tâches suivantes n'ont pas été prises en compte dans le cycle de mise en œuvre :

- La préfabrication d'éléments de palissade à temps masqué
- Le levage des cages d'armatures
- Les ripages pour s'assurer du recouvrement avec les aciers en attente du plot précédent
- La mise en place des cales béton pour enrobage.

CONCLUSION GENERALE

En somme de cette étude, il était question pour nous de faire une étude détaillée et de la méthodologie de mise en œuvre de l'hourdis par dalle poussées d'un pont mixte bipoutre de 400 ml sur le fleuve Sanaga dans le cadre de la construction de la route nationale Batchenga-Ntui au Cameroun. Pour y parvenir, les points suivants ont été développés conformément aux objectifs spécifiques visés par la présente étude :

- Une étude structurelle de l'hourdis soumis à des conditions de sollicitation réelles
- Une étude des points de sollicitations sensibles de la dalle en vue de proposer un ferrailage
- Une étude structurelle du joint de chaussé à mettre en œuvre sur le hourdis en question
- Une étude détaille du procédé de mise en œuvre de l'hourdis par dalles poussées
- Une étude d'impact environnementale et sociale du pont

Pour le traitement des différents points cités plus haut, nous avons fait appel à des outils informatiques tels que AUTOCAD 2014 pour la confection des plans et schéma explicatifs, AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2019 pour la modélisation et l'étude structurelle de notre modèle de calcul, du tableur EXCEL pour la l'élaboration de nos différents calculs, et tableaux. Toutefois, l'essentiel du travail a été effectué manuellement. Cet ainsi que nous avons déterminé que tout le long du tunnel il existe un effort de glissement qui sera repris **22,07%** par les clés de voussoirs soit **20,59 t** et à **77,92 %** par les poches soit **72,69 t** avec **33,7 cm²** d'acier à disposer dans ces poches de bétonnage à cet effet. Nous avons également déterminé une section d'acier de **18,1cm²** à disposer au-dessus du tunnel. Pour ce qui est de la flexion transversale de la dalle, nous avons disposés des **HA 25 espacé de 17 cm** en nappe inférieure et en nappe supérieure, pour la flexion longitudinale nous avons disposé des **HA 20 et HA16 espacés de 30 cm** en nappe inférieure contre des **HA 20 espacés de 15 cm** en nappe supérieure.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **J. COSTET, Pierre CONSIGNY, Michel FEVE, (1980)**, Fascicule N°61, Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, titre II, Programme de charges et épreuves des ponts, France, 78 pages
- [2] **KUATE Léandre, NAWA Polychel (2019)**, Pont sur le Noun, Note d'hypothèses et de justification des poutres principales, Yaoundé, Cameroun, 116 pages.
- [3] **M. PLANTE, M. GRATTESAT, M. MATHIEU, (1981)**, Fascicule spécial N°81-31, Circulaire N° 81-63 relative au règlement de calcul des ponts mixtes acier-béton. Paris, France, 81 pages.
- [4] **ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION, (2000)**, Eurocode 3, XP ENV 1993-2, Calcul des structures en acier et document d'application nationale, Partie 2, Ponts métalliques, Saint-Denis, France, 186 pages.
- [5] **R. MAURUS, Raymond BARRE, Jacques CHABAN-DELMAS, (1978)**, Fascicule N°61 modifié, Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, titre V, conception et calcul des ponts et constructions métalliques en acier, Paris, France, 160 pages.
- [6] document technique : ponts mixtes recommandation pour maîtriser les fissurations des dalles, SETRA 1995
- [7] Fascicule 62 Titre V : Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil-CET.
- [8] **Daniel de Matteis, Guillaume Chauvel, Nathalie Cordier, (2010)**, Ponts mixtes acierbéton, Guide de conception durable, SETRA, France, 200 pages.
- [9] **Christian KAMBALE SAA-MBILI, (2013)**, Étude d'un pont mixte acier-béton sur le ruisseau d'Oïcha, République Démocratique du Congo, 75 pages.
- [11] **BOUAMAMA Mahmoud, BENAÏSSA Mohammed, (2016)**, Étude D'un Pont Mixte Acier-Béton A Nedrouma, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen, 155 pages

ANNEXES:

ANNEXE 1 : DESCENTE DE CHARGE SUR LE HOUDIS

La figure suivante est extraite du Guide conception des ponts mixtes acier-béton et illustre les différents paramètres de pré-dimensionnement de la dalle et la charpente métallique du pont bipoutre à entretoises.

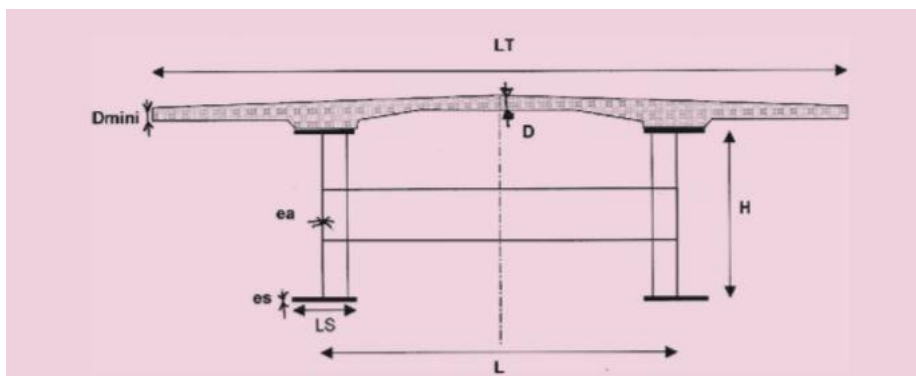


Figure 30: paramètres de pré-dimensionnement du tablier bipoutre [8].

Nous avons dans la figure suivante les différentes formules extraites du guide de conception des ponts bipoutre utilisée pour le pré dimensionnement de la dalle et la charpente métallique.

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

Hauteur des poutres H	$\text{Max} \left(\frac{X}{28} \left(\frac{LT}{12} \right)^{0,45}, 0,40 + \frac{X}{35} \right)$ pour un ouvrage de hauteur constante X / 24 sur pile et X / 36 à mi-travée pour un ouvrage de hauteur variable avec plus de deux travées
Entraxe des poutres	L = environ 0,55 LT
Largeur des semelles inf. Binf	$\left(0,25 + \frac{LT}{40} + \frac{X}{125} \right) \left(0,92 + \frac{LT}{150} \right)$
Largeur des semelles sup. Bsup	Binf – 0,100 pour un tablier à deux voies Binf – 0,200 pour un tablier à quatre voies
Entretoises courantes	Profilés IPE500 à IPE700 ou équivalents
Tonnage de charpente	$63 + 0,9 X^{1,2} \left(1,34 - \frac{LT}{40} \right) + 0,25 X$ en kg / m² de tablier
Épaisseur de la dalle	$0,13 + \frac{(LT - L)}{26}$ au droit des poutres principales $0,12 + \frac{L}{50}$ au centre du tablier
Ratio de ferrailage de la dalle	Environ 250 kg / m³

Figure 31 : formules de pré-dimensionnement du tablier des ponts bipoutres [8].

Le tablier composé de 2 voies de 3.5m et 2 trottoirs de 1.5m + contre corniche fait largeur totale de tablier est **LT= 11,96 m**

➤ **Longueurs des travées**

Le tablier est composé de 07 travers donc : 2 de 42,5 m; 02 de 60m et 01 de 75 m.

➤ **Entraxe des poutres L**

$$L = 0,55 * L_T = 6,54$$

$$\mathbf{L=6,54\ m}$$

➤ **Épaisseur de la dalle**

L'épaisseur de la dalle varie sur le profil en travers en fonction de la zone considérée.

Lorsqu'on est au droit des poutres principales, l'expression de l'épaisseur du tablier est de :

$$D = 0,13 + \frac{(LT - L)}{26}$$

$$\mathbf{D=0,843\ m}$$

Et lorsque qu'on est au centre de la section transversale, l'épaisseur de la dalle a pour expression :

$$D = 0,12 + \frac{L}{50}$$

$$\mathbf{D=0,2515\ m}$$

➤ **Hauteur de la poutre**

D'après le guide SETRA, la largeur des poutres est donnée par les formules suivantes :

Largeur de la semelle inférieure

$$B_{inf} = \left[0,25 + \frac{L_t}{40} + \frac{L}{125} \right] \times \left[0,92 + \frac{L_t}{150} \right]$$

Avec

L : portée réelle de la poutre.

L_t : largeur de tablier

$$\mathbf{B_{inf} = 1,1\ m}$$

Largeur de la semelle supérieure :

$$B_{sup}=B_{inf}-0,1=0,9\ m$$

$$\mathbf{B_{sup}=1\ m}$$

Les valeurs déterminées plus haut sont des valeurs de pré dimensionnement qui permettent de faire un calcul de vérification a fin de caler les vraies dimensions de l'ouvrage. Ceci dit nous pouvons considérer les valeurs du projet pour nos calculs pour gagner en temps et vérifier avec les résultats que nous obtiendrons.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Nous avons d'une part les valeurs obtenues avec les formules de pré dimensionnement et d'autre part les valeurs du projet, c'est à dire celle adoptée et approuvée par le maitre d'œuvre. Nous allons donc considérer ces valeurs et les utiliser pour le dimensionnement.

En somme pour nos calculs, nous considèrerons les dimensions suivantes :

Hauteurs des poutres métalliques : 2,6m

Entraxe entre les poutres : 6,4

Largeur semelle inférieure : 0,9 m

Largeur semelle supérieure : 0,8 m

Épaisseur de la dalle au droit des poutres : 0,5 m

Épaisseur de la dalle au centre de la dalle : 03 m

Le tableau suivant donne les éléments de pré dimensionnement de la charpente et de la dalle.

Tableau 5 : valeurs de pré-dimensionnement du tablier bipoutre.

Désignation		données pré-dimensionnées	données du projet
longueur pondérée	X	70	
	Li	75	
	Li+1	60	
largeur totale dalle	LT	11.96	
hauteur des poutres	H	2.496246557	2.6
entraxe poutres	L	6.578	6.4
largeur semelle inf.	Binf	1.108704267	0.9
largeur semelle sup	Bsup	1.008704267	0.8
épaisseur de la dalle	au droit des poutres	0.843	0.5
	au centre de la dalle	0.25156	0.3

1- Evaluation des charges

L'ouvrage projeté doit être apte à supporter les sollicitations induites par les charges et surcharges à savoir sont les charges permanentes et les charges d'exploitation

a) Les charges permanentes

Elles comprennent le poids propre des poutres et de la dalle pris en compte directement par le logiciel et le poids des superstructures tels que du revêtement, des trottoirs, des garde-corps, des glissières de sécurité les GBA, l'étanchéité.

a) Les poutres métalliques

La charge permanente due au poids propre des poutres est évalué à partir du poids réel de l'ouvrage. Les poutres sont modélisée par de l'acier S460 M et nous avons considéré 03 section d'IPE différentes pris en compte pour :

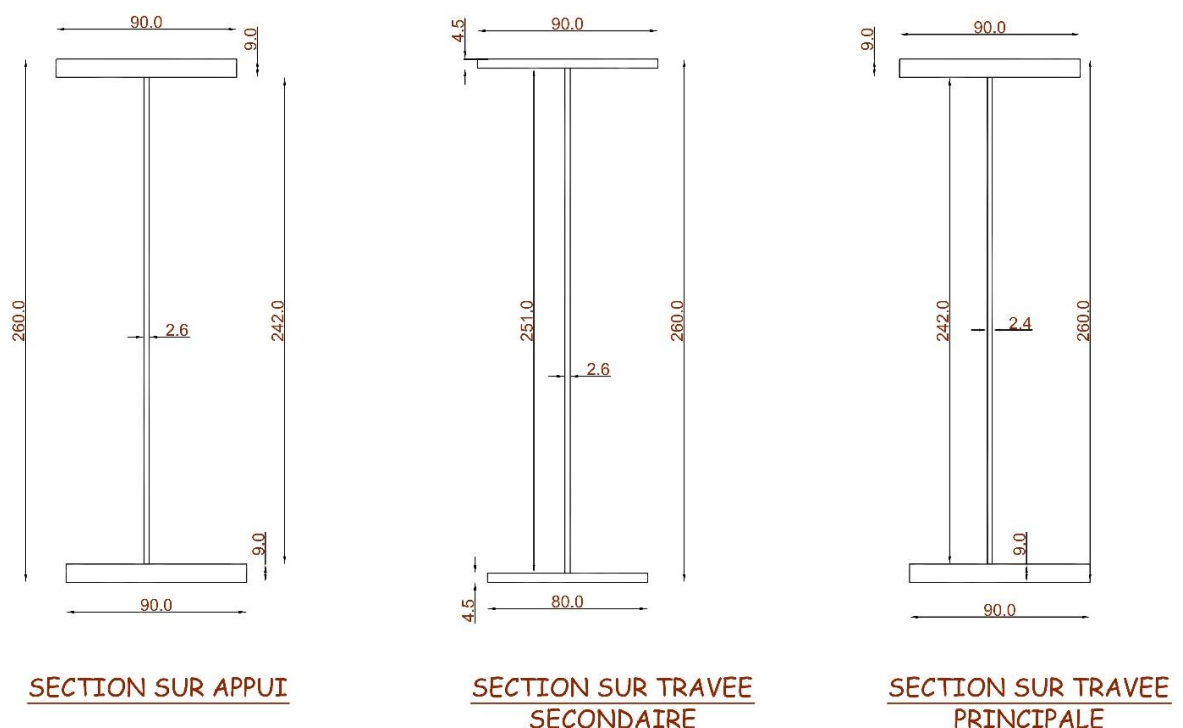


Figure 32 : différentes section des PRS modélisées

La section sur appui

La section en travée secondaire

La section en travée principale.

b) Hourdis

Le hourdis est modélisé à l'aide du logiciel RBOT 2019 avec des épaisseurs variables entre 23 cm et 30 cm en considérant les caractéristiques réelle du matériau. Le béton de l'hourdis est C35/40.

C) les superstructures

Conformément aux informations extraites du cahier de charges, nous avons tenu compte des éléments suivants comme superstructures :

- Chape d'étanchéité

La chape d'étanchéité présente une épaisseur de 30mm sur la largeur roulable du tablier et trottoirs

- La couche de roulement

La couche de roulement présente une épaisseur de 60mm sur la largeur roulable du tablier.

- Corniches préfabriqués

A chaque extrémité du tablier (en coupe transversale) se trouve une corniche préfabriquée dont le poids linéaire à vide est de 6,35 kN/ml.

- Les dispositifs de retenues et GBA

A chaque extrémité du tablier se trouve une barrière de retenue type barrière S8 dont le poids linéaire est de 0,650 kN/ml et des GBA dont le poids linéaire est de 5,6 kN/ml.

Sur notre modèle de calcul, nous avons appliqués chaque charge suivant ses points d'application.

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

Tableau 6 : des charges dues aux superstructures du tablier

charges permanentes	poids volumique (KN/m3)	poids surfactive (KN/m2)	charge linéique (kn/ml)
poids propre	25		
Étanchéité	24	0.72	5.04
couche de roulement	24	1.32	11.76
trottoir1	25		6.25
trottoir2	25		6.25
corniche prefa gauche			5
corniche 2 prefa droite			5
GBA gauche			5.6
GBA 2 droite			5.6
gardes corps s8 droit			6.35
gardes corps s8 gauche			6.35
canalisation EP gauche eau			1
canalisation EP droite + eau			1
TOTAL			65,2

b) Les charges d'exploitation et surcharges

L'évaluation des charges et surcharges passent par la définition de la largeur roulable, du nombre de voies et de la classe de l'ouvrage. Les ponts routes sont rangés en 3 classes, en fonction de la largeur roulable et de leur destination. Sont rangés en première classe tous les ponts supportant des chaussées de largeur roulable supérieure ou égale à 7 m, ou les ponts supportant des bretelles d'accès à de telles chaussées. Sont rangés en deuxième classe les ponts supportant des chaussées à deux voies de largeur roulable comprise entre 5.50 m et 7 m valeurs imites exclues. Sont rangés en troisième classe les ponts autres que ceux énumérés ci-dessus, supportant des chaussées à une ou deux voies de largeur roulable inférieure ou égale à 5.50 m.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

Les surcharges routières prises en compte dans les calculs sont celles du fascicule 61 titre II (système A, système B, charges militaires, charges sur les trottoirs) complétées par les charges d'un camion type grumier du modèle camerounais [1].

➤ Système de charge A(l)

Le système A se compose d'une charge uniformément répartie dont l'intensité (en kg/m²) présentée à la formule 2.41 dépend de la longueur chargée [1].

$$A(l) = a_1 * a_2 + 230 + \frac{3600}{L+12} [1]$$

Avec :

a_1 le coefficient de dégressivité transversal de la charge

$a_2 = \frac{V_0}{V}$ Le coefficient d'ajustement de la charge

V La largeur d'une voie de la chaussée

$V_0 = 3,5 \text{ m}$ pour les ponts de première classe

Le Tableau suivant donne le coefficient de dégressivité transversal de la charge a_1 , décroissant en fonction du nombre de voies chargées et de la classe du pont [1].

Tableau 7 : coefficients de d'agressivité transversale de la charge [1]

classe du pont	Nombre de voies chargées				
classe du pont	1	2	3	4	5
1	1	1	0.9	0.75	0.75
2	1	0.9			
3	0.9	0.8			

Lorsque la valeur de la charge répartie trouvée après application des coefficients ci-dessus est inférieure à $(400 - 0,2 L) \text{ kg/m}^2$, c'est cette dernière valeur qui doit être prise en compte

➤ Système de charge B

Le système de charges B comprend trois systèmes distincts à savoir le système Bc, le système Bt et le système Br. Les deux premiers systèmes Bc et Br s'appliquent à tous les ponts quelle que soit leur classe et le système Bt ne s'applique qu'aux ponts de première ou de deuxième classe [1].

➤ Système Bc

Un camion type du système Bc comporte trois essieux, tous trois à roues simples munies de pneumatiques. Il a une masse totale de 30t dont 6t portée par l'essieu avant et 12t portée par chacun des essieux arrière. On dispose sur la chaussée au plus autant de files ou convois de camions que la chaussée comporte de voies de circulation, et l'on place toujours ces files dans la situation la plus défavorable pour l'élément considéré. Dans le sens longitudinal, le nombre de camions par file est limité à deux [1].

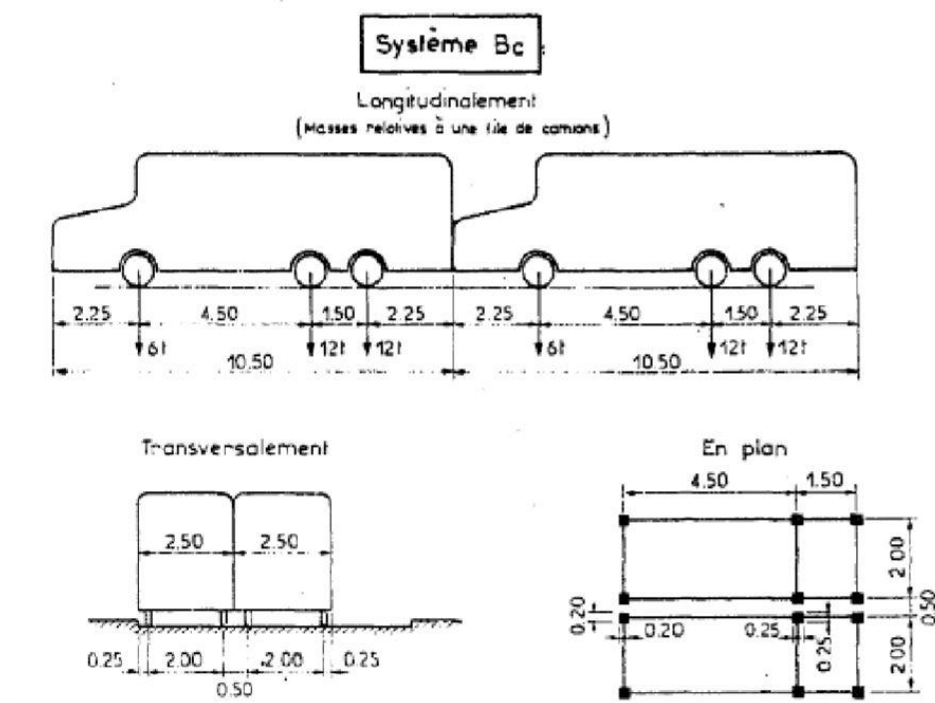


Figure 33 systèmes de chargement Bc [1]

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

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

Tableau 8 : nombre de files par classe de pont

	Nombre de files considéré				
classe du pont	1	2	3	4	>5
1	1.2	1.1	0.95	0.8	0.7
2	1	1	/	/	/
3	1	0.8	/	/	/

➤ système Bt

Un tandem du système Bt comporte deux essieux de 16t chacun, tous deux à roues simples munies de pneumatiques

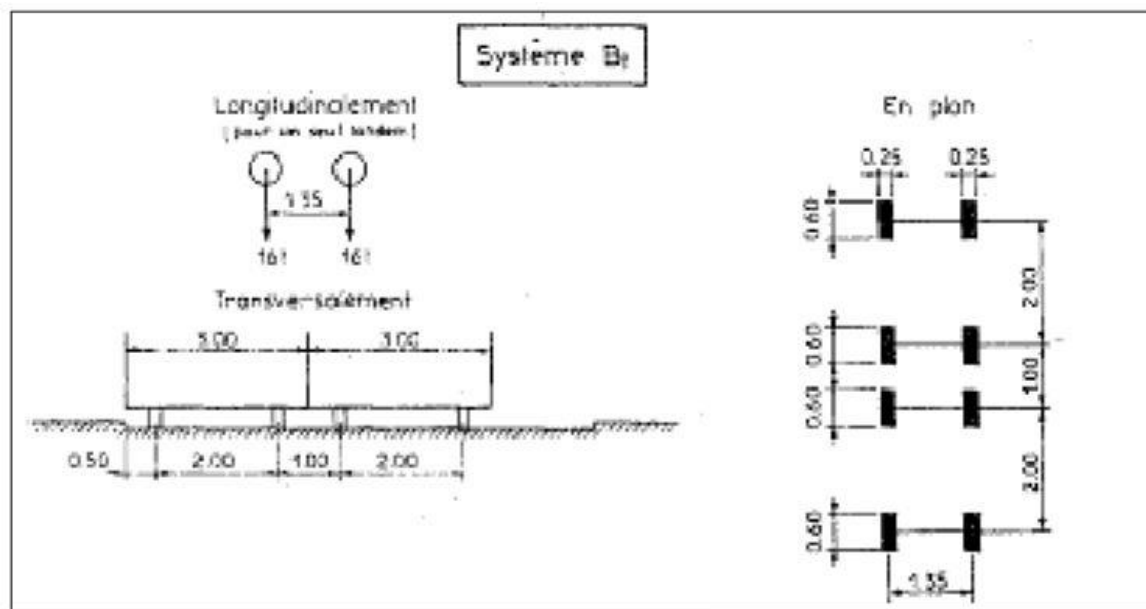


Figure 34 : système Bt de chargement [1]

En fonction de la classe du pont, les valeurs des charges du système Bt prises en compte sont multipliées par les coefficients bt dont la valeur est égale à 1,0 pour les ponts de première classe et 0,9 pour les ponts de deuxième classe[1].

Système Br

La roue isolée, qui constitue le système Br porte une masse de 10t. Sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé dont le côté transversal mesure 0,60 m et le côté longitudinal 0,30 m. Le rectangle d'impact de la roue Br, disposé normalement à l'axe longitudinal de la chaussée, peut être placé n'importe où sur la largeur roulable.

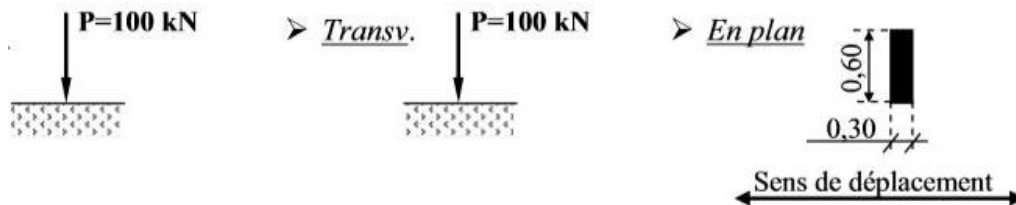


Figure 35 : système Br [1]

Les charges du système B sont frappées de majorations dynamiques. Le coefficient de majoration donnée par la formule 2.42 est applicable aux trois systèmes Bc, Bt, Br tout en étant le même pour chaque élément d'ouvrage

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

Avec :

L La longueur de l'élément exprimée en mètres

G La charge permanente de la structure

S La charge maximale d'un système de chargement

La valeur de S à introduire dans la formule est celle obtenue après multiplication par le coefficient bc ou b t, fonction de la classe du pont

Charges militaires (MC120)

Un véhicule type du système Mc120 comporte deux chenilles avec une masse totale de 110t. Le rectangle d'impact de chaque chenille est supposé uniformément chargé. Les majorations dynamiques sont applicables aux charges militaires [1].

Ce convoi se compose de deux systèmes distincts Me et Mc qu'il convient de prendre en compte pour l'étude de chaque élément de l'ouvrage. On se limitera à l'étude du système MC120 qui est plus défavorable. L'ouvrage doit supporter le passage du convoi militaire MC120 défini dans le fascicule 61 titre II.

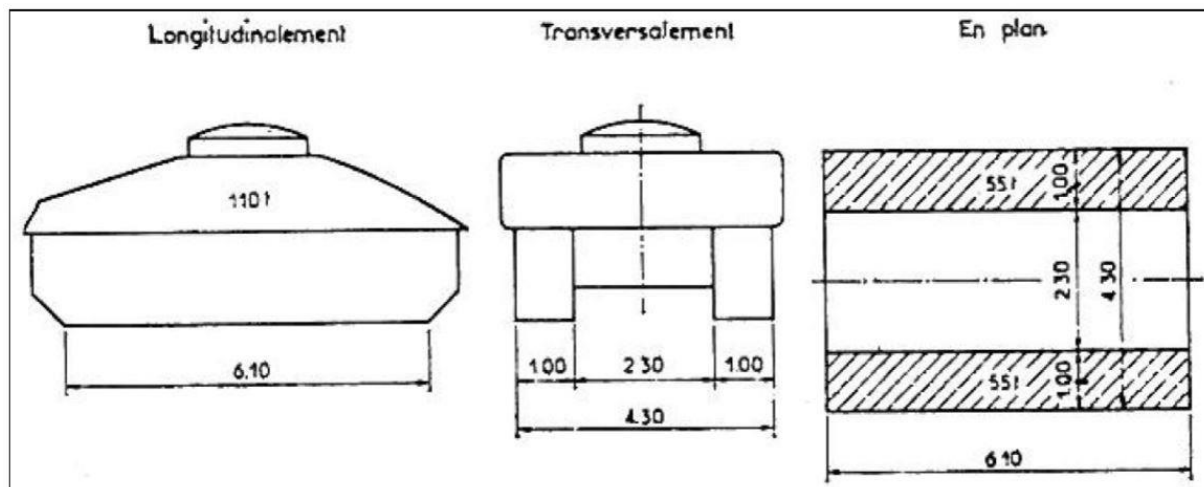


Figure 36 : système de chargement Mc 120 [1]

Charges exceptionnelles

Il s'agit ici des charges de grumier qui sont propres au système camerounais. Le grumier présenté est un grumier de 100t à 5 essieux dont le premier essieu pèse 7,5t et les quatre autres essieux 23,125 t chacun sur 2 paires de roues. Dans le sens transversal et longitudinal, les essieux des deux grumiers sont positionnés afin d'obtenir l'effet maximal sur la poutre de droite [2].

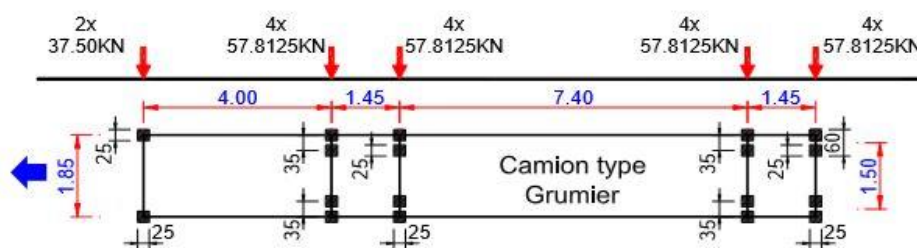


Figure 37: charges exceptionnelles de grumier

Charges sur les trottoirs

Une charge uniforme de 450 kilogrammes par mètre carré est supportée par les trottoirs de tous les ouvrages, y compris les bandes éventuelles de séparation des chaussées et des pistes cyclables. Les charges de trottoirs ne sont pas frappées de majorations pour effets dynamiques [1].

Définition des Combinaisons.

Selon le Fascicule 61 titre V, les relations suivantes donnent les combinaisons à l'ELU et à l'ELS.

$$\begin{cases} ELU : 1,35G + 1,5Q + 1,6x \text{ surcharges trottoir} + \delta x_{max} \left[1,6A(l); 1,6B(BC, Bt, Br); \right. \\ \left. 1,35Mc120; 1,35Gr \right] \\ ELS : G + Q + 1,2 \text{ surcharges trottoir} + \delta x_{max} [1,2A(l); 1,2B(Bc, Bt, Br); MC120; Gr] \end{cases}$$

Coefficient pris en compte pour les charges dynamique

On détermine le coefficient dynamique transversal selon l'article 5,5 du Fascicule 61

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

Avec : L est égale à la largeur chargeable L=7,5 m

G est le poids total d'une section de dalle de longueur L et de toute la largeur, tous éléments compris :

$$G_{dalle} = \rho x S x L = 9,68 * 7,5 = 72,6 \text{ t}$$

$$Q_{sup} = Q_{sup,nom} x L = 6,52 * 7,5 = 48,9 \text{ t}$$

$$G = G_{dalle} + Q_{sup} = 72,6 + 48,9 = 121,51 \text{ t}$$

S est, pour les systèmes B, le poids total le plus élevé des essieux qu'il est possible de placer sur la longueur L.

Sur la longueur L = 7,5 m on peut placer par file :

- 02 essieux Bc : 24 t soit pour 2 files : $48 \times 1,1 = 52,8 \text{ t}$
- un système Bt : 32 t soit pour 2 files : $64 \times 1,00 = 64 \text{ t}$

Système bc

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7,5} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{121,51}{52,8}} = 1,218$$

$$\delta_{Bc} = 1,218$$

Système Bt :

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7,5} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{121,51}{64}} = 1,229$$

$$\delta_{Bt} = 1,229$$

S est, pour le char Mc120, le poids total le plus élevé qu'il est possible de placer sur la longueur L.

Sur la longueur L, on peut placer une partie du char Mc120 : 90,2t

$$\delta_{Mc120} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7,5} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{121,51}{90,2}} = 1,253$$

$$\delta_{Mc120} = 1,253$$

2- Modélisation de la structure

a) Description du logiciel ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL

Autodesk® Robot Structural Analysis Professional est un logiciel collaboratif, polyvalent et rapide. Conçu spécialement pour le BIM, le logiciel Robot Structural Analysis Professional est capable de calculer les modèles les plus complexes grâce à un maillage automatique par éléments finis d'une puissance exceptionnelle, des algorithmes non linéaires, ainsi qu'un jeu complet de normes de conception, le tout pour des résultats quasiment instantanés. Il permet aussi l'évaluation des sollicitations ainsi que le ferrailage d'une structure. Ce logiciel est aussi utilisé pour le dimensionnement de la structure selon les Eurocodes. Son interface est présentée à la Figure suivante :

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

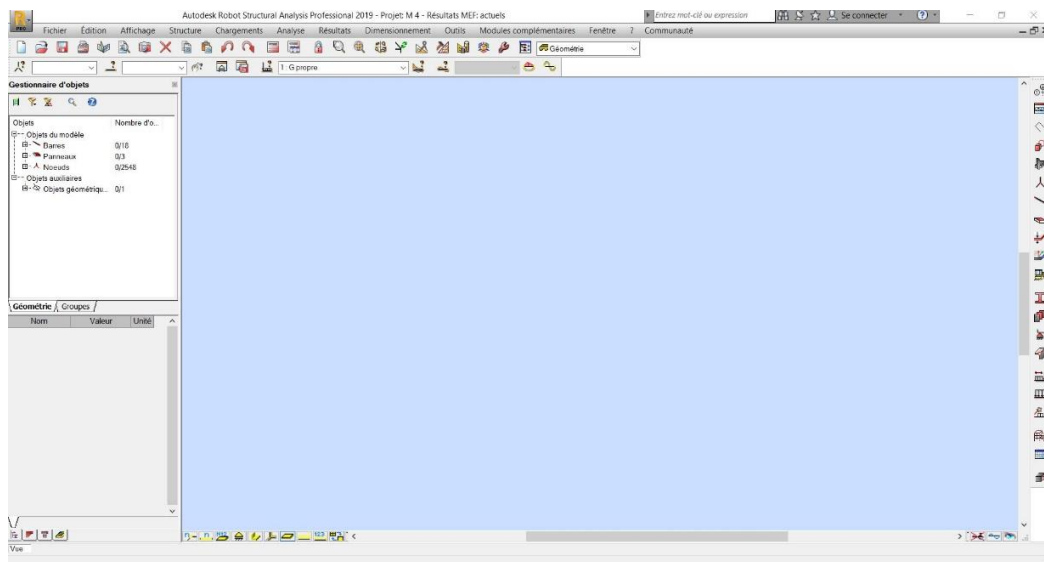


Figure 38 : interface du logiciel Robot

b) Description du model de dimensionnement

À l'aide du LOGICIEL ROBT, nous avons modélisé une structure composée de deux poutre en PRS en S460M sur les repose une dalle en béton C35/40 sur une longueur de 200 m. nous avons une partie de la structure entière du pont suffisante pour prendre en compte les sollicitations les plus défavorables. Nous avons ainsi modélisé la structure passant par la travée principale du pont de 75 m et les deux autres travées de 60 m chacune.

Ces deux poutres en Acier S460 reposent sur des appuis simples et un appui double au début de la structure. La liaison entre les poutres et le hourdis en béton armée est assurée par des appuis simples linéaires tout le long de chacune des poutres.

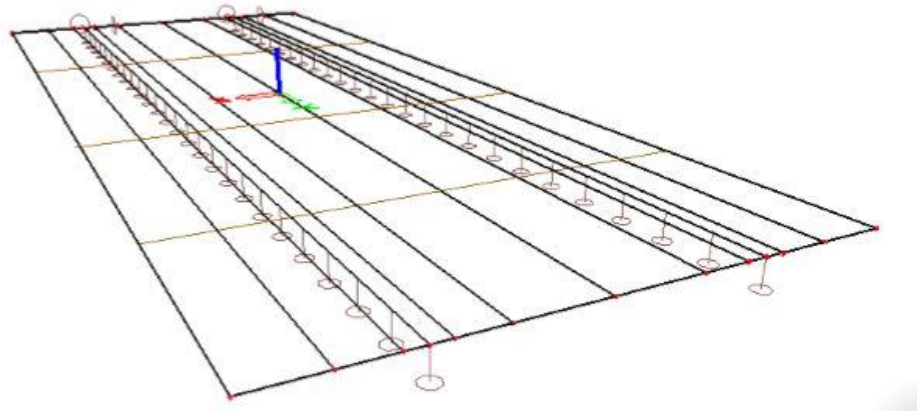


Figure 39 : illustration model 3D constitué par le hourdis et les liaisons linéaires simples

e) Application des charges sur le model

- Le poids propre

Le poids propre de l'hourdis et des poutres sont automatiquement pris en compte par le logiciel de calcul

Toutes fois les charges dues aux superstructures sont calculées et appliquées au modèle de façon à reproduire le plus proche possible la réalité du terrain

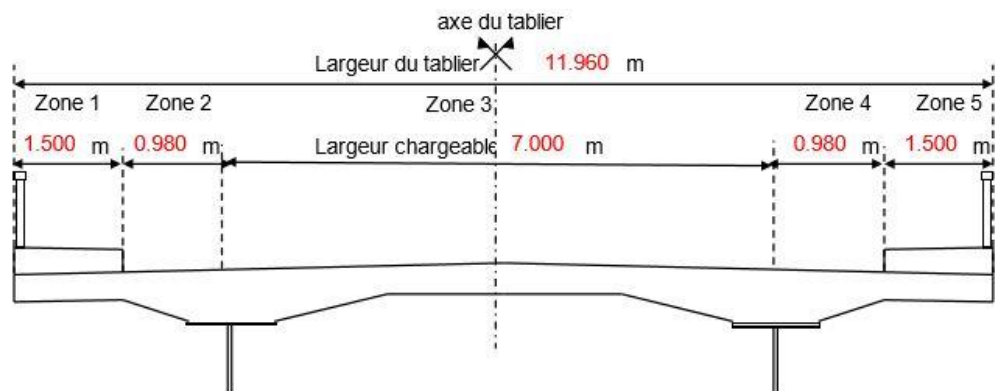


Figure 40 : application des superstructures dans le sens transversal

Le pont est de première classe

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

Nombre de voies de circulation $n=2$

Pour l'application des charges de superstructures, nous avons subdivisé le tablier en 05 zones :

- Zone 1 : Trottoir + GC type S8
- Zone 2 : GBA + bande neutralisée
- Zone 3 : Chaussée - largeur chargeable
- Zone 4 : GBA + bande neutralisée
- Zone 5 : Trottoir + GC type S8

Les charges à considérer sont celles du fascicule 61 titre II du CPC.

f) Application de la charge BC

On choisit le nombre et la disposition des convois de manière à produire l'effet le plus défavorable; tout en respectant le règlement suivant:

Dans le sens longitudinal, le nombre de camions est limité à 2 par file, orientés dans le même sens. La distance des 2 camions d'une même file est déterminée pour produire l'effet le plus défavorable et peut être nulle (minimum 4,5 m entre essieux des 2 camions). On peut considérer une partie d'un camion, l'autre partie étant sur la travée suivante ou sur le remblai d'accès, mais on ne peut couper un camion [1].

Dans le sens transversal, le nombre de files de camions, N_f , ne doit pas dépasser le nombre de voies, N_v , (c.à.d. $N_f \leq N_v$), même si cela est géométriquement possible. On ne peut pas couper une file de camion. De plus, une distance minimale de 0,25 m (Figure 3) est exigée entre l'axe de la file de roues la plus excentrée et le bord de:

- La largeur chargeable s'il s'agit du calcul des poutres principales.
- la largeur roulable s'il s'agit du calcul des autres éléments du tablier (hourdis, entretoises)

g) Application de la charge Bt

Dans le sens longitudinal et transversal, le convoi Bt est appliqué comme suit :

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

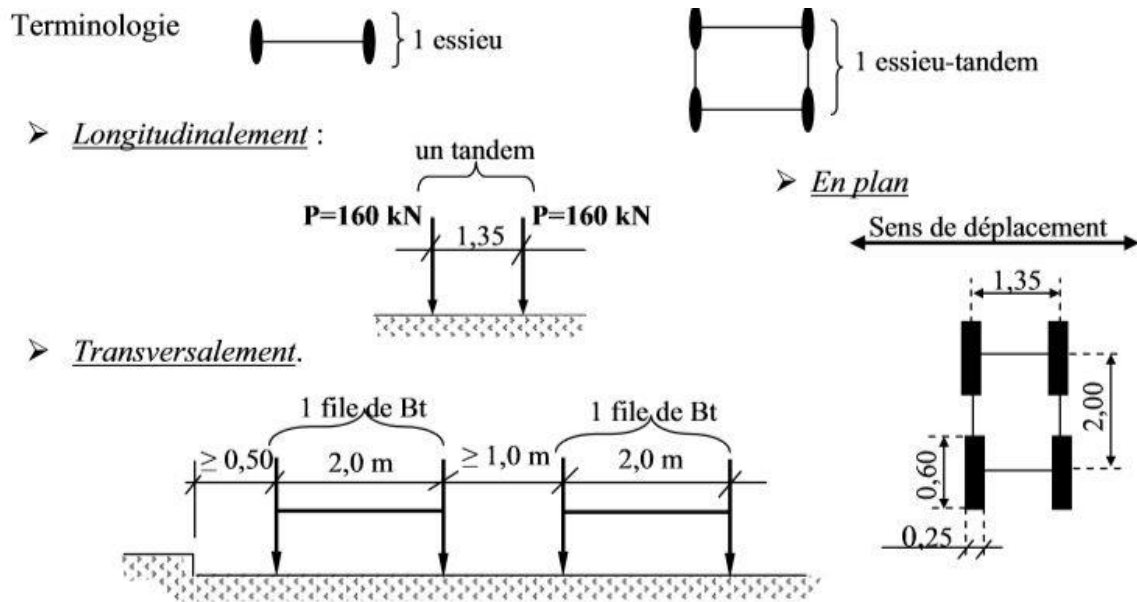


Figure 41 : application de la charge Bt[1].

Remarque :

Le système Bt ne s'applique pas au pont de la 3ème classe. Pour les ponts de la 1ère et de la 2ème classe, il convient de respecter les règlements suivants

- Dans le sens longitudinal, un seul tandem est disposé par file
- Dans le sens transversal, un seul tandem est supposé circuler sur les ponts à une voie. Alors que pour les ponts supportant deux voies ou plus, on ne peut placer que 2 tandems au plus sur la chaussée, côte à côte ou non, de manière à obtenir l'effet le plus défavorable. Une distance minimale de 0,50 m (Figure 4) est exigée entre l'axe de la file de roues la plus excentrée et le bord de :
- la largeur chargeable s'il s'agit du calcul des poutres principales.
- la largeur roulable s'il s'agit du calcul des autres éléments du tablier (tel que le hourdis ou les entretoises).

h) Application du convoi MC120

Le convoi Mc 120 s'applique comme suit :

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

- Ce système est exclusif de toute autre charge routière, C'est à dire qu'on ne lui ajoute pas l'effet de la charge de trottoir, par exemple
- Dans le sens transversal, un seul convoi est supposé circuler quelle que soit la largeur de la chaussée. Les chenilles peuvent être disposées sur toute la largeur chargeable. Leur position est choisie de manière à obtenir l'effet le plus défavorable
- Dans le sens longitudinal, la distance entre deux véhicules successifs d'un convoi est au moins égale à 36,50 m entre les points de contact avec la chaussée

ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Les aciers utilisés pour le hourdis du tablier influencent considérablement la conception et le dimensionnement du pont. Nous deux aciers de natures différentes à savoir :

➤ Les aciers de béton armé

Les valeurs de la limite élastique sont les mêmes en traction et en compression. Les aciers utilisés sont des aciers courants à haute adhérence de classe FeE40 type 1, sa limite élastique égale à $f_e=400$ MPA, la contrainte de rupture $f_r=480$ MPA.

- **Module d'élasticité de l'acier** : $E_s=2 \cdot 10^5$ MPA
- **Limite élastique**

Dans les calculs à l'ELU on introduit un coefficient γ_s tel que $\gamma_s = 1$ situation accidentelle. Et $\gamma_s=1,15$ situation transitoire durable

- **Contrainte limite de traction** [11].

Le tableau suivant ressort les différentes contraintes limites de traction de des aciers considérés aux différents états limites de calculs.

Tableau 9: caractéristiques de calcul de contrainte limite de traction

État considéré	ELS
En fissuration peu nuisible	Pas de limitation
En fissuration préjudiciable	$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; 110 \sqrt{n \cdot f_{tj}}\right)$
en fissuration très peu préjudiciable	$\sigma_s = \min\left(\frac{1}{2}f_e; 90 \sqrt{n \cdot f_{tj}}\right)$

Avec : $\begin{cases} n = 1 \Rightarrow \text{treillis soudé et ronds lisses} \\ n = 1,6 \Rightarrow \text{aciers à haute adhérence} \end{cases}$

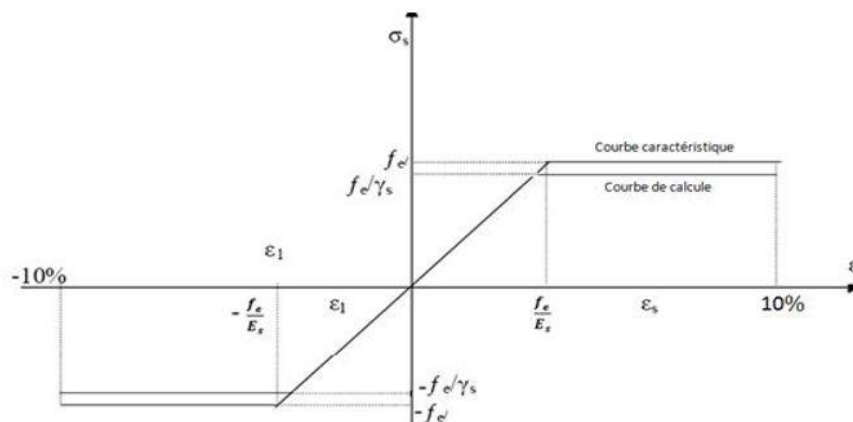


Figure 42 : modèle de calcul réglementaire [11].

➤ Le béton

- La qualité de béton dépend de la qualité de ces constituants, des techniques de fabrication et de mise en œuvre.
- Le béton est défini par la valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours qui est notée f_{c28} .
- Le béton est dosé à 400 kg/m³ de ciment, avec un contrôle strict.

Poids volumique

La masse volumique du béton armé $\gamma_b = 2,5 \text{ t/m}^3$

Résistance à la compression :

Pour le béton de la superstructure, $f_{c28} = 35 \text{ mpa}$ si $j \geq 28 \text{ jours}$

Pour un béton âgé de moins de 28 jours on utilise la formule suivante :

$$f_{tj} = \frac{j}{4,76 + 0,82xj} \times f_{c28} (\text{MPa})$$

La résistance à la traction :

Est liée à la résistance à la compression par la formule :

$$f_{t28} = \{0,6 + 0,06f_{cj} = 0,6 + 0,06 * 35 = 2,7 \text{ Mpa}\}$$

Contrainte de calcul pour (ELU)

C'est une valeur de contrainte qui ne peut être dépassée en aucun cas, cette contrainte est appelé contrainte admissible.

$$f_{bu} = \frac{0,85f_{cj}}{\theta \cdot \gamma \cdot b}$$

Avec $\theta = 1$, lorsque la durée d'application considérée est supérieure à 24 h

Avec $\theta = 0,9$ lorsque cette durée est comprise entre 1h et 24 h

Avec $\theta = 0,8$, lorsque cette durée est inférieure à 1h

Contrainte limite de service (ELS)

La contrainte admissible de compression du béton est calculée avec l'expression suivante :

$$\sigma = \begin{cases} 0,5x Fc28 \text{ en service} \\ 0,6x Fc28 \text{ en construction} \end{cases}$$

Coefficient de poisson

Le coefficient de poisson ν représente la variation relative de dimension transversale d'une Pièce soumise à une variation relative de dimension longitudinale. Le coefficient ν du béton pour un chargement instantané est de l'ordre de 0,3 mais il diminue avec le temps pour se rapprocher de la valeur 0,2. Quant au cas d'un béton fissuré, ν devient nul. On prend pour les calculs de béton la valeur :

$$\begin{cases} \nu = 0,2 \\ \nu = 0 \end{cases}$$

Module de déformation longitudinale

On considère un module de déformation longitudinale pour le béton (E_{ij}) défini par les règles BPEL comme suit :

Module de déformation instantanée (courte durée < 24 heures)

$$E_{ij} = 11000^3 \sqrt{f_{cj}} \text{ (MPa)}$$

Module de déformation différée (longue durée)

$$E_{ij} = 3700^3 \sqrt{f_{cj}} \text{ (MPa)}$$

Déformation transversale du béton

La déformation transversale du béton est donnée par la formule suivante :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ν : coefficient de poisson

E : module d'élasticité longitudinale

ANNEXE 3 : CALCUL DU HOUDIS

Le but de calcul de calcul est de déterminer les armatures nécessaires et de donner les minutes d'armatures. Donc après avoir vérifié la position de l'axe, nous allons modéliser notre structure et recenser les différentes sollicitations de notre model. Les sollicitations dans le hourdis sont issus des résultats de la modélisation du model dans le logiciel ROBOT 2017.

a- Vérification de la position de l'axe neutre

Dans un premier temps nous allons partir sur l'hypothèse selon laquelle l'axe neutre est situé hors de la dalle et nous allons faire nos calculs. La position de l'axe neutre est caractérisée par la distance z entre cet axe et la face supérieure de la dalle est donnée par l'expression suivante :

$$\begin{cases} A_h * z = A_a \left(\frac{h_a}{2} + h_c \right) \\ \text{ou} \\ A_h = A_a + \frac{b_{eff} * hc}{n} \\ n = 3 * \frac{Ecm}{Ea} \end{cases}$$

D'après l'Eurocode 4 qui traite les poutres mixtes, nous avons :

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2}$$

$$b_{ei} = \min \left(\frac{L_0}{8}; b_i \right)$$

$$L_0 = 42,5 = 4,8 \text{ et } b_1 = 2,5 \text{ et } b_2 = 3$$

$$b_{eff} = 5,5 \text{ m}$$

$$A_h * z = A_a \left(\frac{h_a}{2} + h_c \right) = 0,310 \left(\frac{2,6}{2} + 0,3 \right) = 0,196 \text{ m}$$

$$\text{ou} \\ A_h = A_a + \frac{b_{eff} * hc}{n} = 0,31 + \frac{5,5 + 0,27}{18} = 0,9$$

$$n = 3 * \frac{Ecm}{Ea} = 1,27$$

L'axe neutre de la structure mixte est situé dans l'âme du profilé mécanique. Donc nous pouvons étudier notre dalle simplement située dans la partie comprimée de la structure mixte.

b- Disposition constructives :

➤ **Découpage de la dalle en tronçons**

La dalle sera en grande partie réalisée par le coulage des tronçons successifs. Seuls les tronçons d'abouts seront coulés en place.

La longueur d'un plot standard a été fixé à : 5,970 m (soit au total 64 plots). Cette longueur d'un plot standard a été déterminé en prenant compte de :

- La largeur des poutres d'about qui est arrêté à 3,50 m
- Le clavage : 1m

➤ **Tunnel et poches :**

La dalle est poussée sur le PRS avec des goujons de connexion en place. Un tunnel filant permet de pousser le hourdis en béton sans être gêné par les goujons.

Des poches ponctuelles sont réservées dans la dalle au droit des PRS à intervalle régulier.

Elles permettent :

- Le bétonnage du tunnel après la fin du poussage;
- D'assurer une partie de l'accrochage de l'effet de glissement du PRS-hourdis, l'autre partie étant assurée par les clés sur les parois latérales du tunnel.

De manière à permettre un bétonnage correct du tunnel, on a disposera sur chacun des plots :

- 04 poches par poutres espacées de 1,493 m entre axes;
- U trou 80 cm de diamètre chaque poche pour le passage d'une aiguille vibrante.

On considère deux tailles de poches selon l'effort de glissement à prendre. On notera ainsi :

- T45, les plots dont les poches sont les plus grandes;
- T35, les plots dont les poches sont les plus petites.

c- **Principe de calcul de l'accrochage de glissement.**

Soit G la valeur du glissement PRS-hourdis en kN/ml à l'ELS

➤ Calcul de la part de béton repris par les clés :

Le béton est de classe C35/45

$$f_{t28} = 0,3 + 0 + 0,06f_{c28} = 0,6 + 0,06 * 35 = 2,75 \text{ MPA}$$

Dans les ouvrages préfabriqués, les voussoirs comportent des clefs multiples assurant la transmission de l'effort tranchant. On considère que le cisaillement est repris sur la section de la clef.

D'après le Guide du Setra-Ponts en encorbellement, le cisaillement repris sur la section de la clef est égal à : **91.3 t/ml**

$$\tau_b = 0,65 * f_{tj} + \sigma$$

Avec f_{tj} la résistance caractéristique à la traction du béton

σ , la contrainte normale au centre de gravité de la section

$$\tau_b = 0,65 * 2,75 + 0 = 1,789 \text{ kN/m}^2$$

Une clé classique comme celle représentée ci- dessous peut reprendre un effort

$V_{ad} = \tau_b \cdot 0,10 \cdot b$ Avec b la largeur de la clef et une section de cisaillement de 0,10 m.

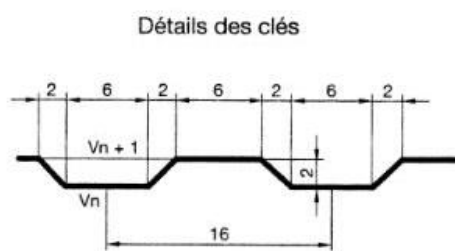
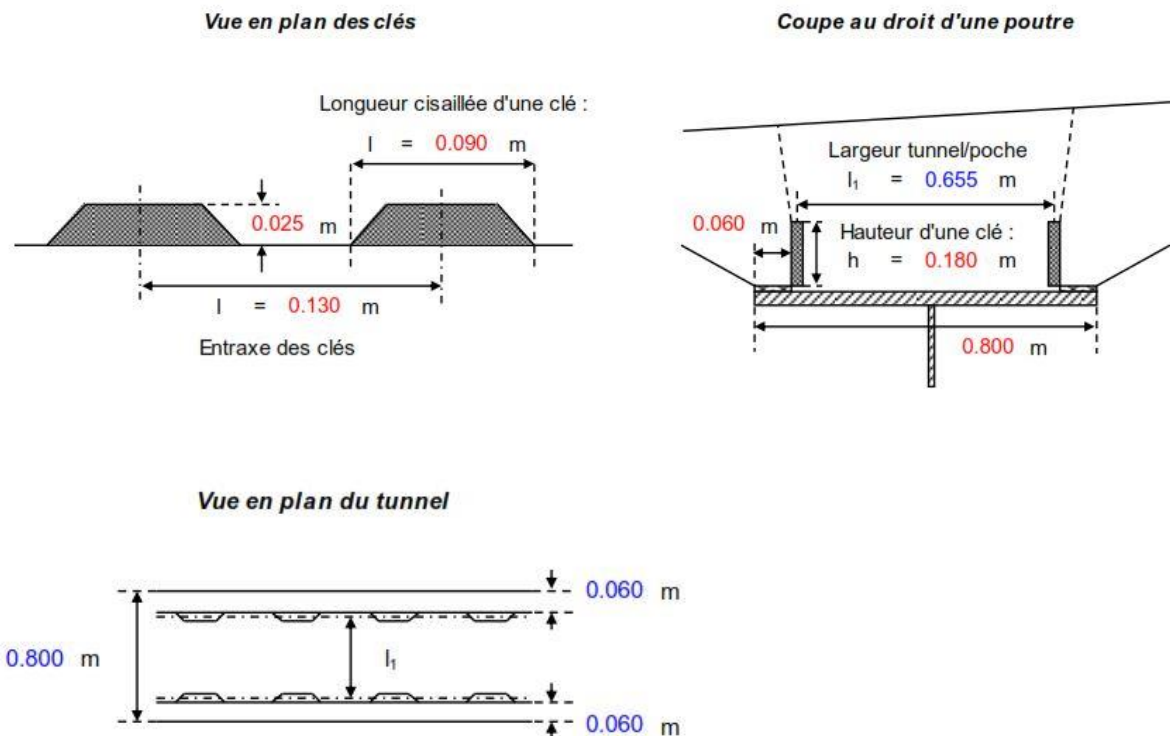


Figure 43 : détails de clés

Pour notre hourdis nous avons une clé comme représenté ci-dessous.

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**



Notons V_c l'effort par mètre linéaire de tunnel équilibré par les clés.

$$V_c = 2 * \tau * bV$$

$$V_c = 2 * \left[0,18 * 178,9 * \frac{0,09}{0,13} \right] = 44,58 \text{ t/ml}$$
 Pour les deux parois

$V_c = 44,58 \text{ t/ml}$ Est l'effort de résistance des deux parois des clés au glissement.

➤ **Calcul de la part de béton repris par les poches**

Notons V_p l'effort par mètre linéaire équilibré par les poches.

$$V_p = \frac{A_c * \tau}{e}$$

Où : A_c représente la surface cisailée $A_c = l_1 * l_2$

$$\text{Or } I_1 = 0,800 - \left(0,06 + \frac{0,025}{2}\right) * 2 = 0,655 \text{ m};$$

I_1 Représente la largeur de la poche dans le sens transversal à l'interface tunnel/poche

I_2 Représente la largeur de la poche de la poche dans le sens longitudinal à l'interface tunnel/poche.

τ : Le cisaillement admissible à l'ELS retenu

e : espacement des poches

- Calcul de la valeur de τ

En se référant au BAEL paragraphe A5-3 et A5-1-21, à l'ELU

$$\tau = \min\left(\frac{0,15f_c}{1,5}; 4\right) = \min\left(\frac{0,15*35}{1,5}; 4\right) = 3,5 \text{ Mpa ou } 356,8 \text{ t/m}^2 \text{ à l'ELU}$$

$$\text{Soit par assimilation à l'ELS, } \tau = \frac{356,8}{1,35} = 264,3 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

Comme l'on place 04 poches par poutres et par plot tous les $e=1,493 \text{ m}$,

$$V_p = \frac{0,65.I_2 \times 264,3}{1,493} = \mathbf{116,0 \times I_2}$$

$$V_p = \mathbf{116,0 \text{ } I_2 \text{ t/ml}}$$

➤ **Effort de glissement admissible pour l'ensemble « clé + poche »**

On somme le glissement repris par l'ensemble « clé + poche » :

$$V_G = \mathbf{116 I_2 + 44,6 \text{ t/ml.}}$$

➤ **Effort de glissement G pour un PRS :**

[illegible]

D'après les résultats de calcul extraite de la modélisation du model de calcul, des efforts de glissement G pour un PRS aux ELS, nous avons une valeur maximale de cisaillement

Pour ainsi dire que dans les zones où le glissement est important, on doit donc avoir :

$$I_2 \geq \frac{91,3 - 44,6}{116,0} = 0,402 \text{ m}$$

Sur tous les plots, les poches auront pour dimensions 0,655 m x 0,420 m à l'interface/tunnel/poche

$$V_G = 116 \cdot 0,420 + 44,6 = 93,3 \text{ t/ml.}$$

C- armature du tunnel et des poches

On considère : $V_p = 116 \times 0,420 = 48,7$ t/ml valeur admissible à l'ELS les poches sont disposées tous les $e = 1,493$ m

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

L'effort de glissement à reprendre par chaque poche est égal à : $V_p = 48,7 * 1,493 = 72,7 \text{ t}$

Armature à disposer dans les poches pour reprendre cet effort :

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{72,7}{2,16} = 33,7 \text{ cm}$$

$$A = 33,7 \text{ cm}^2$$

On prendra 18H12 soit $40,2 \text{ cm}^2$

➤ Calcul des armatures à disposer au-dessus du tunnel.

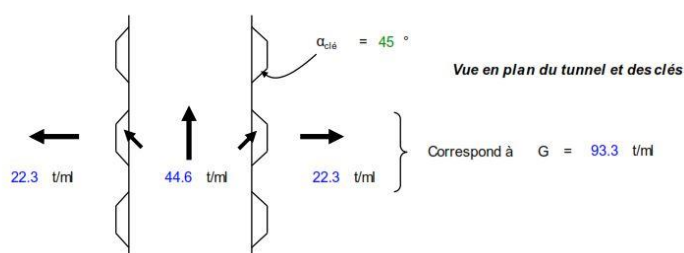


Figure 45 : effort de glissement repris au niveau des clés

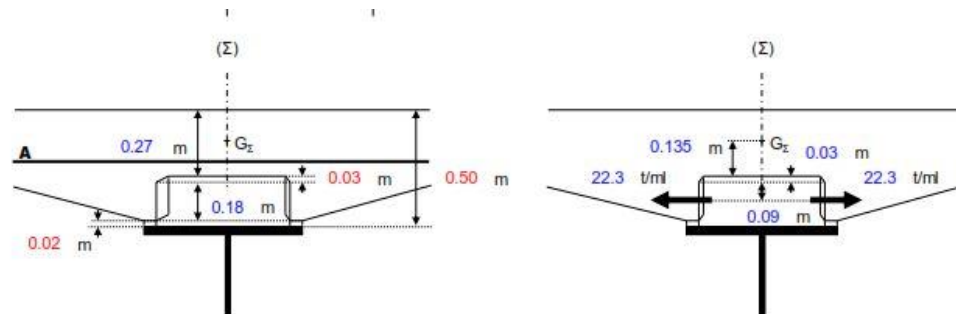


Figure 46: détails des dimensions du tunnel.

Les clés multiples permettent de reprendre un effort de glissement égal :

$V_c = 44,6 \text{ t/ml}$. L'effort ainsi repris génère un moment qui tend la partie située au-dessus du tunnel.

On a au point G_z :

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

$$\begin{cases} N = -22,29 \text{ t/ml} \\ M = 22,29 \times (0,09 + 0,03 + 0,135) - M_{cp} \end{cases}$$

M_{cp} Est le moment d'encorbellement qui vient comprimer le fibre inferieure et égale à 2,45 t/ml

Soit : $N = -22,29 \text{ t/ml}$ et $M = 5,56 - 2,45 = 3,24 \text{ tm/ml}$

On considère que les armatures sont disposées 3 cm au-dessus du tunnel

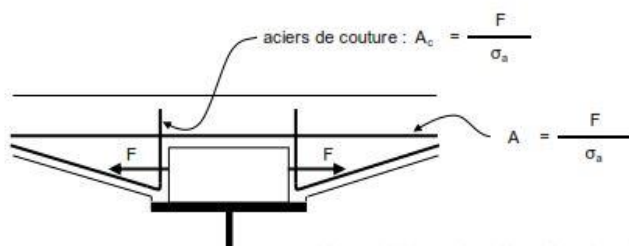
D'ou :

$$A = \frac{1}{2,16} \times \left[\frac{3,24}{0,9 \times 0,24} + \frac{22,29}{2} \right] = 12,1 \text{ cm}^2$$

Sur 1,493 m $A = 12,1 \times 1,493 = 18,1 \text{ cm}^2$ à disposer entre 02 poches

On disposera donc **3HA 25 + 3 HA 25 (29,5 cm²) entre 02 poches**

➤ **Calcul des aciers de couture**



On considère que les efforts F sont repris par les armatures A . pour transmettre ces efforts, on met en place des aciers de couture.

$F = 22,3 \text{ t/ml}$

$$A = \frac{22,3 \times 1,493}{2,16} = 15,4 \text{ cm}^2$$

D- vérification de la dalle

Le ferrailage de la dalle se fait dans le sens longitudinal et transversal. Le ferrailage obtenu est réparti en 02 à savoir la moitié sur le lit inférieur et l'autre moitié en lit supérieure. Ferrailage longitudinal de la dalle. La fissuration du béton est supposée préjudiciable et il y'a pas de de prise en compte des dispositions sismiques.

La dalle est ferrillée dans les deux sens à savoir longitudinalement et transversalement. Il s'agit donc d'étudier une section rectangulaire en flexion simple dans laquelle le moment longitudinal ou transversal le plus défavorable est connu, sur appui et en travée (M_u). Le ferrailage se fera au ml. Les formules allant de 2.58 à 2.62 donnent les paramètres de calcul des sections d'aciers

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}})$$

$$y_u = \alpha_u d$$

$$Z_u = d - 0,4y_u$$

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u f_{su}}$$

➤ Calcul du Ferrailage longitudinal de la dalle

Ci- dessous est présenté l'organigramme de calcul de la section d'acier. Les figures ci-dessous également présentent les moments fléchissant respectivement l'ELU et à l'ELS en flexion longitudinale de la dalle.

Tableau 10: récapitulatif de sollicitations

moment transversal		moment KNm/ml
ELS	Max	201.93
	Min	-148.76

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

	max	276.19
ELU	Min	
moment longitudinal		moment KNm/ml
ELS	fibre inferieure	34.32
	fibre supérieure	47.71
	fibre inferieure	32.76
ELU	fibre supérieure	63.87

➤ Aciers transversaux en fibre inférieure

Tableau 11 : calcul acier transversaux en fibre inferieure

acier transversaux inferieures	
b0 (m)	1
h (m)	0.5
d (m)	0.05
d' (m)	0.45
M (t.m)	20.193
A (cm²)	28.16 cm ²

On disposera des HA 25 e = 0,17 m soit 28,8 cm²

➤ Aciers transversaux en fibre supérieure

Tableau 12 : calcul acier transversaux en fibre supérieure

acier trans sup	
b0 (m)	1
h (m)	0.5

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

d (m)	0.05
d' (m)	0.45
M (t.m)	14.87
A (cm 2)	27.31

On disposera des HA 25 e = 0,17 m soit 28,8 cm²

- Aciers longitudinaux en fibre inférieure

Tableau 13 : calcul acier longitudinaux en fibre inférieure

acier long inf	
b0 (m)	1
h (m)	0.5
d (m)	0.08
d' (m)	0.42
M (t.m)	4.71
A (cm 2)	6.43

On disposera des HA 20+ HA 16 e =0,3 m soit 17,1 cm²

- Aciers longitudinaux en fibre supérieure

Tableau 14 : calcul acier longitudinaux en fibre supérieure

acier long sup	
b0 (m)	1
h (m)	0.5
d (m)	0.08
d' (m)	0.42
M (t.m)	3.43

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

A (cm 2)	4.78
-----------------	-------------

On disposera des HA 20 e = 0,15 soit 20,9 cm

E- principe de ferrailage de l'hourdis

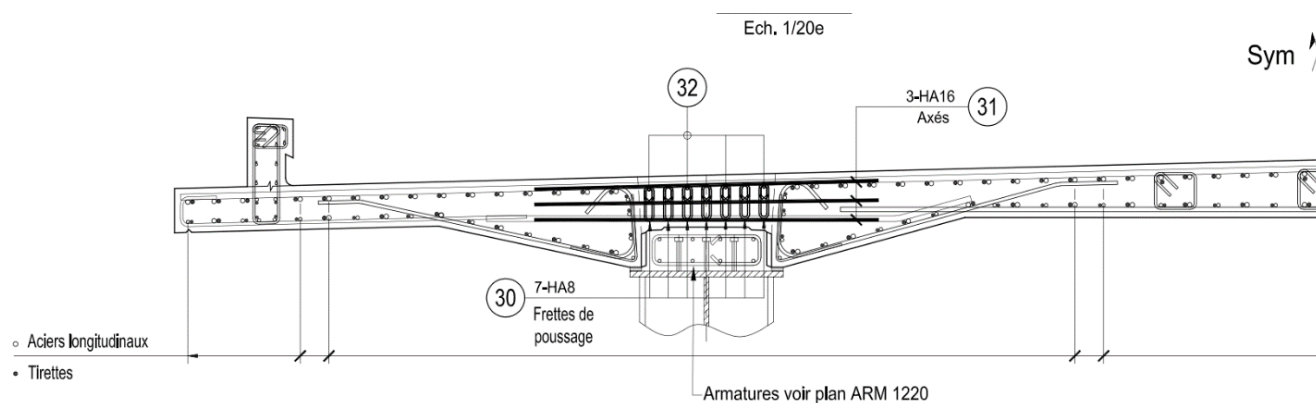


Figure 47 : principe de ferrailage de la dalle

ANNEXE 4 : VERIFICATION DU NON POINÇONNEMENT DE LA DALLE

Une force est localisée lorsque les dimensions de son impact sont petites par rapport aux dimensions de la dalle. Sous l'action des forces localisées telle que le système de charge Br, il y'a lieu de vérifier la résistance de la dalle au poinçonnement.

La condition suivante doit être vérifiée pour qu'il n'y ait pas poinçonnement :

$$Q_{ELU} \leq Q_{adm} = 0,45x \frac{U_c x h x f_{c28}}{\gamma_b}$$

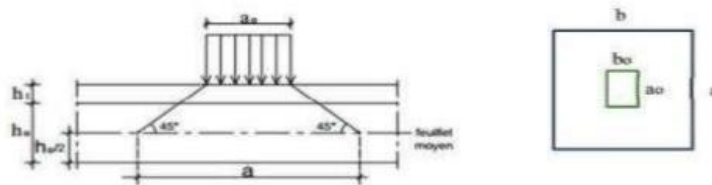


Figure 48 : diffusion de charge dans le hourdis (sens transversal)

$$b_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$a_0 = 0,6 \text{ m}$$

$$h_1 = \text{épaisseur du revêtement} = 0,11 \text{ m}$$

$$h_0 = \text{épaisseur de la dalle de couverture} = 0,72 \text{ m}$$

$$a \times b = \text{dimension du rectangle au niveau feuillet moyen}$$

$$a_0 \times b_0 = \text{dimension d'impact sur le revêtement}$$

$$a = h + 2\xi e + a_0$$

$$b = h + 2\xi e + b_0$$

$$\xi = \text{coefficient de la nature du revetement (BB)}$$

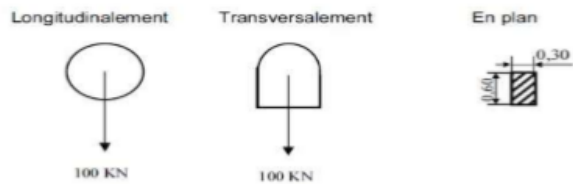


Figure 49 : disposition du système Br pour calcul poinçonnement de la dalle

Les angles de diffusion de la surcharge routière du système Br sont respectivement de 37° dans la couche de roulement d'épaisseur 11cm et de 45° dans le hourdis en Béton armé

La condition suivante doit être vérifiée pour qu'il n'y ait pas de poinçonnement

$$Q_{ELU} \leq Q_{adm} = 0,45x \frac{U_c x h x f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$U_c = 2(a + b) = 2 \begin{cases} a = a_0 + 2\xi e + h = 0,3 + 2x \frac{4}{3} x (0,08 + 0,03) + 0,27 = 0,86 \text{ m} \\ b = b_0 + 2\xi e + h = 0,6 + 2x \frac{4}{3} x (0,08 + 0,03) + 0,027 = 1,16 \text{ m} \end{cases}$$

$$Q_{ELU} = 1,6x\delta_{Br}xbrxQ = 1,6x1,038 * 1x100 = 166,08kN$$

$$Q=100kN$$

$$U_c = 4,04m$$

$$Q_{adm} = 0,45x \frac{U_c x h x f_{c28}}{\gamma_b} = 0,45x \frac{4,04x0,27x35x10^3}{1,5} = 1145,34kN$$

$$Q_{ELU} = 166, kN < Q_{adm} = 1145,34kN$$

Condition satisfaisante, il n'y aura pas un risque de poinçonnement dans la dalle

ANNEXE 5 : CALCUL DU JOINT DE CHAUSSEE

Le calcul du joint de chaussée se base principalement sur les deux combinaisons suivantes :

- Déplacement dû aux variations linéaires (déplacement, fluage, retrait, température) en plus le déplacement du au freinage.
- Déplacement dû aux variations linéaires et celui dû à la variation de la température.
 - a) Effet dû à la variation de la température

La variation d'une structure librement dilatable, en fonction de la température est donnée par :

$$\Delta L = L \lambda \Delta T$$

L=200 m est la largeur dilatable

ΔL = variation de longueur

$\lambda = 12.10^{-6}$ Par °c = coefficient de dilation structure mixte acier-béton

ΔT : Variation de température

$$\Delta T_+ = 30^\circ$$

$$\Delta T_- = -40^\circ$$

D'où :

$\Delta L_+ = 200 \times 12.10^{-6} \times 30 = 72 \text{ mm}$ est la variation de la longueur du tablier (fermeture du souffle)

$$\Delta L_+ = -72 \text{ mm}$$

$\Delta L_- = 200 \times 12.10^{-6} \times 40 = 96 \text{ mm}$ est la variation de la longueur du tablier (ouverture du souffle)

$$\Delta L_- = 96 \text{ mm}$$

- b) Effet dû aux charges d'exploitation

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOURDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

D'après le guide du SETRA « joints de chaussée des ponts routes » de juillet 196 le déplacement du tablier dû aux charges d'exploitation provient essentiellement des efforts de freinage.

Il est donné par la formule suivante :

$$\Delta l_2 = \frac{TxF_{freinage}}{GA}$$

T= hauteur nette de l'élastomère =73 mm =0,073 m

F_{freinage} = force de freinage = 300 KN =0,03 MN est l'effort de freinage d'un convoi BC

G= module de cisaillement conventionnel de l'élastomère = 0,9 MPa

A= aire nette de l'élastomère = 0,4x0,5 =0,2 m²

Soit :

$$\Delta l_2 = \frac{0,073x\frac{0,3}{2}}{0,9x0,2}$$

$$\Delta l_2 = 60,83 \text{ mm}$$

On aura donc un souffle

$$S = \Delta l_t = \Delta L_+ + \Delta L_- + \Delta L_2$$

$$S = 96 + 72 + 6,083$$

Donc le souffle doit être au minimum

$$S = 174,08 \text{ mm}$$

c) Choix du joint de chaussée

la figure ci-dessous nous donne les différentes plages d'utilisation des joints de chaussée

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

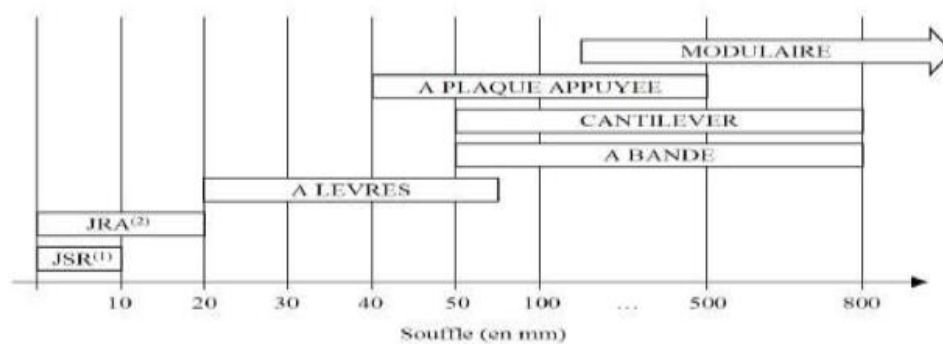


Figure 50: plages d'utilisation des joints de chaussée

Pour notre cas, nous avons la possibilité d'utilisation de 04 type de joint de chaussée et le type de joint de chaussée le mieux adapté à notre souffle **S=176,08 mm** est un joint de chaussée modulable.

Nous avons donc opté pour le joint FREYSSINET MULTIFLEX SX 220

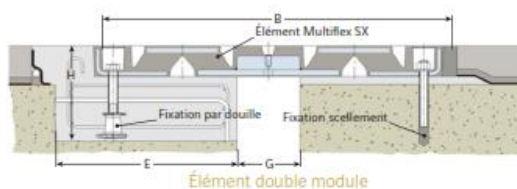


Figure 51 : joint de chaussée MULTIFLEX SX

ANNEXE 6 : PLANNING DE COULAGE DES PLOTS DE DALLE

Tableau 15 : planning de coulage des plots de dalle

TACHES	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ECRASEMENT des epreuves par le service laboratoire (vérifier si resistance > 14MPA)	6											
descente du coffrage de 2 cm		4										
décoffrage des arrêts			9									
mise en place des verrins				9								
poussage des hourdis					9							
levage et réglage des coffrages					4 (DICO)							
nettoyage des coffrages et arrêts métallique 6 m						9						
mise en place des armatures et préparation avant bétonnage (4	4				
pause des équipes												
arrivée du béton toupie (coulage)									23 m3	6		
cure du béton enlèvement des boîtes											9+ chef	6
nettoyage règles etc.....												3



DEPARTEMENT GENIE CIVIL
ET HYDRAULIQUE
FILIERE : GENIE CIVIL

B.P: 11 306 Yaoundé,
Tel/fax : (237) 22 22 03 06/ (237) 22 22 203 08

ANNEXE 7 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

Dans cette partie, il sera question de mener une étude d'impact sur l'environnement, d'identifier et d'analyser les impacts environnementaux et sociaux en phase de planification, d'installation de chantier, celle de construction et pendant l'exploitation. Cette étude vise tout aussi à proposer des mesures d'atténuations. Sa démarche a pour avantage également d'éviter d'intervenir après- coup pour limiter les dégâts dont les corrections seront difficiles, insatisfaisantes et voire très onéreuses. Du coup, elle est bénéfique non seulement pour l'environnement, mais aussi pour le maître d'ouvrage.

I- CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

Plusieurs intervenants sont impliqués dans la mise en œuvre de la procédure de l'EIES au Cameroun et selon la nature et l'importance du projet. Dans le cadre du présent projet, le cadre Institutionnel concerne les Institutions Publiques Nationales, notamment les Ministères des Travaux Publics (MINTP) ; des Forêts et de la Faune (MINFOF); de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER); de l'Économie, des Affaires Sociales (MINAS) ; de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT); de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable (MINEPDED); des Transports. La réalisation de ce projet s'appuie sur le cadre défini dans la politique nationale en matière de protection de l'environnement qui situe les enjeux environnementaux au Cameroun et les textes législatifs et réglementaires tels que :

- La loi cadre n° 96/12 du 5 Août 1996 relative à la gestion de l'environnement. Complétée par le décret N° 2013/0103/PM du 14 février 2013 qui fixent les modalités de réalisation des EIE au Cameroun ;
- La loi n° 94/01 du 20 janvier 1994 portant Régime des Forêts, de la Faune et de la pêche;
- La loi n°96/67 du 08 avril 1996 portant protection du patrimoine routier national ;
- Le décret n°2003/418/PM du 25 Février 2003 fixant les tarifs des indemnités ;
- L'arrêté N°00001 /MINEPDED du 08 Février 2016 qui fixe les différentes catégories d'opérations soumises à la réalisation d'une étude d'impact détaillée ;



II- IDENTIFICATION, DESCRIPTION ET ANALYSE DES IMPACT POTENTIELS DU PROJET

Le projet de construction de l'ouvrage de franchissement sur le fleuve SANGA à Nachtigal engendrera des modifications de l'environnement. La nature et la gravité de perturbations occasionnées dépendent des facteurs comme de mode de réalisation des travaux, les caractéristiques et sensibilités du site du projet et particulièrement des méthodes de gestion et de contrôle des opérations de construction.

La description et l'analyse des impacts visent à décrire les relations entre le projet et les différentes composantes de l'environnement, en utilisant une méthodologie et des critères appropriés. Les impacts du projet sont déterminés en fonction des différentes phases de réalisation du projet. Le tableau ci-dessous liste l'ensemble des activités susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect sur l'environnement physique, biologique et socioéconomique

Tableau 16 : *les phases de réalisation des travaux et des activités susceptibles d'avoir des impacts sur l'environnement.*

Phase des travaux	Types de travaux	Activités
Phase préparatoire	Installation du chantier	<ul style="list-style-type: none"> • Acquisition des terrains • Transport et manutention des engins, machinerie et équipements ; • Recrutement des manœuvres ; • Installation de la base du chantier ; • Terrassement pour le dégagement des emprises • Exploitation des zones d'emprunt et carrière
Phase de construction	Construction des ouvrages projetés	<ul style="list-style-type: none"> • Travaux de dégagement d'emprise et de terrassement généraux • Terrassement pour ouvrage d'art

**ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN**

		<ul style="list-style-type: none"> • Fondations spéciales et construction des piles et culées • La construction du tablier • Revêtement et équipement en infrastructures
Phase de fin de travaux	Fermeture du chantier	<ul style="list-style-type: none"> • Démantèlement des installations de chantier • Nettoyage du site
Phase d'exploitation du projet	Entretien des infrastructures construites	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi de l'exploitation des infrastructures réalisées

1- Impact du projet en phase de chantier

La phase de chantier comprend la phase préparatoire et la phase de construction. Les enjeux environnementaux de cette phase sont présentés comme suit:

a) Les impacts négatifs

➤ Impacts négatifs sur le milieu physique

Pour l'installation de la base du chantier, des travaux de terrassement sont nécessaires et ces derniers auront de potentiels impacts sur le milieu physique du site identifié pour cet usage.

Sur le sol : accélération de l'érosion du sol et risque de contamination par les produits chimiques : du fait des travaux de terrassement et de décapage pour l'installation de la base du chantier, aura pour impact la mise à nu total du sol et une exposition plus prononcée aux effets de l'érosion. Et pendant l'exploitation de la base, le sol pourra être soumis à des expositions accidentelles des huiles de moteurs et du béton surtout pendant la période production abondante de béton.

Sur les eaux : Pollution des eaux de surface et des eaux souterraines :

La contamination du sol par les produits chimiques entraînera la pollution des eaux de la Sanaga par ruissellement et les eaux souterraines, par le fait de l'infiltration des polluants dans le sous-sol.

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

En plus, lors des travaux de construction du pont, l'eau du fleuve sera soumise à une forte pollution liée aux travaux de forage des fondations du pont et aux déversements accidentels des produits chimiques tels que les huiles usagées, les laitances de ciment au cours de la fabrication et la mise en œuvre de béton au cours des travaux de construction des pieux.

Sur l'air : Pollution atmosphérique

Les travaux de terrassement auront des impacts sur la qualité de l'air avec l'émission d'une quantité relativement importante de polluants atmosphériques : émissions de poussières (polluants physiques) et émissions de fumées d'échappement des engins utilisés (polluants chimiques).

Impact sur la végétation : Destruction de la végétation

Le site de la base de chantier est composé d'une végétation d'arbres et d'herbes. Cette végétation arborée et herbeuse sera détruite lors des travaux d'installation de la base vie. En plus lors de la construction de la voie d'accès sur le pont les travaux induiront la destruction de quelques espèces végétales identifiées dans la relique de la forêt qui jouxte le fleuve

➤ Impact négatifs sur le milieu humain

Risque d'accidents

En phase de construction de l'ouvrage le personnel exécutant sera exposé aux risques d'accident par noyade étant donné que les travaux se réalisent sur le fleuve.

Atteinte à la quiétude des populations riveraines par les bruits

Durant les travaux, les populations riveraines seront exposées à différentes sortes d'incidences comme les nuisances sonores sensorielles qui se manifestent par l'intensification du niveau de bruits. Les nuisances sonores ou acoustiques qui concernent à la fois les riverains mais aussi le personnel de chantier, peuvent nuire à leur confort, leur quiétude et à leur santé. Elles sont générées par les mouvements des engins, par le fonctionnement des machines et appareils de chantier et par les travaux bruyants.

Risque de propagation du VIH-SIDA

La zone du projet est une zone fragilisée par un niveau de pauvreté très élevé. Avec l'arrivée des travailleurs de l'entreprise chargée des travaux disposant des pouvoir économiques et financiers important, cette situation favorisera les contacts entre ce personnel et la population féminine locale. Ce qui pourrait favoriser le risque de propagation du VIH-SIDA.

b) Impacts positifs

➤ **impacts positifs sur le milieu biophysique**

En phase de chantier aucun impact positif n'est à signaler sur le milieu biophysique

➤ **impact du projet sur le milieu humain**

Développement d'emplois

Le projet contribuera à la création de nombreux emplois temporaires pour la main d'œuvre locale. La création de ces emplois portera sur :

- Le recrutement de plusieurs contractuels (ex. les manœuvres) par l'entreprise chargée de réaliser les travaux et ses sous-traitants. Les populations environnantes constitueront une source potentielle pour la fourniture de cette main-d'œuvre.
- L'émergence de petits commerces à proximité des chantiers pour la vente de nourriture et autres produits divers de consommation.

Avec la création de ces emplois temporaires, le projet contribuera à la lutte contre la pauvreté en milieu rural.

Développement circonstanciel d'activités économiques

Les travaux favoriseront un développement circonstanciel d'activités commerciales et de restauration aux alentours du chantier du fait de la présence du personnel de chantier qui s'approvisionnera pendant les heures de travail dans les commerces environnants. Cela favorisera une augmentation de la commercialisation de plusieurs produits locaux et améliorera les chiffres d'affaires des commerçants locaux.

La vie sociale au niveau du village

Les autorités des Arrondissement de Ntui et Batchenga, village riverain à l'ouvrage sera renforcée pendant la phase des travaux. En effet, l'implication des chefs dans la mise en œuvre des engagements pris par les différentes parties (promoteur, entreprise et population), renforcera la confiance placée en eux par les populations, ce qui contribuera à la cohésion sociale.

2- Impact du projet en phase d'exploitation de l'ouvrage

a) Impacts négatifs

➤ impacts négatifs sur le milieu biophysique

Aucun impact négatif n'est à signaler au niveau du climat, relief, de la géologie et des sols

➤ Sur la Sanaga et les ressources en eau

Les effets négatifs que l'exploitation de l'ouvrage peut engendrer sont : un surcreusement artificiel et/ou naturel jusqu'à atteindre une profondeur d'équilibre du chenal central ainsi qu'une érosion rapide de l'épaule sableuse en raison de la forte augmentation des vitesses de courant dans la section mouillée résiduelle ;

- un ralentissement du courant en amont de l'ouvrage et dans les zones abritées par les remblais; ce qui entraînera un envasement des berges et des baies, une création de zones «mortes», milieux confinés et mal renouvelés, une sédimentation des grosses particules charriées par le courant et une création de haut-fond et de bancs sableux ;
- un frein à la dérive des végétations aquatiques flottantes en période de crue; ce qui a pour conséquence une accumulation de matières organiques, de macro déchets d'origine humaine dans les zones calmes, de végétaux le long des remblais et une intensification de l'envasement ;

➤ Impact négatifs Sur la qualité de l'air

La présence de l'ouvrage de franchissement sur la Sanaga à Natchigal entrainera une augmentation du trafic routier entre Batchenga et Ntui ; ceci provoquera localement une détérioration de la qualité de l'air à cause des gaz d'échappement issus des véhicules. Cependant, compte tenu du fait que l'ouvrage se trouve en milieu rural où le flux du trafic restera assez faible, les incidences négatives de l'exploitation de l'ouvrage sur la qualité de l'air seront négligeables.

➤ **Impact négatifs sur l'état de sécurité routière**

La réalisation du pont va permettre un accroissement de la circulation des usagers. Les trafics sur ce pont et les voies d'accès seront en constante augmentation compte tenu de sa qualité et le gain de temps qu'elle permettra de réaliser. Cette situation expose les populations riveraines à des risques importants d'accidents.

➤ **Perte d'activité pour les piroguiers**

La traversée du fleuve qui est actuellement assurée par les piroguiers constitue pour ceux-ci une source de revenus et certains un emploi. Avec l'avènement du pont cette activité disparaîtra ce qui constitue une perte pour ces piroguiers

b) Impacts positifs liés à l'exploitation de l'ouvrage

➤ **impacts positifs sur le milieu physique**

L'exploitation et l'entretien de l'ouvrage de franchissement n'engendre aucun impact positif sur :

- le climat
- le relief, le paysage, la géologie, et les sols ;
- l'hydrologie et les ressources en eau
- la qualité de l'air ;
- l'état acoustique

➤ **impact positifs sur le milieu humain**

Impact positif sur la population

Le pont supprimera tous les désagréments et autres difficultés dus à la liaison par pirogues et le bac: risques de noyade, temps d'attente important, contraintes horaires, etc. Les populations riveraines pourront se déplacer rapidement, aisément et à tout moment.

Impact sur la vie sociale

Etant avant tout un enjeu pour la collectivité, le pont en tant qu'infrastructure routière aura un impact positif significatif sur la vie sociale dans l'ensemble de la région, notamment dans le domaine du développement. La cohabitation pont / villages riverains suscitera une relation particulière d'appartenance qui alimentera la vie sociale.

III- MESURES D'ATTENUATIONS DES IMPACTS

1- Mesures d'atténuations des impacts négatifs du projet en phase de chantier

Mesure de protection du sol contre l'érosion et les contaminations chimiques

Le reprofilage léger du site d'installation de la base de chantier pour niveler la surface du sol ; et à une imperméabilisation de la plate-forme de sorte à stabiliser le sol à le rendre plus compact pour réduire voire supprimer les effets de l'érosion.

L'aménagement d'une aire de stockage des produits polluants et dangereux (fût d'huiles neuves et usée, fût ou conteneur de carburant). Cette aire de stockage étant perméabilisée

L'aménagement d'une aire de stationnement des véhicules et machines de chantier.

Mesures de protection des eaux de surface et souterraines

Elles sont les mêmes que les mesures de protection du sol qui une fois mises en place empêcheront toute infiltration de contaminants dans le sous-sol susceptibles de polluer les eaux de surface et souterraines.

Mesures de réduction de la pollution de l'air

Les travaux vont générer des pollutions atmosphériques .Toutefois, il est recommandé à l'entreprise lors des travaux de construction des voies d'accès (déblais et remblais notamment) les mesures suivantes :

Procéder par temps sec à l'arrosage des plateformes

En ce qui concerne la pollution par les fumées des machines et véhicules, il est recommandé que l'entreprise des travaux assure une visite technique effective de ses machines et véhicules

Mesure de sécurité sur la base de chantier

Pour la sécurité du personnel et des installations, l'entreprise devra prendre un certain nombre de précautions :

L'enceinte de la base de chantier sera entièrement clôturée et accès interdit au public, elle devra être éclairée

Mesures de protection relatives aux travailleurs et des usagers de la route

Le maintien de la circulation par les flags men, des signalisations provisoires et délimitation de vitesse dans les zones de travaux. La distribution des équipements de protection individuels aux travailleurs, la mise sur pieds des règles de sécurité et s'assurer du respect de ces règles

2- Mesures relatives aux impacts en phase de construction des ouvrages

Une fois en phase d'exploitation de l'ouvrage les mesures relatives aux impacts à cette phase sont le recensement des habitants des maisons d'habitation détruites qui bénéficieront des indemnités à la hauteur des préjudices subis

IV- SURVEILLANCE ET SUIVI ENVIRONNEMENTAL

La surveillance environnementale est une activité qui vise à s'assurer que le maître d'ouvrage respecte ses engagements et ses obligations en matière d'environnement tout au long du cycle de vie du projet. Elle a pour objectif essentiel de réduire les désagréments susceptibles d'être causés par les activités du projet sur les populations et sur les différents milieux. Le programme de surveillance élaboré lors de l'EIES a donc pour but :

- De s'assurer de la mise en œuvre des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification prévues dans l'EIES ;
- De s'assurer du respect des exigences relatives aux lois et règlements en vigueur ;
- De faire respecter l'échéancier de réalisation ;

Quant au suivi environnemental, il s'effectuera lors de la phase d'exploitation. Le promoteur du projet (Gouvernement Camerounais) sera responsable de la mise en œuvre de l'ensemble des mesures de mitigation. Il doit veiller à mettre en place le dispositif nécessaire pour un meilleur suivi du projet. Le processus de suivi et de rapportage depuis le niveau communautaire jusqu'aux niveaux les plus élevés au sein des institutions gouvernementales, en vue d'initier

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN ŒUVRE DE
L'HOUDIS PAR DALLES POUSSÉES D'UN PONT MIXTE BIPOUTRE DE 400 ML
SUR LE FLEUVE SANAGA DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE LA
ROUTE BATCHANGA- NTUI AU CAMEROUN

des changements et mitigations tangibles, assurera le respect contractuel, une population saine et un environnement sain.