

**ACTUALISATION DE L'AVANT-PROJET DEFINITIF RELATIF AUX
TRAVAUX D'AMENAGEMENT DE LA SECTION URBAINE DE LA RN04 DE
L'ECHANGEUR DE L'EST AU CROISEMENT DE L'AVENUE DE LA LIBERTE**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN
INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**

OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 04 juillet 2017 par :
BASSOLE Donald Judicaël Ognanli

Travaux dirigés par :

Dr. David Latifou BELLO
Enseignant Chercheur en Génie civil/2iE

M. Alain Léonce BASSOLE
Chef de mission, Ingénieur Génie Civil
AGEIM-IC

Jury d'évaluation du stage :

Président : Abderazakou SANOUSSI

Membres et correcteurs : M. Seick SORE

M. Célestin OVONO

Promotion 2015/2016

DÉDICACES

Je rends grâce à Dieu de m'avoir permis d'être présent en ce jour qui couronne 5 ans de dur labeur.

Je dédie ce travail :

*À ma chère mère **DAKENE IDA** qui a fait de moi ce que je suis et à qui je dois tout ;*

*À mon cher père **BASSOLE Aimé Célestin** pour son soutien et ses conseils ;*

*À mon oncle **BASSOLE Martial Wilfried** qui n'a ménagé aucun effort pour me voir réussir depuis ma tendre enfance et qui est aussi comme un 2e père pour moi ;*

*À mon oncle **DABOUE JULIEN** pour son soutien et son encouragement ;*

*À mon oncle **BASSOLE Justin** pour sa disponibilité et son appui ;*

À mes oncles et tantes pour leurs bienfaits et leurs prières à mon égard ;

À mes grands-parents pour leur affection et leurs bénédictions ;

À mes amis qui sont devenus des frères et sœurs, pour leur engagement leurs conseils avec qui j'ai partagé les moments durs et les plus joyeux durant mon passage à 2ie ;

*À la mémoire de **OUEDRAOGO Denis** ingénieur à AGEIM décédé le 7 novembre 2016 qui de par son travail a contribué à rendre ce mémoire meilleur et de mon oncle **DABOUE JEAN HUBERT DIEUDONNÉ** arraché brutalement à notre affection le 15 mai 2017, qui a su m'orienter sur mon projet professionnel.*

REMERCIEMENTS

Le fruit de ce travail n'aurait été possible sans la participation de nombreuses personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de cinq années d'études.

Tout d'abord je tiens à remercier le Directeur général de 2ie, l'ensemble du corps administratif et professoral pour leur patience, leur dévouement à nous inculquer les valeurs morales, à transmettre leurs connaissances et partager leurs expériences.

À Dr BELLO David Latifou mon encadreur interne pour sa patience, son temps accordé pour le travail et les connaissances acquises auprès de lui.

Mes reconnaissances vont également à l'endroit de M. OUEDRAOGO Tiraogo Hervé, Directeur général de AGEIM-IC pour m'avoir offert l'opportunité d'intégrer l'équipe, à M. BASSOLE Alain Léonce qui a su me guider et m'orienter durant le stage en tant que Maître de stage, à M. SANE Dioulde M. AGBEDJRONOU Komla M. ANDRIANAIVO Faly M. TOUDONOU Hervé Léonce pour leur soutien et accompagnement dans la rédaction du mémoire.

Je ne saurais terminer sans montrer ma gratitude à tous ceux et celles qui ont cru en moi durant mon parcours, à l'ensemble de mes ami(e)s, au personnel d'AGEIM-IC.

RÉSUMÉ

Le présent projet a pour objet les études d'exécution de l'aménagement de la section urbaine de la RN04 de l'échangeur de l'est au croisement de l'avenue de la liberté longue de 4,4 km. Ce projet vise l'amélioration de la fluidité du trafic sur ce tronçon de route marqué par une dégradation importante et un engorgement des voies de circulation.

Notre étude consiste dans un premier temps à faire l'état des lieux de la route existante assortie d'un diagnostic et des préconisations de travaux et dans un second à projeter une nouvelle route dotée d'aménagement capable de répondre aux besoins de trafic sur cette section urbaine.

Le rapport porte sur la conception géométrique et structurelle de la route et sur l'étude de l'aménagement de la zone marécageuse située entre le PK1+050 et le PK1+600.

L'ICTAVRU sert de document de référence pour la conception géométrique de la section urbaine, le guide CEBTP pour les corps de chaussée et le CERTU pour l'aménagement des carrefours.

Pour l'optimisation du projet nous avons utilisé le logiciel piste 5.05 pour la conception géométrique et le métré. Ensuite ALIZE LCPC pour le dimensionnement du corps de la chaussée et Dialux pour le calcul photométrique. Enfin, Autocad 2017 pour les différents plans.

Le projet a été estimé à dix-huit milliards cinq cent soixante-dix millions quatre-vingt-dix-neuf mille trois cent quatre-vingt-quatre mille F CFA TTC (18 570 099 384 F CFA TTC) financé à 90% par la BOAD et le reste par l'Etat burkinabé.

Mots clés

- 1- Aménagement
- 2- Géotextile
- 3- Optimisation
- 4- Dégradation
- 5- Fluidité

ABSTRACT

The purpose of this project is to carry out studies on the development of the urban section of the RN 04 from the eastern interchange at the crossroads of the freeway, long of 4,4 km. The aim of this project is to improve traffic flow on this stretch of road marked by significant deterioration and traffic congestion.

Our study consists first in an inventory of the existing road with a diagnosis and recommendations of works and in a second to project a new road equipped with development able to meet the traffic needs on this road urban section.

The report deals with the geometrical and structural design of the road and the study of the arrangement of the marshy zone between PK1 + 050 and PK1 + 600.

The ICTAVRU serves as a reference document for the geometric design of the urban section, the guide CEBTP for the road bodies and the CERTU for the crossroads.

For the optimization of the project we used the software Piste 5.05 for the geometric design and the meter. Then ALIZE LCPC for the dimensioning of the road body and Dialux for photometric calculation. Finally, Autocad 2017 for different plans.

The project was estimated at eighteen billion five hundred and seventy million ninety-nine thousand three hundred eighty-four thousand CFA francs (18,570,099,384 CFA francs TTC) financed to 90% by BOAD and the rest by the government.

Keywords

- 1- Arrangement
- 2- Geotextil
- 3- Optimization
- 4- Degradation
- 5- Fluidity

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations	Signification
2IE :	Institut International d'Ingénierie
2R :	Deux roues
AFE :	Agence française de l'électricité
AGEIM-IC :	Agence d'Études d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvres
BAEL :	Béton Armé aux Etats limites
BB :	Béton Bitumineux
BDD :	Bande dérasée droite
BDG :	Bande dérasé gauche
BOAD:	Banque Ouest Africaine de Développement
CAM :	Coefficient d'Agressivité Moyen
CBR :	Californien Bearing Ration (Capacité de portance)
Cd/m² :	Candelas par mètre carré
CEBTP :	Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
CIEH :	Comité Inter-États d'Études Hydrauliques
DGTTM :	Direction Générale du Transport Terrestre et Maritime
ELS :	Etat Limite de Service
ELU :	Etat Limite Ultime
GB :	Grave Bitume
GLL :	Graveleux Latéritique Lithostabilisé
GLN :	Graveleux Latéritique Naturel
GPS :	Global Positionning System
ICTAVRU :	Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines
IGB :	Institut Géographique du Burkina
ISSP :	Institut Supérieur des Sciences de la Population

Abréviations	Signification
km/h :	Kilomètre par heure
kN/m :	Kilonewton par mètre
LCPC :	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LED :	Light Emitting Diode
LNBTP :	Laboratoire National des Bâtiments et Travaux Publics
m :	mètre
m³/s :	mètre cube par seconde
NE :	Nombre d'Essieu Equivalent
OPM ::	Optimum Proctor Modifié
PIB :	Produit Intérieur Brut
PK :	Point kilométrique
PL :	Véhicule Poids Lourd
PTAC :	Poids Total Autorisé en Charge
RN04 :	Route Nationale 04
SBP:	Sous Basse Pression
SETRA :	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
SHP :	Sous Haute Pression
TMH :	Trafic Moyen Horaire
TMJ :	Trafic Moyen Journalier
TMJA :	Trafic Moyen Journalier Annuel
TN :	Terrain Naturel
TPC :	Terre-plein central
U60 :	Voie de type urbain référencé à 60 km/h
UVP/h :	Unité de Voiture Particulière par heure
VL :	Véhicule Léger

SOMMAIRE

DÉDICACES	I
REMERCIEMENTS	II
RÉSUMÉ	III
LISTE DES ABREVIATIONS	V
SOMMAIRE	VII
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES FIGURES	XI
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	1
INTRODUCTION	2
PARTIE A : PROPOSITION D'AMENAGEMENT DE LA SECTION URBAINE RN4	3
I - PRÉSENTATION DE AGEIM-IC	3
I.1 - PRESENTATION GENERALE.....	3
I.2 - MISSIONS ET ACTIVITES.....	3
I.3 - DOMAINES D'ACTIVITES.....	3
II - PRÉSENTATION DU PROJET	4
II.1 - LOCALISATION DU PROJET.....	4
II.2 - CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET.....	4
III - ETUDES TOPOGRAPHIQUES	5
IV - ÉTUDES GÉOTECHNIQUES	6
IV.1 - GEOTECHNIQUE ROUTIERE.....	6
IV.1.1 - Reconnaissance des sols de plateforme	6
IV.1.2 - Coupes des sondages	7
IV.1.3 - Mesures de déflexion à la poutre BENKELMAN	7
IV.1.4 - Recherche d'emprunts des matériaux	7
IV.2 - GEOTECHNIQUE DE L'OUVRAGE D'ART	8
IV.2.1 - Essai destructif.....	8
IV.2.2 - Essai pressiométrique	8
IV.2.3 - Essais en laboratoire	8
IV.2.4 - Conclusions.....	9
V - CALCUL DU TRAFIC	9
V.1 - DEROULEMENT DU COMPTAGE ET LOCALISATION DES POSTES	9
V.2 - ANALYSE DES DONNEES DU COMPTAGE	10
V.2.1 - Estimation du Trafic Moyen Journalier	10
V.2.2 - Estimation du trafic horaire de pointe.....	10
V.2.3 - Prévision du trafic.	11
V.2.4 - La croissance démographique.	11
V.2.5 - Taux de croissance du PIB.	11
V.2.6 - Parc moto et auto.....	11
V.3 - PREVISION DE CROISSANCE DU TRAFIC DANS LE CADRE DU PROJET.....	12
VI - STANDARS DE L'AMÉNAGEMENT ROUTIER	12

VI.1 -	CHOIX DE LA VITESSE DE REFERENCE	12
VI.2 -	TRACE EN PLAN ET DEVERS ASSOCIES	12
VI.3 -	DEVERS ET RACCORDEMENTS PROGRESSIFS.....	13
VI.4 -	PROFIL EN LONG.....	13
VI.5 -	PROFIL EN TRAVERS	13
VII -	DIMENSIONNEMENT DE LA VOIRIE	14
VII.1 -	TRACE EN PLAN.....	14
VII.2 -	PROFIL EN LONG.....	14
VII.3 -	PROFILS EN TRAVERS TYPE	14
VII.4 -	DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE.....	16
VII.4.1 -	<i>Calcul de la classe de trafic</i>	17
VII.4.2 -	<i>Classes de portance du sol</i>	18
VII.4.3 -	<i>Détermination des variantes.....</i>	18
VII.4.4 -	<i>Optimisation sur alizé.....</i>	19
VII.5 -	AMENAGEMENT DES CARREFOURS.....	22
VII.5.1 -	<i>Carrefour Hôpital.....</i>	22
VII.5.2 -	<i>Carrefour Av. 56.....</i>	23
VII.5.3 -	<i>Carrefour de l'Av. Na Rouamba.....</i>	23
VII.5.4 -	<i>Carrefour à feux</i>	24
VII.6 -	AMENAGEMENT PIETONS	24
VIII -	SIGNALISATION, SÉCURITÉ ROUTIÈRE, ÉQUIPEMENTS ET ÉCLAIRAGE PUBLIC..	24
VIII.1 -	SECURITE ROUTIERE ET EQUIPEMENTS	24
VIII.1.1 -	<i>Dispositifs de retenue</i>	24
VIII.1.2 -	<i>Bordures</i>	24
VIII.1.3 -	<i>Aires de stationnement et arrêts de bus.....</i>	25
VIII.2 -	SIGNALISATION.....	25
VIII.2.1 -	<i>Signalisation verticale.....</i>	25
VIII.2.2 -	<i>Signalisation horizontale.....</i>	26
VIII.3 -	ÉCLAIRAGE PUBLIC	27
VIII.3.1 -	<i>Étude par la méthode simplifiée</i>	28
VIII.3.2 -	<i>Étude photométrique par le logiciel DIALUX</i>	30
IX -	ETUDES HYDROLOGIQUES	31
IX.1 -	RESEAU EXISTANT	31
IX.2 -	RESEAU DE DRAINAGE PROPOSE.....	32
IX.2.1 -	<i>Détermination des bassins versants.....</i>	33
IX.2.2 -	<i>Détermination du débit.....</i>	34
X -	ÉTUDE DES OUVRAGES D'ART	38
X.1 -	DALOT DE WEMTENGA	38
X.2 -	PONT DE LA RN04.....	43
X.2.1 -	<i>Équipements.....</i>	43
X.2.2 -	<i>Pré dimensionnement de la structure.....</i>	43
XI -	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALES.....	44
XI.1 -	IMPACTS POSITIFS	44
XI.2 -	IMPACTS NEGATIFS	44
XI.3 -	MESURES DU PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES.....	45
XII -	DEVIS ESTIMATIF	46
PARTIE B : PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT DE LA ZONE MARÉCAGEUSE.....		48
I - ÉTAT DES LIEUX.....		48

II -	ESSAI GÉOTECHNIQUE.....	48
III -	SOLUTION ENVISAGÉE POUR TRAITER LA ZONE HUMIDE	50
IV -	PRÉSENTATION DU GÉOTEXTILE.....	50
IV.1 -	DEFINITION	50
IV.2 -	LES CONSTITUANTS.....	50
IV.3 -	MODE D'ASSEMBLAGE	50
V -	PRINCIPALES FONCTIONS DU GÉOTEXTILE.....	51
V.1 -	LA SEPARATION.....	51
V.2 -	LA FILTRATION.....	51
V.3 -	LE DRAINAGE	51
V.4 -	LE RENFORCEMENT	51
V.5 -	LA PROTECTION.....	51
V.6 -	L'ANTI EROSION	52
VI -	PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES DES GÉOTEXTILES	52
VI.1 -	RESISTANCE A LA TRACTION ET ALLONGEMENT A L'EFFORT MAXIMAL	52
VI.2 -	RESISTANCE AU DECHIREMENT	52
VI.3 -	PERMITTIVITE	52
VI.4 -	TRANSMITTIVITE.....	52
VI.5 -	POROMETRIE.....	53
VI.6 -	CLASSIFICATION	53
VI.7 -	CHOIX DU GEOTEXTILE	53
VII -	PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT.....	54
VIII -	MISE EN ŒUVRE	55
VIII.1 -	REGLES PRATIQUES POUR LA MISE EN ŒUVRE.....	55
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		57
BIBLIOGRAPHIE		59
ANNEXES		I

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Résumé des résultats des essais géotechniques sur le tronçon.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 2:Récapitulatif des mesures de déflexion.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 3:Résultats des essais destructifs.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 4:Résultats des essais pressiométriques.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 5:Résultats des essais de cisaillement et de compressibilité à l'œdomètre.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 6:Taux de croissance du parc auto et moto.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 7:Valeurs rayons de raccordement de l'axe en plan pour U60.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 8:Valeurs des rayons de raccordements de l'axe en plan pour V=40 km/h.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 9:Valeurs limites des éléments du profil en long.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 10:Valeurs des éléments du profil en travers.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 11: Valeurs des équivalences des TMH en UVP.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 12:Répartition des TMH en UVP/h par sens.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 13: Calcul du trafic moyen journalier.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 14: Nombre de voies des différents tronçons.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 15:Coefficients de répartition transversale.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 16:Différents types de trafic.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 17:Différentes variantes du guide CEBTP pour la voie principale.....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 18:Différentes variantes du guide CEBTP pour les voies d'accès et contre allées... </i>	<i>18</i>
<i>Tableau 19: Comparaison du calcul manuel et le calcul sur ALIZE.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 20:Valeurs et vérification des déformations obtenues à partir du logiciel ALIZE LCPC.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 21:Choix des variantes de chaussées après optimisation sur ALIZE.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 22:Paramètres géométriques du carrefour de l'Hôpital.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 23:Paramètres géométriques du croisement de l'Av. 56.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 24:Paramètres géométriques du carrefour de l'Av. Na Rouamba.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 25:Paramètres géométriques des aires de stationnement et arrêt de bus.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 26: Liste des panneaux sur le tronçon.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 27:Caractéristiques de la signalisation horizontale pour la chaussée principale ...</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 28:Caractéristiques de la signalisation horizontale pour la chaussée secondaire ...</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 29:Références issus de la Bibliographie [05] pour la vérification de la hauteur des candélabres.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 30: Références de la Bibliographie [05] sur l'espacement des candélabres.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 31:Valeur du rapport R en fonction de la nature de la chaussée.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 32: Récapitulatif du réseau d'assainissement existant.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 33:Caractéristiques des bassins versants.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 34: Calcul du débit de crue.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 35:Section des caniveaux.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 36:Récapitulatif des sollicitations et sections d'aciers trouvés après calcul du caniveau.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 37 : Récapitulatif des sollicitations obtenues sur le dalot.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 38:Récapitulatif du ferrailage sur le dalot.....</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 39 : Devis estimatif sommaire du projet.....</i>	<i>47</i>
<i>Tableau 40: Résumé des essais pressiométriques.....</i>	<i>49</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Localisation de la zone du projet sur Google earth.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 2:Exemple d'une coupe de sondage carotté</i>	<i>7</i>
<i>Figure 3: Schéma de répartition des postes de comptage</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4:Schéma de répartition des TMJ</i>	<i>10</i>
<i>Figure 5:Schéma de répartition des TMH</i>	<i>11</i>
<i>Figure 6: Profil en travers type d'une voie de type U60 selon l'ICTAVRU.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7:Chaussée allant de l'Av. Liberté au croisement de l'Hôpital.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 8: Procédure sur le calcul par ALIZE.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 9:Modélisation des sollicitations induit par l'essieu de référence 16 t.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 10:Schéma illustratif du giratoire issus guide SETRA pour la conception des carrefours.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 11:Réseau de drainage existant côté droit de la chaussée à proximité du carrefour Na ROUAMBA.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 12:Réseau de drainage existant côté droit vers le canal Zogona</i>	<i>31</i>
<i>Figure 13:Canal Wemtenga.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 14:Canal de Zogona.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 15:Schéma du caniveau de 150x100</i>	<i>37</i>
<i>Figure 16:Dalot de Wemtenga.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 17:Schéma du dalot de Wemtenga</i>	<i>39</i>
<i>Figure 18:Schéma des nœuds sur le dalot</i>	<i>40</i>
<i>Figure 19:Partie marécageuse côté gauche du tronçon.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 20:Partie marécageuse côté droit du tronçon.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 21:: Coupe de sondage de la zone marécageuse côté gauche</i>	<i>49</i>
<i>Figure 22:: Coupe de sondage de la zone marécageuse côté droit.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 23:Rampes en remblai pour les essais</i>	<i>49</i>
<i>Figure 24 : Phase de remblayage sur le géotextile.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 25:Mise en place du géotextile.....</i>	<i>56</i>

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce présent projet a été également l'objet de mémoire de fin d'études et cette partie est consacrée à un résumé de ces mémoires afin de montrer leurs limites d'où la justification de notre travail. Nous avons sélectionné trois mémoires pour étayer cette revue.

Tout d'abord nous avons le mémoire de Serges ZOMBRE sur « Etudes d'aménagement de l'interconnexion RN04-RN03 :de l'échangeur de l'est au carrefour de l'Hôpital » soutenu le 1^{er} octobre 2014. Comme le mémoire l'indique ce travail s'est limité de l'échangeur de l'est au carrefour de l'Hôpital or dans notre contexte le projet s'étend jusqu'au croisement de l'Avenue de la Liberté. Il n'était pas prévu aussi les contre-allées, ni le mini échangeur contrairement à ce présent rapport. L'étude structurelle du dalot de Wemtenga n'a pas été faite également. Un seul carrefour était prévu dans ce mémoire mais avec l'actualisation nous sommes au nombre de 3.

Ensuite il y'a le mémoire de mon confrère Rachid DIANDA sur les « Etudes technico-économiques des travaux de voiries et d'assainissement du projet d'aménagement de la section urbaine de la RN4/RN3 à Ouagadougou » soutenu publiquement le 02 Novembre 2016. Cette étude se limite juste du PK1+000 au PK2+250. Ce thème n'a pas traité également des carrefours à aménager, ni du dimensionnement structurel du dalot de Wemtenga. Le traitement de la zone humide n'a pas été abordée et il a été proposé simplement une purge classique à l'instar de notre projet ou nous avons innové pour mieux aménager cette zone inondée.

Enfin nous avons le mémoire du sieur Philémon BALIMA sur « Aménagement du mini échangeur de la section urbaine du croisement de la RN4/RN3 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint » soutenu le 15 janvier 2017. Comme l'intitulé du thème l'indique M. BALIMA s'est penché uniquement sur l'aménagement du carrefour de manière structurelle contrairement à nos travaux qui a englobé la partie voirie et également l'ouvrage d'art concernant son prédimensionnement.

INTRODUCTION

Pays enclavé et surtout pays carrefour par excellence de la sous-région, le Burkina Faso est relié aux capitales des pays voisins par des axes internationaux presque tous bitumés. Le Burkina Faso est desservi par un réseau routier d'une longueur de 12 349 km soit environ 2000 km de routes bitumées, le reste du réseau étant composé de routes en terre et de pistes.

Il faut noter que l'essentiel des échanges commerciaux et du transport des biens et personnes se font par voie terrestre notamment les routes. Les accidents récurrents, l'incivisme, le non-respect de la réglementation limitant le PTAC sont autant de maux qui gangrènent nos routes. Il apparaît alors primordial que ces routes soient entretenues, réhabilitées ou aménagées afin de développer ce secteur inhérent à l'accroissement du PIB.

La section urbaine de la RN04 allant de l'échangeur de l'est au carrefour de l'avenue de la liberté présente un niveau de dégradation très élevé à tel point qu'elle est impraticable en saison pluvieuse. Il faut ajouter que le trafic est très élevé, provoquant ainsi des interminables bouchons surtout aux heures de pointe. Le réseau d'assainissement ne répond plus à sa fonction première qui est d'évacuer les eaux vers les exutoires. En somme, emprunter cette route est devenu un véritable calvaire pour les usagers.

C'est fort de ce constat que le Ministère des Infrastructures et du Désenclavement (MID) a confié la mission de l'étude de l'aménagement de cette route au bureau d'études AGEIM-IC. Le lancement des travaux a été fait en novembre 2015 et les travaux ont effectivement commencé en janvier 2016. Le travail qui nous a été donné est de présenter une « **ACTUALISATION DE L'AVANT-PROJET DÉFINITIF RELATIF AUX TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT DE LA SECTION URBAINE DE LA RN04 DE L'ÉCHANGEUR DE L'EST AU CROISEMENT DE L'AVENUE DE LA LIBERTÉ** » afin d'aboutir à un dossier d'exécution pour les travaux. Le travail consistera :

- D'une part à la proposition d'aménagement de la section urbaine (partie A) par : (i) la conception géométrique de la route, (ii) la conception structurale (iii) l'étude hydrologique et hydraulique des ouvrages d'art et d'assainissement, (iv) l'étude de l'impact environnemental et (v) le devis estimatif.
- Et d'autre part à la proposition d'aménagement de la zone marécageuse du PK1+050 au PK1+600 (partie B).

PARTIE A : PROPOSITION D'AMENAGEMENT DE LA SECTION URBAINE RN4

I - PRÉSENTATION DE AGEIM-IC

I.1 - Présentation Générale

L'AGence d'Études d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre (AGEIM) est un bureau d'études pluridisciplinaire créé en janvier 2000 sous forme de société à responsabilité limitée (SARL) au capital de 2 millions de F CFA. Le siège social est situé à la cité 1200 logements, 64, rue 44.10 villas N° 205 et 206.

I.2 - Missions et activités

Les missions qui lui sont assignées relevant de leurs compétences sont entre autres :

- Identification de projets ;
- Reconnaissance des sites ;
- Études de projets préliminaires ;
- Études de faisabilité ;
- Études économiques ;
- Études détaillées et d'exécution.

I.3 - Domaines d'activités

Pour répondre à son caractère pluridisciplinaire, AGEIM-IC intervient dans les secteurs suivants :

Infrastructures de transports

Aménagements Hydrauliques et Environnement

Bâtiments et ouvrages d'art.

II - PRÉSENTATION DU PROJET

II.1 - Localisation du projet

Le projet se situe dans la capitale du Burkina Faso, Ouagadougou. Le tronçon va de l'échangeur de l'EST en passant par le croisement de la RN04/RN03 jusqu'au croisement de

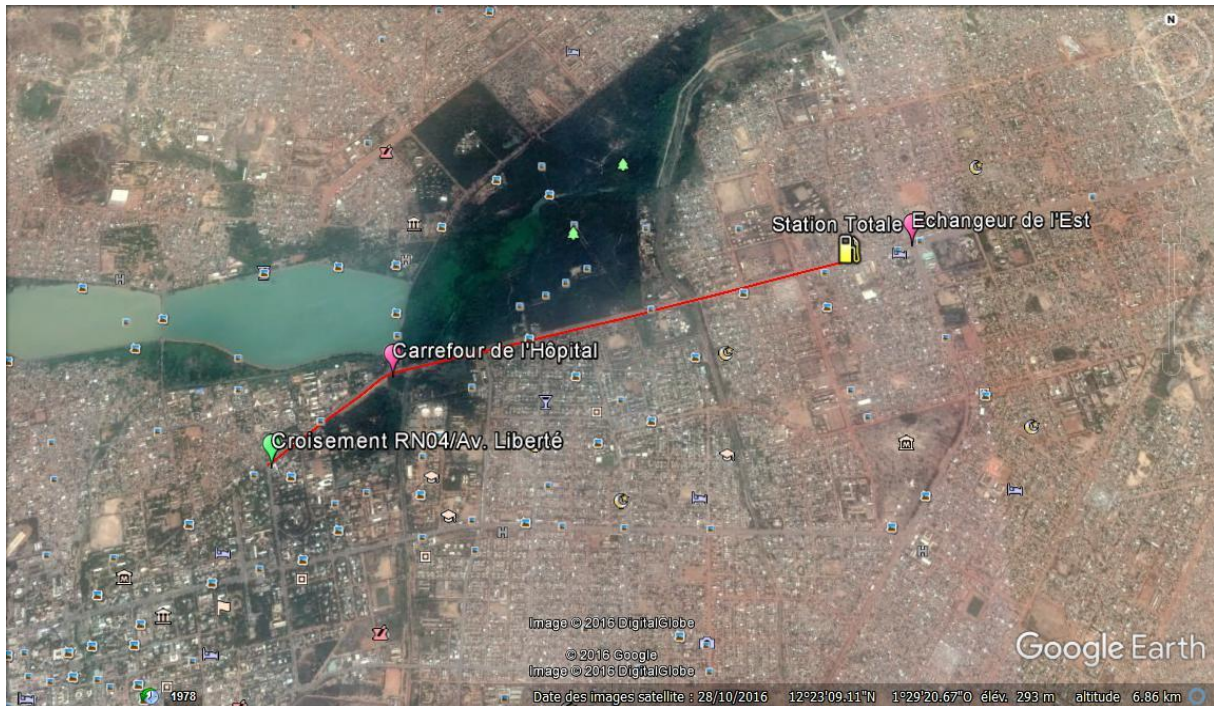


Figure 1: Localisation de la zone du projet sur Google earth

la RN04 avec l'avenue de la liberté. Ci-dessous la situation du projet par satellite.

II.2 - Contexte et justification du projet

La route du développement passe par le développement de la route dixit le dicton populaire pour démontrer l'importance des routes dans le programme d'émergence des pays africains. C'est dans cette même optique que s'inscrit le projet des travaux d'aménagement de la RN04.

Pour citer l'ex Premier ministre Yacouba Zida « emprunter cette voie est un véritable chemin de croix » preuve de l'extrême dégradation de la route entraînant de nombreux désagréments aux usagers surtout aux heures de pointe, et les accidents récurrents... Il faut noter également que la RN04 est l'une des routes qui relie le Burkina Faso aux autres pays côtiers notamment le Bénin le Togo et le Ghana. Étant un pays enclavé, le réseau routier est le moyen le plus utilisé pour assurer les échanges commerciaux avec les pays de la sous-région. Il est donc essentiel que ces routes nationales soient en bon état pour faciliter le transport des personnes et des biens.

C'est dans ce cadre que le gouvernement a inscrit ce projet dans son programme de développement SCADD (Stratégie de Croissance Accélérée et de Développement Durable). Le financement est assuré à 90% par la BOAD (Banque Ouest Africaine de Développement) afin de soutenir cette initiative. Le projet a pour objectif l'aménagement de la section urbaine RN04 dans la ville de Ouagadougou pour :

- ✓ Améliorer la mobilité des personnes ;
- ✓ Renforcer la sécurité routière ;
- ✓ Promouvoir des échanges économiques et sociaux de la région du Centre.

III - ETUDES TOPOGRAPHIQUES

Concernant le levé proprement dit il a concerné : les profils terrain TN et tous les détails.

Pour le profil en travers TN il a été implanté un piquet en bois tous les 25 m et le levé comprend un minimum de 11 points répartis comme suit :

- Un point à l'axe de chaussée existante ;
- Deux points à la limite extérieure de la plateforme ;
- Deux points en pied de talus ;
- Deux points transversalement, soit un point à chaque 5 m en moyenne ;
- Quatre points au droit des fossés existants soit 2 points sur le radier et 2 points sur la crête des piédroits.

Pour le levé des détails, il a concerné entre autres

- Les amorces de chaussées, ilots existants ;
- Les ouvrages hydrauliques existants ;
- Les habitations de toutes natures, kiosques, boutiques ;
- Les réseaux divers (poteaux ou regards électriques et téléphoniques, conduites d'eau) ;
- Les concessions, ilots lotissement, lieux de culte, limites de chaussée ;
- Les arbres, cultures, vergers ;

IV - ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

Cette étude a été menée par le LNBTP à la demande de AGEIM-IC. Celle-ci porte sur deux aspects, la géotechnique routière et la géotechnique des sols de fondation pour l'ouvrage d'art.

IV.1 - Géotechnique routière

IV.1.1 - Reconnaissance des sols de plateforme

Elle consiste à faire des sondages tous les 250 m avec des prélèvements d'échantillons remaniés. Les méthodes les plus utilisées sont les puits et les tranchées, dans le cas présent il a été procédé à des tranchées faites manuellement. Les échantillons remaniés ont fait l'objet d'essais en laboratoire. Le résumé des résultats est noté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Résumé des résultats des essais géotechniques sur le tronçon

	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE						LIMITES D'ATTERBEG		PROCTOR MODIFIÉ		PORTANCE CBR (%OPM)
	<0.08 mm	<0.40 mm	<2 mm	<5mm	<10mm	D (mm)	WL	IP	W _{optm} %	Y _{doptm} t/m ³	95
Nombre de valeurs	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Valeur minimales	13	18	26,5	49,5	75	3,5	21	9	7	2,01	20
Valeur maximales	34,5	45,5	58	78,5	95	31,5	39	19	11,4	2,31	92
Valeur moyenne	24	32,9	45,4	65,4	86,6	9,5	28,8	14,4	9	2,17	45,3
Écart type estimé	6,3	7,9	9,4	8	5,9	8	4,97	2,69	1,18	0,07	20,7
Coefficient de variation %	26,1	24	20,8	12,3	6,8	84,9	17,23	18,69	13,12	3,32	45,72

Source : Rapport géotechnique routière

Comme le tableau l'indique l'analyse granulométrique révèle que le sol est en majorité composé de graves latéritiques, l'indice de plasticité montre un sol plastique et la portance du sol est relativement bonne.

Néanmoins il reste des tronçons où le sol est de mauvaise qualité et devra faire l'objet d'un traitement particulier.

IV.1.2 - Coupes des sondages

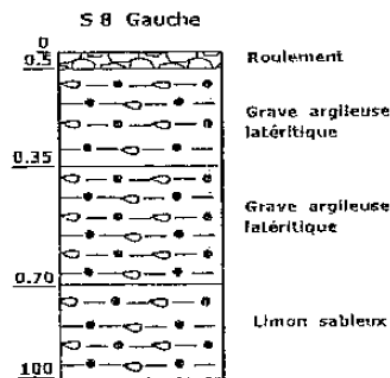


Figure 2: Exemple d'une coupe de sondage carotté

Source : Rapport géotechnique routière

IV.1.3 - Mesures de déflexion à la poutre BENKELMAN

Les mesures de déflexion permettent d'apprécier l'état du corps de la chaussée à partir des déformations observées. Les déflexions ont été mesurées par pas de 25 m en quinconce et à 80 cm des rives de la chaussée grâce à la poutre BENKELMAN.

La première mesure a été réalisée au PK0+000 à droite et la dernière au PK3+150 à gauche. Au total 120 mesures ont été effectuées et les résultats statistiques sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 2: Récapitulatif des mesures de déflexion

Désignation	Déflexions maximales (1/100 mm)
Nombre de valeurs	120
Valeur maximale	10
Valeur minimale	142
Valeur moyenne	46
Écart type estimé	23,9
Coefficient de variation %	0,52

Source : Rapport géotechnique routière

Le tableau montre une chaussée assez dégradé marqué par des nids de poule.

IV.1.4 - Recherche d'emprunts des matériaux

Le site retenu se trouve à Loumbila à 15 km de Ouagadougou. 15 sondages ont été faits et le volume obtenu est de 13125 m³ sur une superficie de 37500 m² avec une distance morte de 17 km.

IV.2 - Géotechnique de l'Ouvrage d'Art

IV.2.1 - Essai destructif

Il consiste à faire des puits à une certaine profondeur et prélever le sol pour son identification. Pour ce projet 3 sondages ont été effectués à 15 m de profondeur et les résultats de l'analyse sont inscrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3:Résultats des essais destructifs

Profondeur	Type de matériau
De 0.00 m à - 1.00 m	Grave latéritique argileuse peu sableuse
De -1.00 m à - 2.00 m	Argile peu latéritique peu graveleuse peu sableuse
De -2.00 m à - 3.00 m	Carapace latéritique altérée
De -3.00 m à - 6.00 m	Argile latéritique peu sableuse+nodules de quartz
De -6.00 m à - 7.00 m	Arène argileuse peu sableuse+grains de quartz
De -7.00 m à - 9.00 m	Arène argileuse sableuse+grains de quartz
De -9.00 m à - 11.00 m	Arène sableuse peu grenue
De -11.00 m à - 13.00 m	Sable de rivière
De -13.00 m à - 15.00 m	Sable alluvionnaire

Source : Rapport géotechnique de l'ouvrage d'art

IV.2.2 - Essai pressiométrique

Les essais pressiométriques ont été exécutés à l'aide du pressiomètre de Menard de type GA équipé de sonde BX de 60 mm de diamètre. Il a été procédé 3 sondages sur une profondeur de 15 m ce qui a permis de définir les pressions limites et les modules pressiométriques des différentes couches rencontrées. En résumé on obtient :

Tableau 4:Résultats des essais pressiométriques

Sondages	Pression limite PL	Module pressiométrique E
F1	14,7bars << Pl << 34,2bars	153bars << E << 1207bars
F2	6,5bars << Pl << 40,1bars	75bars << E << 759bars
F3	2,7bars << Pl << 37,6bars	40bars << E << 759bars

Source : Rapport géotechnique de l'ouvrage d'art

IV.2.3 - Essais en laboratoire

Des échantillons intacts et remaniés ont été prélevés dans les sondages carottés et ont fait l'objet d'essais en laboratoire qui sont :

- Cisaillement rectiligne direct (uu)
- Compressibilité à l'œdomètre

La synthèse des résultats se présente comme suit :

Tableau 5: Résultats des essais de cisaillement et de compressibilité à l'œdomètre

Sondages carottés	Profondeur (m)	Essai à l'œdomètre			Essai de cisaillement	
		Cc	σ'_p (bars)	e_o	C (bars)	Φ (°C)
SC1	10.00m/11.00m	0.349	0.740	0.975	0.08	28
SC2	5.00m/6.00m	0.226	0.700	0.781	0.44	30
SC3	6.30m/8m	0.226	0.400	0.848	0.19	16

Source : Rapport géotechnique de l'ouvrage d'art

IV.2.4 - Conclusions

Les sondages ont permis d'identifier la nature des différentes couches rencontrées et de connaître les modules pressiométriques et les pressions limites de ces couches. La roche Seine n'a pas été rencontrée jusqu'à 15 m. Compte tenu de la nature de l'ouvrage, des fondations sur pieux ont été recommandées par le LNBTP.

V - CALCUL DU TRAFIC

V.1 - Déroulement du comptage et localisation des postes

Le comptage s'est effectué durant la semaine du 17 au 23 mai 2014 de 05h à 00h par jour sur six (6) postes, trois (3) postes en section courante (section urbaine RN03, Avenue Komba-Pademba, Avenue Komda Yooré) et trois postes sur les trois branches constituant le carrefour.

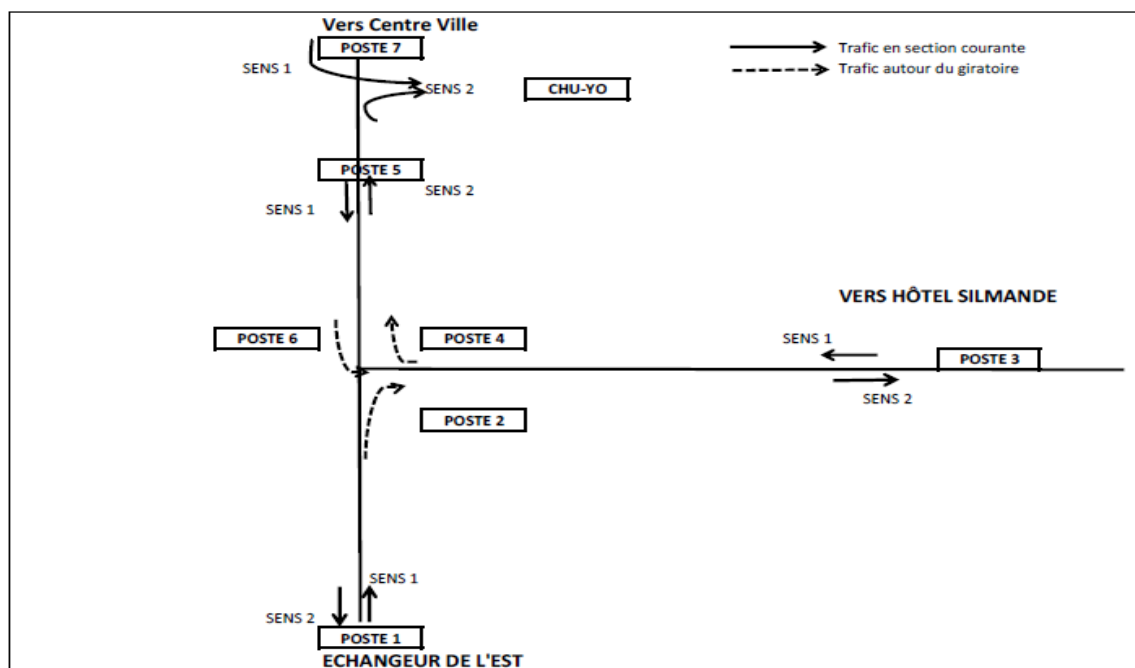


Figure 3: Schéma de répartition des postes de comptage

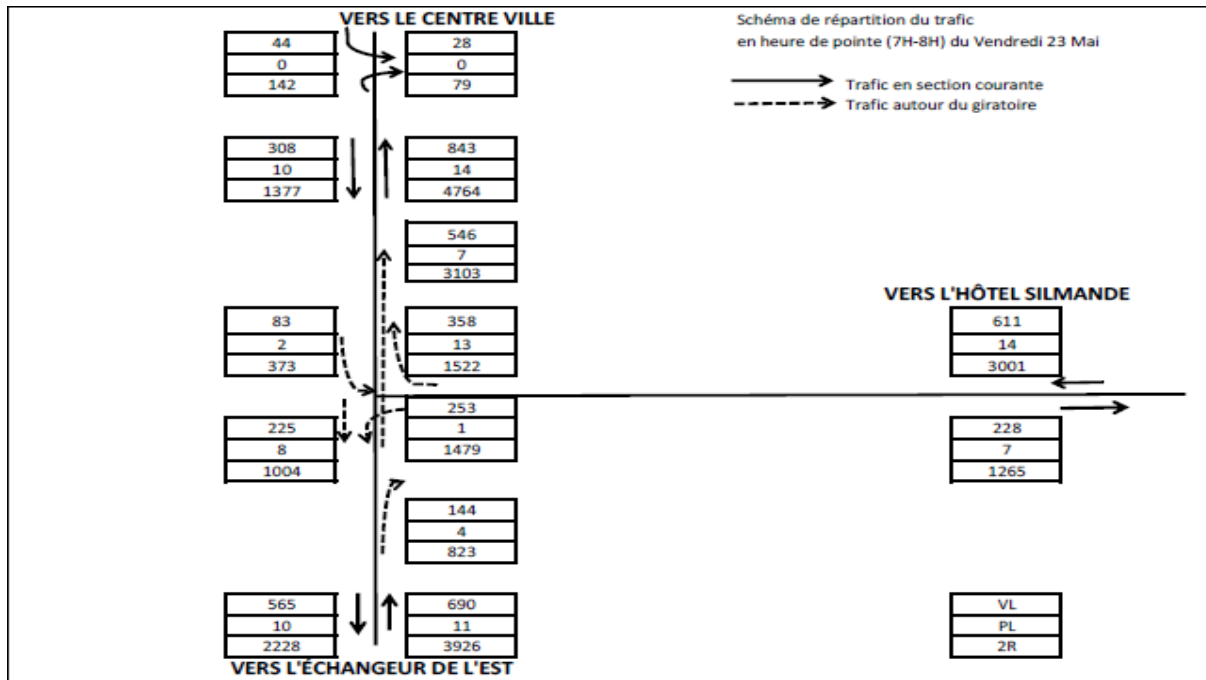


Figure 5: Schéma de répartition des TMH

L'avenue Komda Yoore est toujours l'axe le plus chargé.

V.2.3 - Prévision du trafic.

La prévision du trafic est fonction de plusieurs aspects qui sont entre autres :

- La croissance démographique (trafic deux roues et véhicules légers).
- La croissance du PIB (trafic poids lourd).
- Projet concurrent (baisse éventuelle de croissance)

V.2.4 - La croissance démographique.

D'après le rapport de l'étude de l'ISSP menée dans la période 2008-2012 la population de la capitale du Burkina croît annuellement de 7,6%.

V.2.5 - Taux de croissance du PIB.

Le PIB depuis les dix dernières années est en moyenne de 8%.

V.2.6 - Parc moto et auto

Selon la DGTTM (Édition 2009) les taux de croissance sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 6: Taux de croissance du parc auto et moto

Désignation	Évolution 2009
Moto	$\geq 25\%$
Voiture particulière	$\geq 6\%$
Poids lourds	$\geq 5\%$

V.3 - Prévision de croissance du trafic dans le cadre du projet.

En résumé on a les principaux indicateurs de croissance qui influencent le trafic sur le tronçon.

Mais force est de reconnaître que Ouaga connaît un fort taux de croissance depuis une dizaine d'années. Cette croissance est inhérente aux aléas économique, démographique et l'influence des autres projets concourants. Pour cela, on a opté pour une croissance en baisse pour la durée de vie de la route. Ainsi de 2014 à 2017 nous retiendrons 6% et de 2017 à 2032 4%.

VI - STANDARDS DE L'AMÉNAGEMENT ROUTIER

VI.1 - Choix de la vitesse de référence

Selon les prescriptions de l'ICTAVRU pour les voiries urbaines le type de route retenue est de type U pour Urbain. La vitesse de référence choisie est de 60km/h pour les voies principales et pour les contre-allées, bretelles d'accès une vitesse de 40km/h a été retenue à cause de leur faible emprise et des contraintes géométriques.

VI.2 - Tracé en plan et devers associés

Sur les voies de type U, les courbes de faible rayon ne sont pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage. Ce sont les conditions d'évacuation des eaux qui sont déterminantes.

Les valeurs limites sont :

Tableau 7: Valeurs rayons de raccordement de l'axe en plan pour U60

Catégorie	Valeurs
Rayon minimal absolu (m)	200
Rayon non déversé (m)	120

Source : Prescriptions de l'ICTAVRU pour les voiries de type U60

Pour les bretelles

Tableau 8: Valeurs des rayons de raccordements de l'axe en plan pour $V=40$ km/h

Catégorie	Valeurs
Rayon minimal absolu (m)	40
Rayon non déversé (m)	120

Source : Prescriptions de l'ICTAVRU pour les voiries de type U60

VI.3 - Devers et raccordements progressifs.

En alignement droit un devers de 2,5% avec des chaussées en toit pour les voies principales. Pour les voies secondaires ce sont les conditions d'évacuation des eaux qui ont prévalu au choix du devers, soit en toit ou en devers unique.

VI.4 - Profil en long

Pour le profil en long les exigences sont les suivantes :

Tableau 9: Valeurs limites des éléments du profil en long

Désignation	Valeur
Déclivité maximale à l'approche des ponts	4.5%
Déclivité minimale à l'approche des ponts	3.5%
Rayon nominal en angle saillant à 60km/h	2 500m
Rayon minimal en angle saillant à 60km/h	1 500m
Rayon minimal en angle rentrant à 60km/h	1 500m
Rayon minimal en angle rentrant à 60km/h	800m
Rayon nominal en angle saillant à 40km/h	800m
Rayon minimal en angle saillant à 40km/h	500m

Source : Prescriptions de l'ICTAVRU pour les voiries de type U60

VI.5 - Profil en travers

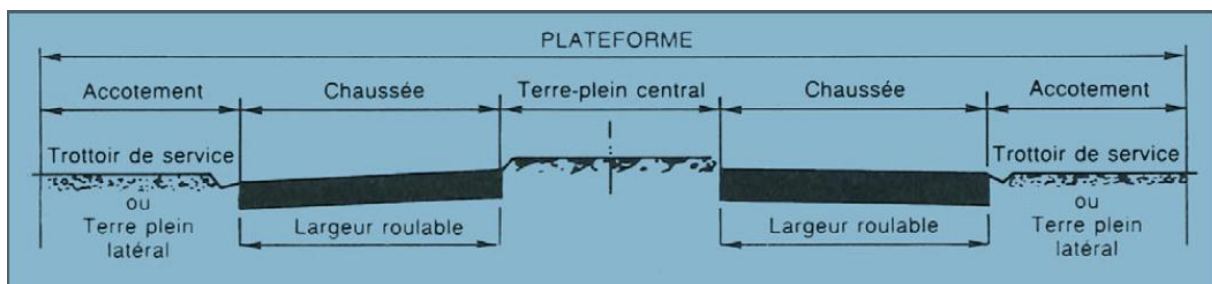


Figure 6: Profil en travers type d'une voie de type U60 selon l'ICTAVRU

Les dimensions nominales et minimales requises pour le profil en travers de type U sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10: Valeurs des éléments du profil en travers

Élément	Dimension normale (m)	Dimension minimale (m)
ACCOTEMENT		
BDD	0.5	0
Trottoir ou TPC	-	0.75
Piste cyclable	2	1.5
CHAUSSÉE		
Largeur	3.5	3
TPC		
Bande médiane	-	0.6
BDG	0.5	0

Source : ICTACRU

VII - DIMENSIONNEMENT DE LA VOIRIE

VII.1 - Tracé en plan

Le tracé en plan a été fait en limitant au maximum les démolitions des concessions existantes qui sont dans l'emprise du chantier. Les rayons sont supérieurs aux rayons minimums et ce sont des raccordements circulaires qui ont prévalu dans ce tracé. Ci-joint en annexe 2.1 les éléments du tracé en plan.

VII.2 - Profil en long

À l'approche des ouvrages d'art selon les prescriptions de l'ICTAVRU, une hauteur minimale de 4,5m est requise. Mais pour les raisons suivantes :

- Les gros porteurs hors gabarit.
- Les contraintes de géométrie de la ligne rouge.
- Des éventuels entretiens sur les chaussées.

À cette hauteur sera ajouté 2,5m.

Le calage de la ligne rouge s'est fait en se rapprochant du TN afin d'éviter trop de mouvement de terre. Les éléments du profil en long sont mentionnés en annexe 2.2 et le tracé combiné en annexe 2.3.

VII.3 - Profils en travers type

En rappel, le taux de croissance évalué du parc est de 6% de 2014 à 2017 et de 4% de 2017 à 2029. La durée de vie de la route est de quinze (15) ans. Le profil en travers type est choisi en fonction du TMH par UVP/h et des TMJ. Pour la correspondance du TMH par UVP/h on a le tableau suivant :

Tableau 11: Valeurs des équivalences des TMH en UVP

Types de véhicules	Équivalence en UVP
Cycle	0.5
VL	1
PL	2

A partir des équivalences en UVP des types de véhicule on a calculé la correspondance du trafic prévu en UVP/h dont les valeurs sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 12: Répartition des TMH en UVP/h par sens

Tronçon	Parc	Trafic 2014		Trafic 2014-2017		Trafic 2017-2032		UVP/h par sens
		Sens 1	Sens 2	Sens 1	Sens 2	Sens 1	Sens 2	
Avenue 56 au Carrefour de l'Hôpital	VL	308	843	367	1 005	661	1810	6982
	PL	10	14	12	17	21	31,00	
	2R	1377	4764	1640	5 675	2954	10221,0	
Carrefour de l'Hôpital à l'échangeur de l'est	VL	565	690	673	822	1212	1480	5735
	PL	10	11	12	13	21	22,00	
	2R	2228	3926	2654	4 676	4779	8421	
Passage supérieur	VL	225	546	268	650	483	1171,14	2865
	PL	8	7	10	8	17	15,01	
	2R	502	1552	598	1 848	1077	3327,89	
Giratoire de l'Hôpital	VL	330	374	393	445	708	802,21	4222
	PL	13	13	15	15	28	27,88	
	2R	1945	3137	2317	3 736	4172	6728,72	
Bretelles d'accès de l'Hôpital	VL	44	28	52	33	94	60,06	247
	PL	0	0	0	-	0	0,00	
	2R	142	79	169	94	305	169,45	

Pour le TMJ on a calculé le trafic prévu en 2032 et faire la somme des deux sens.

Tableau 13: Calcul du trafic moyen journalier

Tronçon	Parc	Trafic 2014		Trafic 2014-2017		Trafic 2017-2032		TMJ total dans les 2 sens
		Sens 1	Sens 2	Sens 1	Sens 2	Sens 1	Sens 2	
Avenue 56 au Carrefour de l'Hôpital	VL	7219	8070	8598	9 611	15484	17310	151371
	PL	280	253	333	301	601	543	
	2R	26177	28572	31177	34 030	56148	61286	
Carrefour de l'Hôpital à l'échangeur de l'est	VL	7306	7306	8702	8 702	15671	15671	157746
	PL	283	231	337	275	607	495	
	2R	27956	30461	33296	36 280	59964	65337	
Passage supérieur	VL	4733	5007	5637	5 963	10152	10740	62652
	PL	204	149	243	177	438	320	
	2R	9275	9841	11047	11 721	19894	21108	

On obtient alors le nombre de voies par tronçon résumé dans le tableau suivant.

Tableau 14: Nombre de voies des différents tronçons

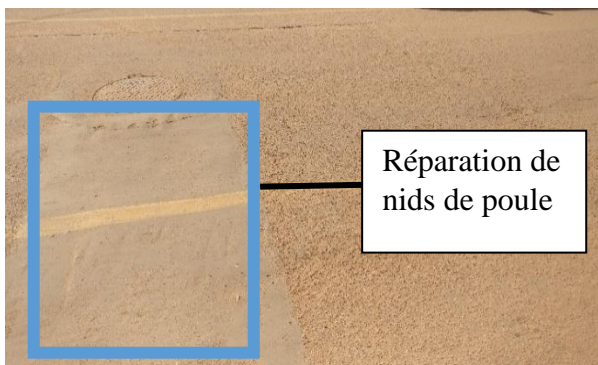
Tronçon	TMJ dans les deux sens	TMH en UVP/h par sens	Nombre de voies
Avenue 56 au Carrefour de l'Hôpital	151371	6982	2x5
Carrefour de l'Hôpital à l'échangeur de l'est	157746	5735	2x5
Passage supérieur	62652	2865	2x2
Giratoire de l'Hôpital	-	4222	3x1
Bretelles d'accès de l'Hôpital	-	247	1x2

Les différents profils en travers type sont joints en annexe 2.4.

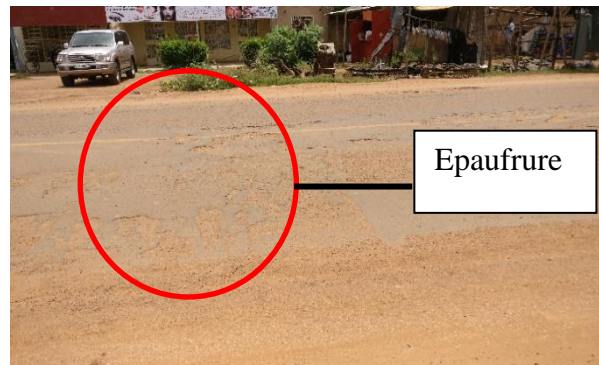
VII.4 - Dimensionnement de la structure

La chaussée existante se présente comme suit :

- Une chaussée bidirectionnelle de 10.5 m de large revêtue de béton bitumineux avec des bordures de type T2 arasées. Ce tronçon qui va de l'intersection de l'avenue de la liberté à l'interconnexion de la RN04/RN04 présente un niveau de dégradation peu élevé notamment des réparations de nids de poule, quelques petits nids de poule de faible épaisseur et de diamètre.
- Une chaussée de 2x1 voies de 7 m de large revêtue d'un enduit superficiel monocouche qui va de l'intersection de la RN04/RN03 à l'échangeur de l'est. Ce tronçon est très dégradé présentant de nombreux nids de poule, des réparations de nids de poule, un orniérage, des épaufrures de rive.



Réparation de nids de poule



Epaufreure

Figure 7: Chaussée allant de l'Av. Liberté au croisement de l'Hôpital

Figure 8: Chaussée allant du croisement de l'Hôpital à l'Échangeur de l'est

Pour le dimensionnement du corps de la chaussée, nous utilisons le guide CEBTP adapté aux conditions des pays tropicaux notamment le BF. Les valeurs trouvées seront optimisées sur ALIZE LCPC.

VII.4.1 - Calcul de la classe de trafic

Le calcul de la classe de trafic se fera à partir du trafic poids lourds convertis en nombre équivalent d'essieu NE.

$NE = N \times CAM$; N = nombre de poids lourds pour la période de calcul de n années. Il est égal à :

$N = 365 \times TMJA \times C$; Avec C, le facteur de cumul sur la période de calcul traduit par la formule :

$$C = \frac{[(1 + \alpha)^n - 1]}{\alpha}$$

α = taux de croissance géométrique constant sur la période de calcul

n = période de calcul (durée de vie)

Mais pour tenir compte du type de voies un coefficient de répartition transversale est affecté au trafic poids lourd. Ci-dessous ces coefficients résumés dans le tableau suivant :

Tableau 15: Coefficients de répartition transversale

Coefficient de répartition transversale					CAM
1x2voies	1x3voies	2x1voies	2x2voies	2x3voies	
1	0.75	0.75	0.45	0.375	1

Tableau 16: Différents types de trafic

Tronçon	Trafic 2014		Trafic 2017	NE dans les deux sens	NE voie la plus chargée	Type de Trafic
	Sens 1	Sens 2				
Avenue 56 au carrefour de l'Hôpital	280	253	635	4,64E+06	1,74E+06	T3
Carrefour de l'Hôpital à l'échangeur de l'est	283	231	613	4,48E+06	2,02E+06	T3
Passage supérieur	204	149	421	3,08E+06	1,38E+06	T2
Giratoire de l'Hôpital	104	-	124	9,05E+05	6,79E+05	T2
Bretelles d'accès de l'Hôpital	3	3	8	5,85E+04	4,38E+04	T1

Afin d'harmoniser les classes de trafic on optera le type T3 pour les voies principales y compris le giratoire et pour les bretelles et contre-allée, une classe de trafic minimum T2.

VII.4.2 - Classes de portance du sol

À la vue du rapport géotechnique, l'on constate que la classe de portance se situe entre S4 et S5. Par mesure de sécurité la classe S4 sera prise comme portance dans le dimensionnement de la chaussée et pour tous les sols dont la portance sera moins que le S4. Il sera aménagé une couche de forme de 30 cm de ladite classe. Les endroits où le sol est médiocre pourront faire l'objet de purge avant la mise en œuvre du corps de la chaussée. Les parties à purger sont du PK1+050 au PK1+600 des deux côtés et du PK3+120 au PK4+400.

VII.4.3 - Détermination des variantes

Concernant la voie principale pour le couple T3/S4 il a été retenu à partir du CEBTP et les matériaux disponibles, les variantes suivantes :

Tableau 17: Différentes variantes du guide CEBTP pour la voie principale

Désignation	Revêtement	Couche de Base	Couche de fondation
Variante 1	5cm de BB	20cm de GLL	15cm de GLN
Variante 2	4cm de BB	15cm de GB	15cm de GLL
BB : Béton Bitumineux – GB : Grave Bitume – GLL : Graveleux Latéritique Lithostabilisé – GLN : Graveleux Latéritique Naturel			

Pour le couple T2/S4 des bretelles d'accès et contre-allées

Tableau 18: Différentes variantes du guide CEBTP pour les voies d'accès et contre allées

Désignation	Revêtement	Couche de Base	Couche de fondation
Variante A	ESB	15cm de GLL	20cm de GLN
Variante B	5cm de BB	15cm de GLL	20cm de GLN
ESB : Enduit Superficiel Bicouche - BB : Béton Bitumineux – GB : Grave Bitume – GLL : Graveleux Latéritique Lithostabilisé – GLN : Graveleux Latéritique Naturel			

Il faut noter que pour le trafic T2, seul l'enduit superficiel est proposé comme revêtement afin de se conformer aux standards de l'aménagement, nous introduirons 5 cm de béton bitumineux.

VII.4.4 - Optimisation sur alizé

L'optimisation sur alizé consiste à avoir les épaisseurs optimums pour le dimensionnement de la chaussée à partir du pré dimensionnement fait avec le guide CEBTP.

Détermination des sollicitations admissibles

Nous déterminerons dans un premier temps ces valeurs admissibles manuellement à partir du guide de conception et de dimensionnement des structures de chaussées et ensuite avec ALIZE.

GUIDE DE CONCEPTION

Les facteurs pris en considération pour évaluer la dégradation des chaussées sont entre autres :

- Les résultats d'essai en fatigue
- L'épaisseur des couches de fondation lors de l'exécution

Pour le béton bitumineux on a :

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \left(\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}\right)^{0.5} \times K_{cx} K_{rx} K_s$$

$$\epsilon_{t,ad} = 100^{-6} \times \left(\frac{2.016 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0.2} \times \left(\sqrt{\frac{7200}{1300}}\right) \times 1.1 \times 1 \times 0.82 = 184.5$$

$$\epsilon_{t,ad} = 184.5 \mu\text{def}$$

Pour la grave bitume

$$\epsilon_{t,ad} = 80^{-6} \times \left(\frac{2.016 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0.2} \times \left(\sqrt{\frac{12000}{2700}}\right) \times 1.1 \times 1 \times 0.74 = 142.77$$

$$\epsilon_{t,ad} = 142.77 \mu\text{def}$$

Pour les graves naturels non traités

$$\epsilon_{zadm} = A \times (NE)^{-0.222}$$

Pour un trafic de type T3 on a A=12000

$$\epsilon_{zadm} = 12000 \times (2.016 \times 10^6)^{-0.222} = 478.27$$

$$\epsilon_{zadm} = 478.27 \mu\text{def}$$

Les détails des calculs sont joints en annexe 3.1.

Calcul avec ALIZE

De façon résumée voilà comment se présentent les principes de calcul avec alize

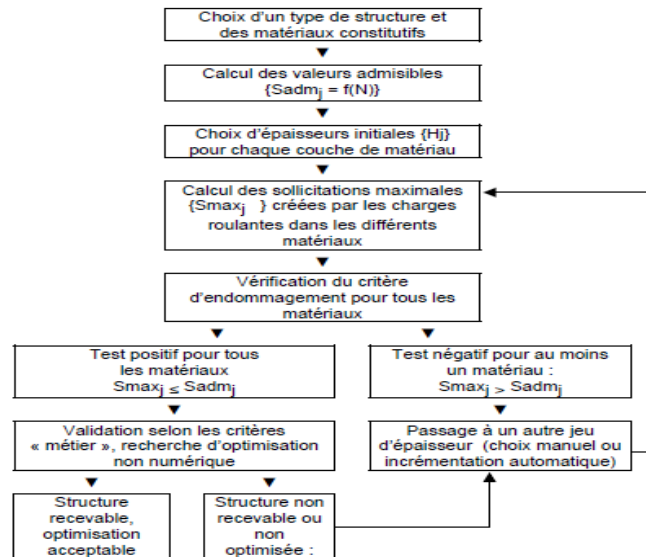


Figure 8: Procédure sur le calcul par ALIZE

Source : Manuel sur l'utilisation du logiciel ALIZE

L'essieu de référence pris pour le calcul des déformations est l'essieu jumelé 13 t dont les caractéristiques sont les suivantes :

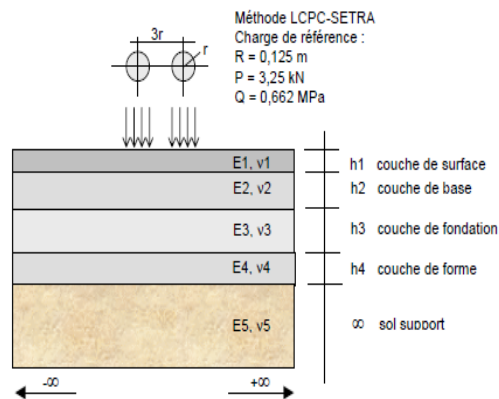


Figure 9: Modélisation des sollicitations induit par l'essieu de référence 16 t

Source : Manuel sur l'utilisation du logiciel ALIZE

Tableau 19: Comparaison du calcul manuel et le calcul sur ALIZE

Matériaux	Calcul manuel	Calcul par ALIZE
Béton Bitumineux	184.5 µdef	183.4 µdef
Grave Bitume	142.77 µdef	143.5 µdef
Grave Naturel non traitée	478.27 µdef	478.2 µdef

À partir du tableau nous remarquons que le calcul manuel donne sensiblement les mêmes valeurs que le calcul sur ALIZE. Nous pouvons donc procéder aux vérifications des contraintes admissibles avec les déformations. Après modélisation à partir des valeurs calculées manuellement plus haut on obtient :

Tableau 20: Valeurs et vérification des déformations obtenues à partir du logiciel ALIZE LCPC

		Couches	Épaisseur cm	Déformations	$\epsilon_{t,ad}$	ϵ_{zadm}	Observation
Voie principale	Variante 1	BB	5	66	183,4	-	OK
		GLL	20	298,4	-	478,2	OK
		GLN	15	293,7	-	478,2	OK
		Plateforme	Infini	476,9		478,2	OK
	Variante 2	BB	5	43,9	183,4	-	OK
		GB	10	136,6	143,5	-	OK
		GLL	25	201,9	-	478,2	OK
		Plateforme	Infini	390,8		478,2	OK
Voie secondaire	Variante B	BB	5	66,1	183,4	-	OK
		GLL	15	382,8	-	478,2	OK
		GLN	20	300,8	-	478,2	OK
		Plateforme	Infini	477,3		478,2	OK

Avec l'optimisation sur alize, voici ci-dessous les épaisseurs de couches retenues pour les différentes voies :

Tableau 21: Choix des variantes de chaussées après optimisation sur ALIZE

		Couches	Épaisseur (cm)
Voie Principale	Variante 2	BB	5
		GB	10
		GLL	25
Voie secondaire	Variante B	BB	5
		GLL	15
		GLN	20

Les résultats des simulations sur alizé sont joints en annexe 3.2.

VII.5 - Aménagement des carrefours

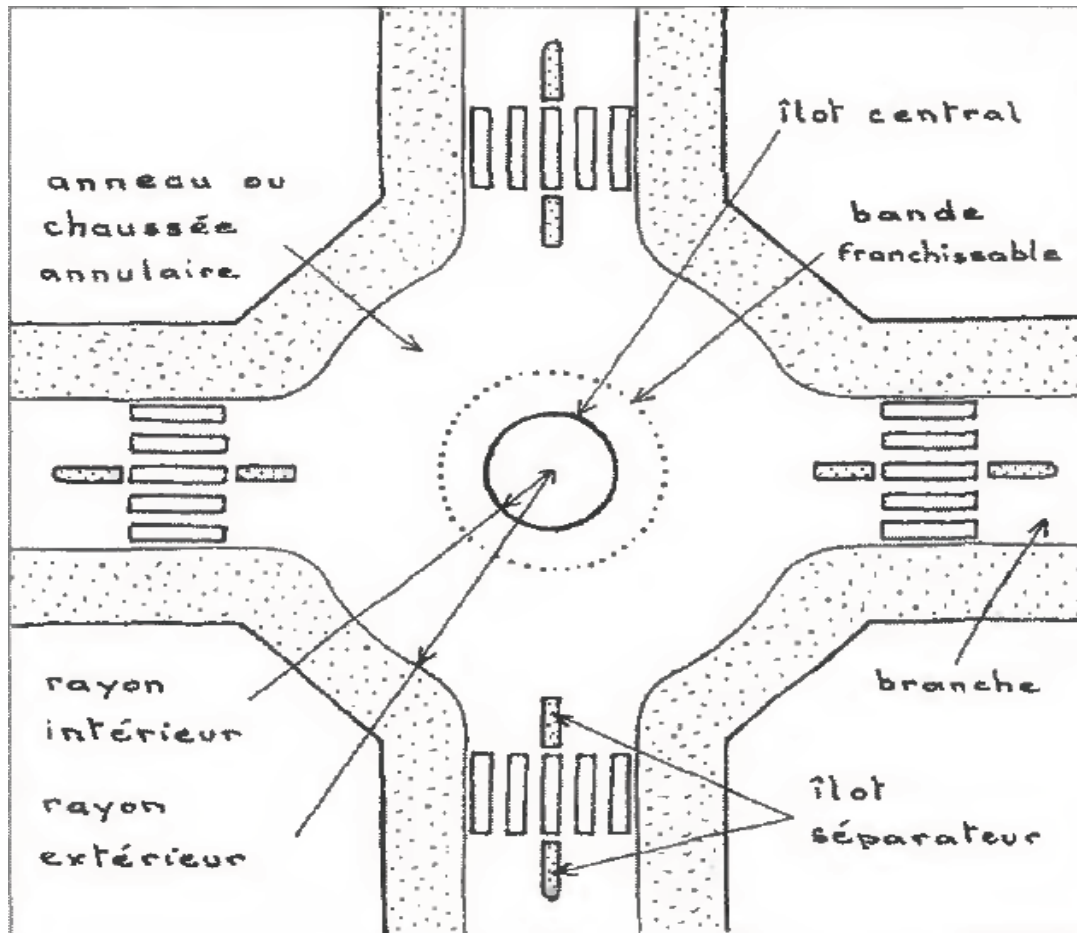


Figure 10: Schéma illustratif du giratoire issu guide SETRA pour la conception des carrefours

VII.5.1 - Carrefour Hôpital

Le carrefour est un T à aménager par dénivellation de la RN4. Il représente l'intersection de la RN04 avec l'Av KUMDA YOORE et la RN03. Les rayons choisis ont été vérifiés conformes aux rayons minimaux prescrits dans le guide comme le montre le tableau suivant :

Tableau 22: Paramètres géométriques du carrefour de l'Hôpital

Paramètres	Valeurs (m)
Rayon extérieur R_{ext}	31.85
Rayon intérieur R_i	19.80
Largeur de l'anneau L_a	12
Rayon d'entrée R_e	27.22
Largeur voie entrante L_e	7.5
Rayon de sortie R_s	31.85
Largeur voie sortante L_s	7.5

Le tracé de ce carrefour est joint en annexe 4.1.

VII.5.2 - Carrefour Av. 56

Ce carrefour à 5 branches comprenant la RN4, l'Av de la liberté, l'Av Burkina.... Le trafic d'échanges de ce carrefour impose une réglementation par feux tricolores, de ce fait les règles de dimensionnement des feux tricolores ont été priorisées à celles d'un carrefour giratoire :

Tableau 23: Paramètres géométriques du croisement de l'Av. 56

Paramètres	Valeurs (m)
Rayon extérieur Rext	17.25
Rayon intérieur Ri	5.70
Largeur de l'anneau La	11
Rayon d'entrée Re	10
Largeur voie entrante Le	3.5
Rayon de sortie Rs	20
Largeur voie sortante Ls	3.5

Le tracé de ce carrefour est joint en annexe 4.2.

VII.5.3 - Carrefour de l'Av. Na Rouamba

Ce carrefour représente l'intersection de la RN04 et de l'Av. Na Rouamba.

Tableau 24: Paramètres géométriques du carrefour de l'Av. Na Rouamba

Paramètres	Valeurs (m)
Rayon extérieur Rext	15.75
Rayon intérieur Ri	9.5
Largeur de l'anneau La	12
Rayon d'entrée Re	15 à 30
Largeur voie entrante Le	10.75
Rayon de sortie Rs	15 à 30
Largeur voie sortante Ls	10.75

Le tracé de ce carrefour est joint en annexe 4.3.

VII.5.4 - Carrefour à feux

On distingue six autres carrefours règlementés par les feux tricolores :

- Intersection RN04 entrée principale du lycée Bogodogo
- Intersection RN04 avec l'Av Na Rouamba
- Intersection RN04 avec l'Av Babanguida
- Intersection RN04 avec la rue 29.13
- Intersection RN04 avec la rue 28.13
- Intersection RN04 avec l'Av Naba Kibsa.....

VII.6 - Aménagement Piétons

Afin d'assurer la sécurité et le confort des piétons, il a été aménagé :

- Des hautes bordures T2 et larges d'au moins 2m.
- Les traversées piétonnes seront indiquées et clairement marquées sur la chaussée.
- Une passerelle sera implantée aux environs du CHU Y.O et du marché de dassasgho.

VIII - SIGNALISATION, SÉCURITÉ ROUTIÈRE, ÉQUIPEMENTS ET ÉCLAIRAGE PUBLIC

VIII.1 - Sécurité routière et équipements

VIII.1.1 - Dispositifs de retenue

On a comme dispositif de retenue :

- Les glissières de type GS2 qui seront utilisées pour les passages sous ouvrages et les hauts remblais
- Les barrières BN4 pour les passages sur ouvrages et les voies d'accès aux passagers

VIII.1.2 - Bordures

On distingue :

- Les bordures de type T2 pour délimiter la chaussée et marquer la limite du trottoir
- Les bordures de type T4 pour la séparation de la piste cyclable

- Les bordures CS2 et CC2 pour canaliser les eaux de surfaces
- DBA pour la séparation des chaussées en lieu et place du TPC lorsque celui-ci est jugé inapproprié pour la sécurité
- Bordures GSS2 pour la délimitation du TPC

VIII.1.3 - Aires de stationnement et arrêts de bus

Les aires de stationnement ont été aménagées sur les bretelles d'accès et contre-allées. Quant aux arrêts de bus, ils sont sur la voie principale et abriteront des aires d'attente.

Tableau 25: Paramètres géométriques des aires de stationnement et arrêt de bus

Désignation	Longueur (m)	Largeur (m)	Biseau (m)	Rayon de raccordement (m)	Obliquité
Arrêt de bus	15	5	15	15	-
Aire de stationnement	-	2.5	3.5	-	45°

VIII.2 - Signalisation

On dénombre les signalisations :

- Horizontale
- Verticale
- Lumineuse

VIII.2.1 - Signalisation verticale

Pour la signalisation verticale nous avons utilisé comme référence l'Instruction Interministérielle sur la Signalisation routière, 1^{ère} partie sur la signalisation verticale

- Les panneaux de danger de type A : virages dangereux, limitation de vitesse, traversée des piétons ;
- Les panneaux de prescriptions de type B : obligation, passages pour piétons, zone de stationnement des TC
- Panneaux d'intersection de type C et de priorité de type AB
- Panneaux d'indication de type C : parking, passage pour piétons, zone de stationnement

- Panneaux de direction et de localisation de type D

Tableau 26: Liste des panneaux sur le tronçon

PK/Position	Type	Justification
PK 0,020/D	AB4 : arrêt STOP	Intersection avec une route secondaire
PK 0,080/D	B14 : Limitation vitesse 30	Entrée d'une zone à trafic piéton élevé
PK 0,080/G	B33 : Fin Limitation vitesse 30	Sortie d'une zone à trafic piéton élevé
PK0,2250/D	AB4 : arrêt STOP	Intersection avec accès service
PK0,400/D	C6 : Arrêt bus	Présence d'aire de stationnement bus
PK0,485/G+D	A2a : danger passage piéton	Passage piéton à 50 m
PK0,535/G+D	C20a : Indication passage piéton	Enaref, Marché, Ecole primaire Naboswendé
PK0,540/D	AB4 : arrêt STOP	Intersection avec accès service
PK0,625/G	C6 : Arrêt bus	Présence d'aire de stationnement bus
PK0,650/G	A2b : Danger enfant	Présence d'enfant à cause de l'école primaire
PK1,575/G	AB4 : arrêt STOP	Intersection avec une route secondaire
PK 2,275/G+D	C6 : Arrêt bus	Présence d'aire de stationnement bus
PK 2595/G	AB4 : arrêt STOP	Intersection avec accès service
PK 2800/G	D61 : confirmation de position	Confirmer la position Vers Echangeur de l'Est 300 m après la sortie
PK3025/D	d42b:Présignalisation diagrammatique du giratoire	Présence d'un carrefour giratoire 75 m après
PK3070/D	AB25 : Signalisation de carrefour à sens giratoire	Entrée du giratoire
PK3090/D	C20a : Indication passage piéton	Permettra la traversée des piétons avant le giratoire Plus sécuritaire et recommandée lorsqu'il est placé 3 m avant le marquage CEDEZ LE PASSAGE

VIII.2.2 - Signalisation horizontale

La signalisation horizontale consiste au marquage par la peinture sur les chaussées. Nous avons utilisé comme référence l'Instruction Interministériel sur la Signalisation routière, 7^{ème} partie sur le marquage des chaussées

Les marquages désignent :

- Les lignes d'axes
- Les lignes des rives de la chaussée
- Les lignes de panneaux STOP et CÉDEZ LE PASSAGE
- Les aires de stationnement, des passages pour piétons, des ralentisseurs et des têtes d'ilots

Les lignes sont de couleur blanche retrouffléchissante. Une largeur unitaire $U=6$ cm est utilisée pour la détermination de la largeur des lignes.

Chaussée principale

Tableau 27:Caractéristiques de la signalisation horizontale pour la chaussée principale

Désignation des marques	Modulation	Largeur
A. Ligne longitudinale axiale Ligne discontinue axiale ou de délimitation de voie en agglomération	T3	2u
B. Ligne continue délimitant le TPC et les îlots 1. Ligne délimitant le TPC 2. Ligne délimitant contours des îlots	Continue Continue	3u 3u
C. Lignes transversales 1. Ligne STOP	Continue	50 cm
2. Ligne CÉDEZ LE PASSAGE	T'2	50 cm
D. Lignes de stationnement Ligne délimitant les places de stationnement	Continue	2u

Source : Instruction Interministériel sur la Signalisation routière, 7^{ème} partie sur le marquage des chaussées.

Bretelles d'accès et contre-allées

Tableau 28:Caractéristiques de la signalisation horizontale pour la chaussée secondaire

Désignation des marques	Modulation	Largeur
A. Ligne longitudinale axiale Ligne discontinue axiale ou de délimitation de voie en agglomération	Continue	2u
B. Ligne longitudinale de rives Ligne de rives de chaussée	T2	3u

Source : Instruction Interministériel sur la Signalisation routière, 7^{ème} partie sur le marquage des chaussées.

VIII.3 - Éclairage public

La conception de l'éclairage public se fera suivant les publications de l'AFE et la norme NF EN 13201. Pour les voies principales, l'implantation sera axiale sur le TPC en doubles foyers, pour les bretelles d'accès et les contre-allées il sera unilatéral ou bi en fonction de la largeur de la chaussée. Les candélabres utilisés ont une hauteur de 12m. Les lampes sont de type LED. Nous allons effectuer des vérifications afin de s'assurer que les paramètres choisis sont conformes aux prescriptions de l'AFE.

Nous utiliserons deux méthodes pour l'étude : la méthode simplifiée basée sur des formules de calcul empirique et la méthode de calcul par logiciel DIALUX.

VIII.3.1 - Étude par la méthode simplifiée

Cette méthode ne donne pas les valeurs ponctuelles d'éclairement de luminance. Elle est basée sur des règles empiriques d'implantation et sur le calcul du flux à installer. Dans cette méthode du point de vue de l'uniformité, il est recommandé de respecter certaines relations, établies empiriquement, entre ces différents paramètres de l'installation : référence des règles empiriques (Bibliographie [05]).

Cette méthode nous permettra de calculer l'espacement entre les candélabres, de vérifier si la hauteur de feu donné est convenable. Par ailleurs nous pourrions calculer le niveau d'éclairement moyen pour ensuite la comparer à l'éclairement moyen déterminé à partir de DIALUX.

❖ Hauteur de feu

Elle est fonction de la largeur de la voie et du type d'implantation. Dans notre cas à cause de l'emprise disponible les profils en travers sont différents suivant le tronçon, mais pour la suite nous considérerons le travers le plus large pour les calculs à savoir 2x2 pour une largeur de 3.5 m la voie et pour la piste cyclable pareille, mais avec une largeur de 1.5 m, on a donc une largeur totale de la chaussée de 21 m.

H=12m

Ordre de grandeur :

Tableau 29: Références issus de la Bibliographie [05] pour la vérification de la hauteur des candélabres

Type d'implantation	Bilatérale vis-à-vis	Autres
Hauteur de feu	$H \geq L$	$H \geq L/2$

L : la largeur de la voie en mètre

H : la hauteur de feu en mètre

Puisque nos candélabres sont sur le terreplein central, on est dans le cas des « autres ».

$$\frac{L}{2} = 10.5 \text{ m} \text{ on a donc } H=12 \text{ m} > \frac{L}{2}$$

La hauteur de 12m est convenable, car elle respecte la règle : $H \geq L/2$

❖ Espacement

Elle dépend du type de source et du type d'implantation. L'espacement entre les candélabres se déterminera :

Ordre de grandeur

Tableau 30: Références de la Bibliographie [05] sur l'espacement des candélabres

Type de source	Quinconce	Autres
SBP	$E = 3 H$	$E = 2.7 H$
SHP	E compris entre : $(3.5 \text{ et } 4.5) \times H$	$E = 3.2H$

Source : Publications de l'Agence Française de l'Electricité

Suivant la formule $E = 3.2H$, nous obtenons l'écartement suivant :

$$E = 3.2 \times H$$

Avec :

E= écartement en mètre

H= hauteur de feu en mètre

AN :

$$E = 3.2 \times 12$$

E=38,4 mètres nous prenons 40 m pour le reste des calculs

❖ Calcul de l'éclairement moyen

$$E = R \times L$$

E : éclairement moyen en Lux

R : le rapport

L : luminance en cd/m^2 (tableau de luminance de la lampe en annexes)

Référence de la formule ainsi que les unités : Bibliographie [05]

Tableau 31: Valeur du rapport R en fonction de la nature de la chaussée

Nature de la chaussée	Rapport R
Enrobés clairs	7
Béton	10
Enrobés moyens	14
Enrobés sombres	18

Source : Publications de l'Agence Française de l'Electricité

AN :

$E=18 \times 1.5$

E=27 lux

Le niveau d'éclairage obtenu permet de conclure que la chaussée sera bien éclairée. En effet, suivant les recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques de l'Association Française de l'Éclairage Public il est stipulé que la norme à respecter (NF EN 13201) pour un éclairage de qualité est que l'éclairage soit compris entre 20 et 30 lux.

VIII.3.2 - Étude photométrique par le logiciel DIALUX

DIALUX éclairage public est un logiciel développé par l'entreprise DIAL GmbH, plateforme de services pour les techniques d'éclairage

DIALUX permet de calculer les éclairages, les facteurs lumières du jour, les luminances, et permet de réaliser des études d'ombrage ainsi que des rendus.

Paramètres d'entrée de l'étude

- Les caractéristiques géométriques de l'installation

La chaussée est définie en renseignant les paramètres suivants :

- Type de chaussée (Simple ou Double) ;
- Terre-plein central ;
- Largeur de chaussée ;
- Nombre de voies ;
- Type d'installation (Unilatérale, Bilatérale vis-à-vis, Bilatérale alternée, Axiale)
- Puissance et type de lampe à utiliser

➤ Les caractéristiques photométriques du revêtement

Les paramètres photométriques prennent en compte la géométrie des voies, les aménagements connexes (terre-plein central, trottoirs, voies de sécurité) et le type de revêtement.

Paramètres de sortie

Ainsi le dimensionnement de l'éclairage public consistera à calculer les paramètres photométriques suivants :

La luminance moyenne (L) ; Le facteur d'uniformité générale (U0) ; Le facteur d'uniformité longitudinale (UI) ; Calcul de l'éblouissement perturbateur (TI)

L'obtention des paramètres de sortie permettra de juger la qualité de l'installation selon les résultats attendus par les normes de calcul suivant DIALUX.

Ci-Joint en annexe 6 les résultats des simulations faites par le logiciel Dialux.

IX - ETUDES HYDROLOGIQUES

Dans cette partie nous présenterons d'abord un état des lieux de l'assainissement existant et enfin proposer un schéma d'aménagement des caniveaux tenant compte des réalités actuelles.

IX.1 - Réseau existant

Comme mentionné plus haut, le réseau de drainage est très médiocre, inexistants à certains endroits pour la plupart du tronçon. Il a été observé des traces de submersions de la chaussée sur le côté droit. En effet, ce réseau d'assainissement ne fonctionne pas correctement en raison de l'ensablement, des dépôts d'ordures et probablement du sous dimensionnement de ses caniveaux. Ci-après des photos qui illustrent l'état des caniveaux.



Figure 11: Réseau de drainage existant côté droit de la chaussée à proximité du carrefour Na ROUAMBA



Figure 12: Réseau de drainage existant côté droit vers le canal Zogona

Tableau 32: Récapitulatif du réseau d'assainissement existant

Nom de la rue	Du PK ... Au PK ...	Position	Sections (cm ²)	Type et Nature d'ouvrage existant	État	Exutoires identifiés
RN04	Du 00+000 Au 00+200	Côté gauche	Néant	Caniveau en maçonnerie	En mauvais état	Dalots de 6x250x200 et de 3x600x200 traversant la rue RN04
		Côté droit	150/200X150			
	Du 00+200 Au 02+120	Côté gauche	Néant	Caniveau en béton	Moyen	
		Côté droit	100x100			
	Du 02+120 Au 03+600	Côté gauche	Néant	Caniveau en maçonnerie	Moyen	Dalot de 3x600x200 traversant la rue
		Côté droit	200/300x200			
	Du 03+600 Au 04+070	Côté gauche	Néant	Caniveau en maçonnerie	Moyen	Dalot de 3x600x200 traversant de la rue RN04
		Côté droit	250x150			

À la vue de l'état des caniveaux, nous proposons un nouvel aménagement du réseau de drainage pour remplacer ces derniers.

IX.2 - Réseau de drainage proposé

Pour l'élaboration du schéma de drainage des eaux pluviales, nous avons adopté les recommandations faites dans le « Schéma directeur d'assainissement pluvial de OUAGADOUGOU -Rapport final » réalisé par le groupe BCEOM et SAHEL CONSULT concernant la ville de Ouagadougou. Ces recommandations sont entre autres l'application de la méthode CAQUOT pour évaluer le débit de crue et l'utilisation d'un coefficient de ruissellement unique pour la ville de Ouagadougou.

Deux exutoires ont été identifiés, il s'agit du canal de Zogona situé au PK0+200 et du canal de Wemtenga au PK03+25. Ces exutoires présentent un état acceptable, mais manque d'entretien. Pour cela nous recommandons la rénovation de ces sites pour qu'il puisse écouler ses débits surtout avec ces temps de forte pluie exceptionnelle.

Ci-après les photos de ces canaux



Figure 13: Canal Wemtenga



Figure 14: Canal de Zogona

IX.2.1 - Détermination des bassins versants

Pour effectuer cette étude, nous avons utilisé comme référence le plan cadastral de la zone de projet et effectué une visite de terrain afin d'identifier les crêtes des eaux et délimiter les bassins versants qui en découlent. Il faut noter que seul le côté droit de notre chaussée est traversé par les eaux des bassins versants, car du côté gauche les eaux sont drainées directement sur le barrage N°3 de Ouagadougou. Les bassins versants obtenus étant de grande superficie nous avons jugé judicieux de subdiviser ces bassins en sous-bassins versants afin d'avoir des sections moins importantes sur chaque tronçon du réseau. Pour le calcul des caractéristiques des bassins, nous avons reporté le plan sur Autocad ou nous avons déterminé les superficies et la longueur du cheminement hydraulique L. Pour le calcul de la pente à partir de la relation $\frac{H}{L}$, il a été fait grâce au logiciel Google earth ou nous avons déterminé H la dénivelée. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 33:Caractéristiques des bassins versants

Bassin versant	Surface en ha	Longueur hydraulique Lh en m	Pente I en m/m
SBV1.1	18,9	584,34	0,005
SBV1.2	25,0	602,60	0,005
BV2	7,6	429,80	0,004
SBV3.1	4,7	943,26	0,001
SBV4.1	8,4	437,43	0,004
SBV4.2	6,2	491,32	0,008
SBV5.1	10,3	578,74	0,008
SBV5.2	10,4	460,05	0,008
SBV5.3	7,5	412,58	0,008
SBV5.4	8,5	429,88	0,008

Ci-joint en annexe 5 le plan cadastral avec la délimitation des bassins versants.

IX.2.2 - Détermination du débit

Comme mentionné plus haut la méthode pour le calcul du débit est celle de Caquot dont la formule générale est la suivante :

$$Q(F) = k \times C^m \times I^n \times A^p$$

Q (F) = débit maximal à l'exutoire de fréquence F, (en m³/s) ;

C= coefficient de ruissellement ;

I = pente moyenne du bassin (en m/m) ;

A = superficie du bassin versant en ha ;

Le coefficient de ruissèlement retenu selon les recommandations du schéma directeur est de 0.66 pour l'ensemble du réseau, car nous sommes en zone d'habitation en voie de densification.

k, m, n, p des coefficients et exposants dépendant des unités choisies et des coefficients de Montana.

La formule de Caquot a été adaptée aux conditions régionales par le CIEH.

Les coefficients de MONTANA ont été considérés pour une durée inférieure à une (01) heure pour l'ensemble du réseau.

Le débit sera calculé en considérant une période de retour de 5 ans adapté pour les caniveaux. Les valeurs des coefficients de Montana données dans le CIEH sont pour 1 an et 10 ans, on a donc fait une interpolation pour avoir pour 5 ans. Pour la ville de Ouagadougou, le débit de crue s'exprime comme suite :

$$Q(5) = 2.03 \times I^{0.23} A^{0.82} \times C^{1.16}$$

Ainsi le résumé des calculs est dans le tableau suivant :

Tableau 34: Calcul du débit de crue

Bassin versant	Surface en ha	Longueur hydraulique Lh en m	Pente I en m/m	Coefficient de ruissèlement	Débit Q5 m3/s
SBV1.1	18,9	584,34	0,005	0,66	4,1
SBV1.2	25	602,6	0,005	0,66	5,2
BV2	7,6	429,8	0,004	0,66	1,9
SBV3.1	4,7	943,26	0,001	0,66	0,9
SBV4.1	8,4	437,43	0,004	0,66	2
SBV4.2	6,2	491,32	0,008	0,66	1,8
SBV5.1	10,3	578,74	0,008	0,66	2,8
SBV5.2	10,4	460,05	0,008	0,66	2,8
SBV5.3	7,5	412,58	0,008	0,66	2,2
SBV5.4	8,5	429,88	0,008	0,66	2,4

❖ Détermination des sections des caniveaux

Pour le calcul des sections des caniveaux on se réfèrera à la formule de Manning Strickler qui est :

$$Q = K_s \times S \times R h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

Avec

Q : le débit en m³/s

K_s : le coefficient de rugosité qui est de 70 pour le béton armé

S : la section mouillée du caniveau en m²

R_h : le rayon hydraulique en m

I : la pente en m/m

Soit le schéma suivant

$$\text{On a } S = y \times b \quad P = 2y + b \quad \text{et } Rh = \frac{S}{P} = \frac{y \times b}{(2y + b)}$$

Nous avons procédé par itération pour obtenir les sections des caniveaux en variant la hauteur et la largeur correspondantes ou plus au débit de crue calculé plus haut. Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 35: Section des caniveaux

Tronçon	Pente	y (m)	b (m)	Q calculé (m ³ /s)	Section b×H (cm×cm)
PK0+40 au PK0+416	0,005	1	1,5	4,2	150×100
PK0+416 au PK1+597	0,008	1	1,5	5,4	150×100
PK1+615 au PK2+059	0,006	0,8	1	2,0	100×80
PK2+059 au PK3+000	0,004	0,8	0,8	1,2	80×80
PK3+000 au PK3+460	0,006	0,8	1	2,0	100×80
PK3+485 au PK3+993	0,005	0,8	1	1,8	100×80
PK3+993 au PK4+214	0,007	1	1	2,8	100×100
PK4+214 au PK4+500	0,007	1	1	2,8	100×100

Tous ces caniveaux seront aménagés du côté droit, pour le côté gauche comme il est prescrit dans le marché nous adopterons une section minimale de 80×80.

❖ Dimensionnement structurel

Principe de calcul

Les éléments porteurs (dalle, voile, radier) du caniveau seront étudiés indépendamment en fonction des différentes charges appliquées.

- D'abord, la dalle sera calculée en flexion simple sous l'action d'une charge concentrée d'une roue isolée de 10T conformément au fascicule 62 titre II) du Cahier des Prescriptions Communes applicables aux marchés de travaux publics de l'Etat Français.
- Ensuite le piédroit sera calculé en flexion composée sous l'action de l'effort transmis par la dalle chargée et de la poussée des terres d'une part et sous l'action des efforts

engendrés par la roue Br placé à 30 cm du caniveau, de la poussée de terre d'une autre part.

- Enfin le radier sera calculé en flexion simple sous l'action de son poids propre, du poids propre des piédroits et des moments d'encastrement sur appuis à gauche et à droite du radier.

Les calculs ont été faits sur la base du cours du Dr. MESSAN sur le « Cours de béton Armé 1 » et de M. TAMBOURA « Ponts : Ouvrages d'art ».

❖ Pré dimensionnement

Les caniveaux sont couverts par des dalles de couvertures aux endroits très sollicités par la population et au droit des entrées de propriétés et relayés par des dalots en béton armé au niveau des franchissements des amorces de chaussées. Les dalles de couverture reposent sur 2 appuis correspondants aux voiles du caniveau. Les voiles sont encastrés dans le radier.

En chaque élément se comporte comme une poutre en flexion, par conséquent les épaisseurs doivent justifier la relation suivante :

$$e \geq L/10.$$

- Radier+dalle dalle de couverture : $e \geq \frac{L}{10} = \frac{150}{10} = 15 \text{ cm}$ nous prenons 20 cm
- Voile : $e \geq \frac{H}{10} = \frac{100}{10} = 10 \text{ cm}$ nous prenons 15 cm

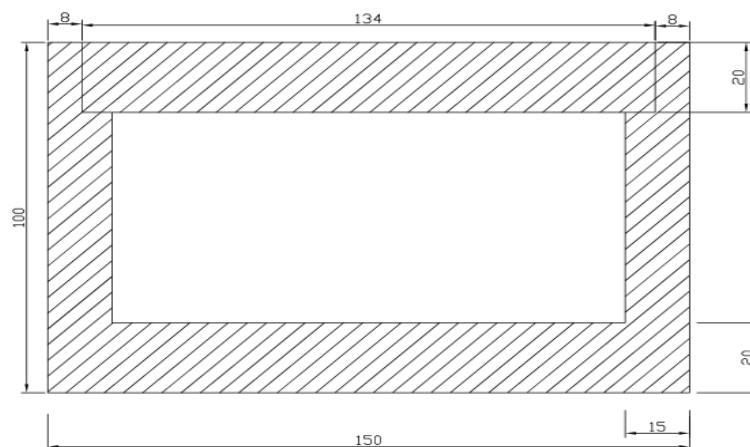


Figure 15: Schéma du caniveau de 150x100

❖ Dimensionnement

Les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99. Les notes de calcul afférant au dimensionnement et la détermination du ferrailage des caniveaux sont jointes en annexe 7.

Ci-dessous un récapitulatif des moments et des sections d'armature trouvées.

Tableau 36: Récapitulatif des sollicitations et sections d'aciers trouvés après calcul du caniveau

		Dalette	Pieds droits		Radier	
			CAS 1	CAS 2	Nappe >	Nappe <
Moments kN/m	ELU	51,76	1,5	20	14,17	42,3
	ELS	34,62	1,1	13,43	10,69	38,81
Effort tranchant kN	ELU	-	4,45	28,37	-	-
	ELS	-	3,3	20,65	-	-
Effort Normal kN	ELU	-	159,04	0	-	-
	ELS	-	106,7	0	-	-
Aciers théoriques	ELU	8,75	1,63	4,42	2,4	7,15
	ELS	11,45	-	5,96	3,54	12,83
Aciers réelles	Principaux	12,06	2,01	6,16	3,93	13,85
	Répartitions	4,52	0,5	2,36	1,57	4,62
Armatures	Principaux	6HA16	2HA8	4HA14	5HA10	9HA14
	Répartitions	6HA12	HA8	3HA10	2HA10	3HA14

X - ÉTUDE DES OUVRAGES D'ART

X.1 - Dalot de Wentenga

Ce dalot est constitué de :

- 3 travées
- Une portée de 6 m
- Une longueur totale de 19.40 m
- Une voie portée de 12 m



Figure 16: Dalot de Wemtenga

Afin d'écouler le trafic prévu pour la durée de vie de la chaussée, il est prévu un rallongement du dalot de 7.3 m côté droit et de 1 m côté gauche.

Dans la suite nous allons dimensionner le rallongement du côté droit.

Pour le dimensionnement nous avons utilisé le mémoire de Edwige HIEN sur le thème « Dimensionnement hydraulique et structural d'un ouvrage de franchissement sur l'axe Botou-Boulel dans la région est du Burkina Faso », du guide SETRA sur « Programmes de calcul PICF EC » .

Dimensionnement structurel

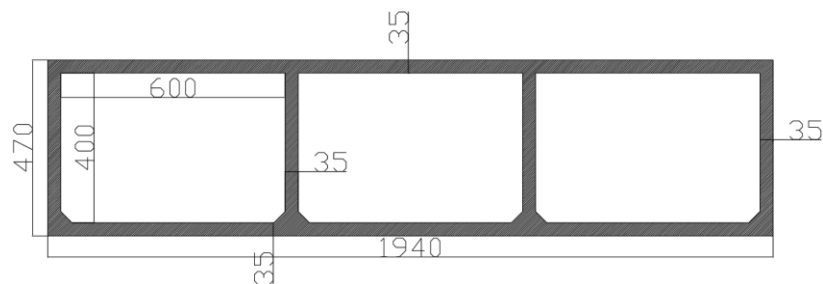


Figure 17: Schéma du dalot de Wemtenga

❖ Caractéristiques de l'ouvrage

Longueur entre axes : 6,35 m

Portée : 6,35 m

Largeur totale : 7,30 m

Largeur du trottoir : 2 m

Largeur roulable : $7,30-2=5,30$ m

Largeur chargeable : $7,30-0,5 = 6,8$ m

Classe de pont : $L_r > 7$ m donc pont de classe I

Nombre de voies : $n_v = \text{nombre entier}(\frac{L_c}{3}) = 2 \text{ voies}$

Largeur d'une voie : $\frac{L_r}{\text{nb de voies}} = 2,65$ m

❖ Méthode de calcul

La méthode de calcul utilisée est la méthode des rotations.

De manière générale, les études seront faites par bande d'un (01) mètre de dalot ($b=1$ m). Dans notre étude, compte tenu de la symétrie de géométrie de notre ouvrage et de la non symétrie de chargement, nous avons considéré que les piédroits intermédiaires sont dimensionnés en compression simple, ce qui nous permet d'annuler le moment au niveau de ces piédroits, d'où la possibilité d'utiliser la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

Désignons par

M_{ij} moment statique appliqué au nœud i par la barre ij

$m_{i,j}$ moment d'encastrement appliqué au nœud i par la barre j (déterminé par les charges appliquées à la barre)

α_i rotation du nœud i

k_1 = caractéristique de la rigidité des barres horizontales $= \frac{2xE_xI_1}{L}$

k_2 = caractéristique de la rigidité des barres verticales $= \frac{2xE_xI_2}{L}$

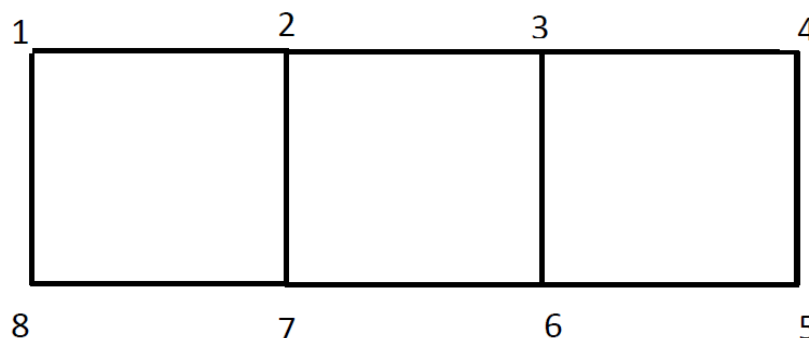


Figure 18: Schéma des nœuds sur le dalot

$$M_{i,j} = k(2\alpha_i + \alpha_j) + m_{i,j}$$

$$k_1 \text{ pour barres horizontales} = \frac{2xI_1xE}{L} = \frac{2xI_1}{L}$$

$$k_2 \text{ pour barres verticales} = \frac{2xI_2xE}{H} = \frac{2xI_2}{H}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{bxh^3}{12} = \frac{350x1000^3}{12} = 2,9x10^4 \text{ mm}^4$$

$$k_1 = \frac{2x2,9x10^4}{6350} = 9,13x10^6 \text{ N/mm}$$

$$k_2 = \frac{2x2,9x10^4}{4350} = 1,33x10^7 \text{ N/mm}$$

$$2(k_1 + k_2) = 4,48x10^7$$

$$2(2k_1 + k_2) = 6,3x10^7$$

Moments statiques aux différents nœuds

Nœud 1 : $M_{1,2} + M_{1,8} = 0$

$$2(k_1 + k_2) + k_1\alpha_2 + k_2\alpha_8 = -(m_{1,2} + m_{1,8}) = b_1$$

Nœud 2 : $M_{2,1} + M_{2,7} + M_{2,3} = 0$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_2 + k_1\alpha_1 + k_2\alpha_7 + k_1\alpha_3 = -(m_{2,1} + m_{2,7} + m_{2,3}) = b_2$$

Nœud 3 : $M_{3,2} + M_{3,6} + M_{3,4} = 0$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_3 + k_1\alpha_2 + k_2\alpha_6 + k_1\alpha_4 = -(m_{3,2} + m_{3,6} + m_{3,4}) = b_3$$

Nœud 4 : $M_{4,3} + M_{4,5} = 0$

$$2(k_1 + k_2)\alpha_4 + k_1\alpha_3 + k_2\alpha_5 = -(m_{4,3} + m_{4,5}) = b_4$$

Nœud 5 : $M_{5,4} + M_{5,6} = 0$

$$2(k_1 + k_2)\alpha_5 + k_1\alpha_4 + k_2\alpha_6 = -(m_{5,4} + m_{5,6}) = b_5$$

Nœud 6 : $M_{6,5} + M_{6,3} + M_{6,7} = 0$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_6 + k_1\alpha_5 + k_2\alpha_3 + k_1\alpha_7 = -(m_{6,5} + m_{6,3} + m_{6,7}) = b_6$$

Nœud 7 : $M_{7,6} + M_{7,2} + M_{7,8} = 0$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_7 + k_1\alpha_6 + k_2\alpha_2 + k_1\alpha_8 = -(m_{7,6} + m_{7,2} + m_{7,8}) = b_7$$

Nœud 8 : $M_{8,7} + M_{8,1} = 0$

$$2(k_1 + k_2)\alpha_8 + k_1\alpha_7 + k_2\alpha_1 = -(m_{8,7} + m_{8,1}) = b_8$$

On obtient ainsi une matrice avec comme inconnues $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 \alpha_7 \alpha_8$

Ces valeurs de rotation sont obtenues à partir des charges permanentes et comme charges variables notre dalot est soumis au système B_c, B_t, M_{c120} .

❖ **Calcul des moments et efforts normaux :**

ELU

CAS 1 : $1,35G + 1,6Max(B_c, B_t)$

CAS 2 : $1,35G + 1,35M_{c120}$

ELS

CAS 1 : $G + 1,2Max(B_c, B_t)$

CAS 2 : $G + M_{c120}$

La synthèse des résultats du calcul des moments est mentionnée dans le tableau ci-dessous

Tableau 37 : Récapitulatif des sollicitations obtenues sur le dalot

Partie de l'ouvrage	Moments et Efforts en KN.m/ml et KN/ml		CAS 1		CAS 2	
			ELU	ELS	ELU	ELS
Tablier	Moment fléchissant	Gauche	-288,30	-215,31	-313,55	-232,26
		Milieu	160,58	119,88	184,63	136,76
		Droite	-266,56	-199,06	-289,82	-214,68
Radier	Moment fléchissant	Gauche	344,42	256,73	385,75	285,74
		Milieu	-208,09	-155,16	-222,78	-165,02
		Droite	322,46	240,33	360,53	267,06
Pied droits extrêmes	Moment fléchissant	Inférieur	140,26	104,50	156,00	115,55
		Milieu	117,61	87,73	133,35	98,78
		Supérieur	-159,40	-119,11	-174,33	-129,13
	Effort normal		587,08	437,92	665,71	493,12
Pieds droits intérieurs	Moment fléchissant	Inférieur	-29,10	-21,70	-31,11	-23,05
		Milieu	-26,09	-19,47	-28,11	-20,82
		Supérieur	-23,09	-17,24	-25,10	-18,59
	Effort normal		1122,20	837,04	1271,49	941,85

Et le calcul de ferrailage nous conduit au tableau suivant :

Tableau 38: Récapitulatif du ferrailage sur le dalot

Parties de l'ouvrage		Armatures		Aciers réels (cm ²)		Espacement (cm)	
		Principaux	Répartition	Principaux	Répartition	Principaux	Répartition
Tablier	Travée	8HA20	6HA14	25,13	9,24	12,5	16
	Appuis	2x7HA20	5HA20	43,98	15,71	7	20
Radier	Travée	10HA20	7HA14	31,42	10,47	10	14
	Appuis	2x8HA20	6HA20	50,26	18,85	6,25	16
Pieds droits	Extérieur	8HA20	8HA12	25,13	9,05	12,5	12,5
	Intérieur	6HA16	4HA12	12,06	4,52	16	25

Les détails de la note de calcul sont résumés dans l'annexe 8.

X.2 - Pont de la RN04

X.2.1 - Équipements.

Pour les équipements de protection et de drainage sur l'ouvrage, il a été prévu

- Des barrières de type BN4 pour les dispositifs de retenue
- Des descentes d'eau et des gargouilles pour l'évacuation des eaux hors de l'ouvrage
- Une couche d'étanchéité pour éviter la pénétration de l'eau sur le tablier
- Des joints de chaussée
- Des appareils d'appui en élastomère fretté type Fressinet
- Des corniches

X.2.2 - Pré dimensionnement de la structure

L'ouvrage est situé au PK0+897 de l'axe principal qui mène vers le parc Bangre weogo, il permet le franchissement en passage supérieur au niveau du giratoire de l'hôpital. Il a une longueur de 67.5 m et est en courbe de rayon 250m à l'axe de la route.

i. Tablier

La longueur totale du tablier est de 67,5 m soit 27,5 m pour la portée principale 20 m pour les travées de rive soit 3 travées. Dans le guide de dimensionnement des ponts pour cette gamme de portée, nous avons choisi le PSI DP.

ii. Appuis

À partir des documents PP73 il a été retenu pour les appuis, ceux de type colonne soit deux sur chaque tablier de hauteur moyenne 7 m compte tenu du gabarit mentionné plus haut. Et les culées sont de type remblayé.

iii. Fondations

Comme mentionné plus haut dans la partie géotechnique routière les fondations préconisées sont de type profond sur pieux de préférence battus compte tenu de la morphologie du sol.

XI - NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALES

XI.1 - Impacts Positifs

Comme principaux impacts positifs des travaux d'aménagement du tronçon de route de l'interconnexion RN01-RN04 Lot 2, Section 1, entre l'Échangeur de l'Est et l'Avenue de la Liberté nous pouvons retenir entre autres :

- La création d'emplois due à l'embauche de main d'œuvre pour les travaux ;
- Les retombées économiques dues à l'acquisition de matériaux de construction ;
- L'amélioration des conditions de circulation et la réduction des pertes de temps ;
- La réduction des accidents de circulation due à l'élargissement du tronçon de route ;
- La facilitation de la circulation et des évacuations sanitaires à l'Hôpital Yalgado,
- La réduction des pertes de temps et des embouteillages pour les usagers ;
- Le développement des activités féminines génératrices de revenus et la réduction de la pauvreté dû l'existence d'un tronçon de route aménagé et éclairé ;
- La réduction des maladies hydriques (paludisme) et nuisances diverses (piqûres de moustiques et d'insectes) chez les populations riveraines ;
- La réduction des maladies respiratoires et oculaires due également à la diminution des émissions de poussières et de fumées.

XI.2 - Impacts Négatifs

Comme impacts négatifs potentiels du projet, on peut retenir entre autres :

- La destruction et/ou le déplacement d'infrastructures socio-économiques et autres biens dans l'emprise du projet

- L'abattage de 962 arbres, dont 217 arbres fruitiers dans l'emprise du tronçon de la route
- L'expropriation de 38 sites de pépinières ;
- La dégradation de la qualité de l'air due aux envols de poussières et de gaz souvent à l'origine de maladies respiratoires
- Les nuisances sonores chez le personnel, les populations et services riverains
- La pollution des sols et des eaux de surface par les déversements de déchets liquides
- La destruction en profondeur du profil initial des sols sur toute la superficie des excavations, tassement, constitution de sites d'érosion dans les zones d'emprunt ;
- La perturbation temporaire de la circulation sur le tronçon de route de l'interconnexion, des accès aux services
- La perturbation temporaire des activités économiques et génératrices de revenus ;
- Les nuisances dues aux émissions de poussières, rejets de gaz d'échappement et bruits
- Les désagréments pour les populations locales dus aux risques d'interruptions temporaires des réseaux de concessionnaires (ONEA, SONABEL et ONATEL) ;
- Les accidents de la circulation dus au non-respect du code de la route par les usagers du tronçon de route de l'interconnexion.

XI.3 - Mesures du plan de gestion environnementales et sociales

Pour minimiser les risques environnementaux et sociaux du projet, un PGES regroupant un certain nombre de mesures a été proposé. L'objectif principal de ce plan est d'assurer la conformité du projet avec la politique environnementale et sociale du Burkina Faso et celle du bailleur de fonds, notamment la BOAD. Parmi ces mesures, on retiendra :

- Le dédommagement des Personnes affectées par le Projet (PAP) afin d'éviter tout conflit
- La négociation et le dédommagement des propriétaires des zones d'emprunt par l'entrepreneur ;
- L'information et l'affichage des opportunités d'emplois pour la réalisation des travaux
- L'acquisition de matériaux de génie civil au niveau local si possible afin de permettre aux populations d'obtenir des revenus ;
- L'élaboration et l'application de Plans d'Action de Protection Environnementale et Sociale ;

- La mise en place d'un plan adéquat de circulation pendant les travaux par l'entreprise ;
- L'interdiction de toute source de chaleur à proximité du Bureau Ozone et des stations-services ;
- La dotation de la main d'œuvre d'équipements de protection individuelle
- L'interdiction de réaliser des zones d'emprunt et de carrières dans et à proximité de zones protégées
- L'arrosage systématique et suffisant de l'emprise des travaux, des pistes d'accès aux zones d'emprunt de matériaux, aux sites de prélèvement des eaux à la traversée de zones habitées ;
- L'équipement de la base de chantier, des aires de dépôt d'hydrocarbures et des garages, de mesures sécuritaires adéquates ;
- La signalisation adéquate du chantier (panneaux, balises, rubans fluorescents) ;
- La fixation des équipements de chantier et des sites de dépôt tout au moins à 300 m de zones habitées et tout au moins à 500 m des écoles et des centres santé ;
- La réalisation de plantations d'arbres
- La réhabilitation des infrastructures

XII - DEVIS ESTIMATIF

Le devis a été fait à partir des quantités calculées dans le logiciel piste et manuellement pour certaines parties. Les prix unitaires ont été obtenus à partir du « MERCURIAL BTP 2011 » du ministère de l'Économie et des Finances du Burkina et aussi à partir du mémoire de Christian ZOMBRE sur le thème « Etudes de l'aménagement de l'interconnexion RN04 RN03, de l'échangeur de l'est au carrefour de l'hôpital ».

Tableau 39 : Devis estimatif sommaire du projet

NUMÉRO	DÉSIGNATION	MONTANT TOTAL
000	INSTALLATION DE CHANTIER	671 410 500
100	TRAVAUX PRÉPARATOIRES	1 012 453 619
200	TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX	1 621 897 399
300	CHAUSSÉE	2 919 136 000
400	OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT	1 749 706 642
500	OUVRAGES D'ART	3 381 671 000
600	SIGNALISATION ET SÉCURITÉ	527 047 200
700	ÉCLAIRAGE PUBLIC	699 050 000
800	RÉSEAUX DES CONCESSIONNAIRES	2 670 000 000
900	MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES	485 000 000
	MONTANT TOTAL HORS TVA	15 737 372 359
	TVA EN F CFA 18%	2 832 727 024
	MONTANT TOTAL TTC	18 570 099 384
	COUT KILOMÉTRIQUE	4 220 477 133

Le projet s'élève à dix-huit milliards cinq cent soixante-dix millions quatre-vingt-dix-neuf mille trois cent quatre-vingt-quatre mille F CFA TTC.

Les détails du devis sont joints en annexe 9.

PARTIE B : PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT DE LA ZONE MARÉCAGEUSE

Compte tenu de la présence de l'eau sur une partie de l'emprise de la route, nous proposerons des solutions pour le traitement de cette zone afin d'améliorer la portance du sol.

I - ÉTAT DES LIEUX

Depuis quelques années une partie de la RN04 qui jonche le mur du parc Bangre weogo est totalement inaccessible en toute saison de l'année. Cette situation est liée au mauvais drainage des eaux par le canal de Zogona au sein du parc provoquant ainsi la stagnation de ces eaux sur l'emprise de la voie. Cette zone humide va du PK1+050 à 1+600, côté gauche et droit de l'emprise de la route.



Figure 19: Partie marécageuse côté gauche du tronçon



Figure 20: Partie marécageuse côté droit du tronçon

II - ESSAI GÉOTECHNIQUE

Cette mission a été confiée au LNBTP et la zone étant inaccessible il a fallu mettre en œuvre des rampes en remblai pour pouvoir effectuer les essais

18 essais ont été exécutés au pénétromètre dynamique lourd de type B suivant la norme NFP 94 115. L'analyse de ces profils montre que les essais P1 et P18 ont atteint 8 m de profondeur sans refus. Les résistances de pointes enregistrées sont en moyenne bonne. Ci-dessous un résumé des résultats de 9 profils pressiométrique et les coupes de sondages effectués sur la zone humide.

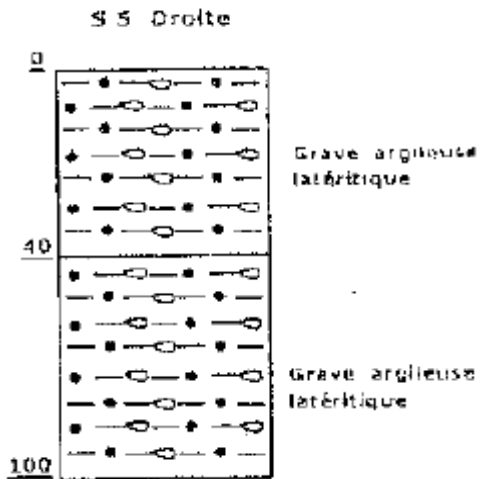


Figure 22:: Coupe de sondage de la zone marécageuse côté droit

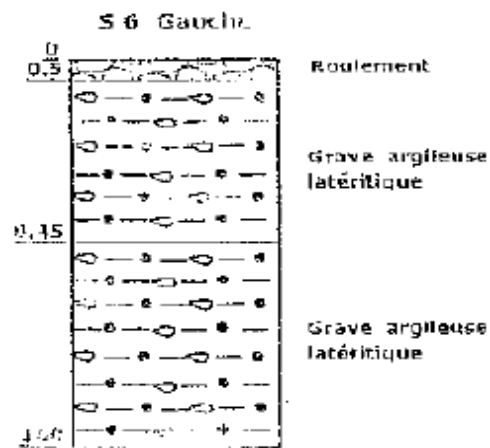


Figure 21:: Coupe de sondage de la zone marécageuse côté gauche

Source : Rapport géotechnique

Tableau 40: Résumé des essais pressiométriques

Profils	Profondeur en m	Résistance de pointe qd en MPa
P1	De 0 à 8	$1,8 \leq qd \leq 10,6$
P3	De 0 à 8	$1,9 \leq qd \leq 10,2$
P5	De 0 à 3,5	$0,9 \leq qd \leq 60$
P7	De 0 à 8	$0,85 \leq qd \leq 8$
P9	De 0 à 8	$0,7 \leq qd \leq 18$
P11	De 0 à 8	$0,9 \leq qd \leq 17$
P13	De 0 à 7	$0,7 \leq qd \leq 13$
P15	De 0 à 8	$0,7 \leq qd \leq 25$
P17	De 0 à 8	$0,9 \leq qd \leq 17$

Source : Rapport géotechnique



Figure 23: Rampes en remblai pour les essais

III - SOLUTION ENVISAGÉE POUR TRAITER LA ZONE HUMIDE

Dans ce présent projet, compte tenu de l'état d'humidité du sol il y'a des risques de remontée capillaires qui viendront endommager le corps de la chaussée à court ou long terme. Pour pallier à cela, nous préconisons l'utilisation des géotextiles à l'instar des purges qui sont couramment utilisées dans ce genre de situation pour les raisons suivantes :

- Les géotextiles offrent une meilleure résistance au sol et à la chaussée
- Empêche les remontées capillaires
- Le volume de remblai dans ce cas est peu

IV - PRÉSENTATION DU GÉOTEXTILE

IV.1 - Définition

Les géotextiles sont définis comme des produits textiles à base de fibres polymères se présentant sous forme de nappes perméables, souples, résistantes et filtrantes, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Ce sont en fait des textiles, au sens commun du terme, utilisés au contact du sol.

Les géo grilles sont un développement avancé de géotextiles en agrandissant les mailles des géotextiles et en les ajustant aux matériaux nécessaires. Ces produits s'orientent alors vers une application spécifique c'est-à-dire l'armement.

IV.2 - Les constituants

Les géotextiles sont constitués de fibres synthétiques obtenues par filage puis étirage de polymères fondus, le plus souvent du polypropylène ou du polyester. Le diamètre de ces fibres est d'environ 10 à 30 micromètres. Certains géotextiles sont cependant constitués de bandelettes obtenues non pas par filage, mais par découpage de films puis étirage. Ces bandelettes sont alors en polypropylène et possèdent quelques millimètres de largeur.

IV.3 - Mode d'assemblage

Il y a essentiellement deux familles de géotextiles : les tissés et les non-tissés :

— les géotextiles tissés : ils sont obtenus par l'entrecroisement de deux nappes perpendiculaires de fils ou de bandelettes,

— les géotextiles non tissés : ils sont constitués de fibres disposées de façon désordonnée et liées par différents procédés.

On distingue principalement :

- Les géotextiles non tissés aiguilletés. L'aiguilletage est un procédé purement mécanique dans lequel des aiguilles hérissées d'ergots traversent la nappe dans un mouvement alternatif rapide ;
- Les géotextiles non tissés thermo liés. L'assemblage consiste à comprimer à chaud la nappe de fibres. Il en résulte une soudure superficielle de ces fibres ;

V - PRINCIPALES FONCTIONS DU GÉOTEXTILE

A partir de l'ouvrage de Stéphane LAMBERT sur « Les géotextiles : fonctions, caractéristiques et dimensionnement » nous distinguons les principales fonctions du géotextile :

V.1 - La séparation

Le géotextile, lorsqu'il assure une fonction de séparation, est placé entre deux sols très dissemblables par leur granulométrie, l'un fin et l'autre plus grossier, et a pour vocation de conserver l'intégrité et les performances de chacun des matériaux. Il empêche l'interpénétration des deux milieux, sans être un obstacle à la circulation des fluides.

V.2 - La filtration

Un géotextile jouant un rôle de filtre doit autoriser le passage d'eau perpendiculairement à son plan, mais pas celui des particules de sol. Le géotextile assurant cette fonction doit être plus perméable que le sol à filtrer.

V.3 - Le drainage

Lorsqu'il est utilisé en tant que drain, un géotextile permet un écoulement dans son plan de pose. On assimile dans ce cas le géotextile à un drain capable de dissiper les pressions interstitielles, de collecter et de conduire les fluides vers un exutoire.

V.4 - Le renforcement

Le géotextile utilisé en renforcement améliore la résistance mécanique d'un massif de sol dans lequel il est inclus. Le géotextile améliore à la fois la résistance à la traction du massif et sa capacité à se déformer avant la rupture. Le renforcement peut aussi concerner la reprise de sollicitations sur un autre élément ou sur une interface faible.

V.5 - La protection

Un élément sensible, comme une géo membrane, est susceptible d'être endommagé par des éléments poinçonnant (matériaux grossiers), par effet dynamique ou statique. Interposé entre un élément sensible et des éléments poinçonnant, le géotextile assure une fonction de protection.

V.6 - L'anti érosion

Le géotextile limite dans ce cas les mouvements de particules de sol en surface, mouvements causés par l'eau ou le vent. Un géotextile relativement ouvert maintiendra une couche de sol sur la pente (couche superficielle à épaisse), un géotextile fermé agira comme un matelas de protection. La lutte contre l'érosion par géotextiles est en général compatible avec des objectifs de végétalisation.

VI - PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES DES GÉOTEXTILES

Ces propriétés sont celles qui sont prescrites dans le document de référence du SETRA « Notions générales sur les géotextiles en géotechnique routière ».

VI.1 - Résistance à la traction et allongement à l'effort maximal

Cet essai consiste à placer le géotextile dans une éprouvette de 100 mm de longueur et 500 mm de largeur. Les 2 sens du géotextile (sens de production, sens travers) sont soumis à une force de traction mécanique en KN/m. Une fois l'essai terminé on mesure l'allongement ou le raccourcissement par la différence entre la longueur initiale et celle finale. Cet allongement est ensuite exprimé en pourcentage.

VI.2 - Résistance au déchirement

Il consiste à placer le géotextile sur une éprouvette trapézoïdale dont les deux bases sont de 670 et 225 mm, la hauteur à 445 mm. La déchirure est amorcée par une coupure franche sur une longueur de 50 mm au milieu de la petite base. La force nécessaire pour propager la déchirure est mesurée et si possible enregistrée. La valeur retenue est la moyenne des cinq valeurs maximales notées pendant l'essai. Le résultat est exprimé en kN.

VI.3 - Permittivité

Il s'agit de la propriété caractérisant l'aptitude d'un géotextile à laisser écouler un certain débit d'eau dans la direction perpendiculaire à son plan, donc d'analyser le pouvoir filtrant d'un géotextile. L'essai doit être réalisé dans un perméamètre appliquant un gradient hydraulique assez faible pour utiliser de l'eau désaérée afin de se préserver des phénomènes aléatoires de formation de bulles d'air.

VI.4 - Transmittivité

Il s'agit de la propriété d'un géotextile traduisant son aptitude à laisser s'écouler un certain débit d'eau dans son plan, propriété capitale pour caractériser le pouvoir drainant d'un géotextile. L'essai doit être réalisé dans un perméamètre appliquant un gradient hydraulique assez faible en utilisant de l'eau désaérée pour se préserver des phénomènes aléatoires de formation de bulles d'air dans le sens de l'épaisseur.

VI.5 - Porométrie

La porométrie est la mesure des dimensions des pores d'un géotextile. Les géotextiles ayant des pores de différents diamètres, la porométrie complète s'exprime en fait par une courbe qui en donne la répartition et caractérise notamment le pouvoir filtrant et anti contaminant du géotextile. Pour simplifier l'expression de la porométrie, on utilise l'ouverture de filtration Of du géotextile. En pratique, on détermine la valeur Of en faisant passer à travers le géotextile un matériau en suspension dans l'eau de granulométrie connue et appropriée ; on admet que la valeur recherchée est égale au DQ5 de la courbe granulométrique du matériau ayant traversé le géotextile.

VI.6 - Classification

Le tableau I récapitule les principales propriétés des géotextiles, qui doivent être connues pour apprécier leur aptitude à jouer les différents rôles pouvant leur être assignés.

Dans ce tableau chaque propriété est repérée par une échelle de classification, comportant douze classes limitées par des valeurs précisées quantitativement.

D'autres caractéristiques des géotextiles ou des associations sols-géotextiles et les modes de mesure correspondants sont encore à préciser. C'est le cas notamment pour : le frottement sol-géotextile, le module de cisaillement dans le plan d'un géotextile, la résistance à la déchirure dynamique, la souplesse, etc. Ce travail est conduit au sein du groupe « Essai » du Comité français des Géotextiles qui publiera les résultats au fur et à mesure de leur obtention.

VI.7 - Choix du géotextile

A partir des publications du Comité Français des Géotextiles sur les « Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans le renforcement des ouvrages en terre » et de l'article de Annstein WATN sur « Géosynthétiques dans les structures routières : expériences Européennes » dans le cadre des constructions des pistes et routes pour les couches de forme voici entre autres les rôles du géotextile :

De façon générale il joue un rôle d'anticontamination :

Dans tous les cas le géotextile doit empêcher l'interpénétration du sol-support dans le matériau d'apport graveleux pour que ce dernier conserve ses propriétés mécaniques.

Rôles éventuels

Renfort mécanique :

a) Sur les sols présentant une portance très variable à l'échelle de quelques dizaines de centimètres, le géotextile peut effacer les points de portance les plus faibles où en son absence se seraient amorcées puis développées des ornières sous l'action du trafic.

b) Certains géotextiles particulièrement résistants ou mis en place en plusieurs couches peuvent contribuer au fonctionnement mécanique de l'ouvrage.

Filtration : Dans le cas où des écoulements chargés peuvent se produire entre le sol support et le matériau d'apport graveleux le géotextile doit jouer le rôle de filtre.

Drainage : Quand l'ouvrage ne comporte pas de revêtement imperméable, le géotextile peut jouer un rôle de drain en évacuant dans son plan les eaux d'infiltration. Il peut aussi accélérer la consolidation de la partie superficielle du sol support lorsque celui-ci est particulièrement mou.

Dans notre cas il sera nécessaire de réaliser des purges et pour réduire ces quantités et avoir une assise de plateforme sur l'emprise du projet concerné nous préconisons la mise en œuvre d'un géotextile anti-contaminant en fond de purge.

De plus pour assurer le renforcement de la structure de chaussée, nous proposons de mettre en place : un **géotextile** sous couche de forme et un **géo grille** sous couche de fondation

VII - PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT

Il existe plusieurs méthodes de nos jours pour le dimensionnement des géotextiles, mais le plus utilisé est la méthode AASHTO développée aux Etats Unis.

VIII - MISE EN ŒUVRE

Suivant les prescriptions du Comité Français sur les Géosynthétiques sur la « Définition, mise en œuvre et dimensionnement des Géosynthétiques » et celui du SETRA on a :

Principes généraux

Dans les cas d'utilisation courante, la mise en œuvre des géotextiles ne pose pas de problèmes techniques particuliers. Elle nécessite cependant un certain nombre de précautions :

Le géotextile ne doit pas rester plus de quelques jours exposés au rayonnement solaire. On doit, en particulier, surveiller le stockage (bien que les rouleaux soient souvent livrés entourés d'une enveloppe opaque qui les protège du rayonnement), mais aussi la mise en œuvre en évitant de dérouler à l'avance de grandes surfaces ou de laisser séjourner des rouleaux entamés sur le chantier.

Le géotextile ne doit pas être endommagé avant d'être incorporé dans l'ouvrage. Il peut être, par exemple, déchiré lors de sa manutention ou après son déroulement, ou bien colmaté en stagnant sans précaution dans la boue.

Le recouvrement de deux bandes de géotextile doit être suffisant pour que même après déformation, la continuité du géotextile soit assurée. Lorsqu'on prévoit que l'assemblage de deux nappes aura à résister à des efforts de traction, cet assemblage doit être fait par couture.

Suivant les cas d'utilisation, les aspects suivants sont également à considérer :

- la préparation du terrain avant mise en place du géotextile,
- le mode d'ancrage dans le sol,
- le mode de mise en œuvre des matériaux recouvrant le géotextile,

VIII.1 - Règles pratiques pour la mise en œuvre

➤ Pose et raccordements des nappes

Les plateformes recevant les nappes doivent être compactées, nivelées et débarrassées de tout élément susceptible d'endommager les nappes lors de leurs étalement, positionnement et prétention.

Les nappes sont étalées sur la plateforme par déroulement des rouleaux, découpés à la longueur en vérifiant systématiquement la conformité au plan de pose de la mise en place

réelle. Un soin particulier sera apporté à la vérification du sens de la traction effective du géotextile et à son accord à son dimensionnement.

➤ Mise en prétention des nappes

La pré tension des nappes doit se faire en même temps que le réglage. Elle peut être réalisée commodément par 2 ou 3 ouvriers qui progressent d'une nappe à l'autre au fur et à mesure que la pré tension est maintenue par le cordon de matériau.

➤ Réglage et compactage

Il faudra vérifier après étalement du géotextile et le remblai que la compacité soit de 95% de l'optimum Proctor comme requis dans les remblais routiers.



Figure 25: Mise en place du géotextile



Figure 24 : Phase de remblayage sur le géotextile

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le présent projet qui nous a été confié consistait à proposer d'une part l'aménagement de la section urbaine de la RN04 allant de l'échangeur de l'Est au carrefour de la liberté. Et d'une autre à proposer des solutions pour le traitement de la zone marécageuse du PK1+050 au PK1+600 côté gauche et droite de l'emprise de la route, pour améliorer la portance du sol.

Ainsi concernant la conception géométrique il a été retenu une 2x2 voies pour la voie principale et 1x2 voies pour les routes secondaires. Il est prévu l'aménagement d'un giratoire au niveau du carrefour de l'hôpital celui de l'avenue de la liberté et le croisement de la RN04 avec l'avenue Na. ROUAMBA. L'optimisation des couches de chaussées obtenues nous a permis de retenir pour la chaussée principale 5 cm de BB, 10 cm de grave bitume, 25 cm de GLL et pour les bretelles et contre allées 5 cm BB, 15 cm GLL, 20 cm de GLL. Des dispositifs de retenue, la signalisation, et l'éclairage ont été prévus pour le confort des usagers.

Les caniveaux existants seront détruits au profit de nouveaux qui assureront l'écoulement des eaux vers les exutoires de Zogona et de Wentenga. Le dalot de Wentenga sera élargi de 7,3 m côté gauche afin d'écouler le trafic prévu pour ce tronçon.

Comme dans tout projet nous avons évalué l'aspect environnemental et de cela ressortent les impacts négatifs liés aux travaux notamment l'environnement physique, la végétation naturelle, le milieu humain. Concernant les aspects positifs on peut citer entre autres, la création des emplois, la réduction des emplois, le développement des activités féminines. Les mesures envisagées pour remédier aux impacts négatifs sont entre autres les mesures de compensation, de bonification et d'atténuation.

Pour le traitement de la zone marécageuse nous avons opté pour les géotextiles de type anti contaminant pour le sol support et des géogrilles sous les couches de chaussée.

De cette étude il en découle un coût global dix-huit milliards cinq cent soixante-dix millions quatre-vingt-dix-neuf mille trois cent quatre-vingt-quatre mille F CFA TTC (18 570 099 384 FCFA).

De ce stage nous retenons un travail d'équipe pour l'accomplissement des objectifs du projet, comment se passe les réunions de chantier, le rôle de la mission de contrôle dans les travaux...

Et ainsi pour la bonne exécution des travaux nous préconisons ce qui suit comme perspectives :

- Obtenir le bon de réception de la mission de contrôle avant toute mise en œuvre des tâches
- Les matériaux utilisés devront faire l'objet d'essais géotechniques pour vérifier la qualité de ceux-ci avant mise en œuvre
- Améliorer les démarches administratives à partir de la coopération entre les différents acteurs du projet afin d'éviter les lenteurs administratives inhérentes.
- Respecter les engagements préconisés sur les études environnementales
- Effectuer un entretien périodique de la route après la mise en service afin d'éviter la dégradation précoce de celle-ci.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- Instructions sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU) présenté par le CETUR (Centre d'Études des Transports Urbains) Edition 1990, Eyrolles ;
- Schéma directeur de la ville de Ouagadougou BCEOM / SAHEL CONSULT ; 1999
- SETRA. (1998). Aménagement des carrefours interurbains. Paris. SETRA. 138 pages
- Direction Générale des infrastructures et des transports. (1977). Instruction Interministérielle sur la signalisation routière, 1^{ère} partie. Paris. 54 pages.
- Direction Générale des infrastructures et des transports. (1988). Instruction Interministérielle sur la signalisation routière, 7^e partie. Paris. 40 pages.
- Ministère des transports. (1983). Notions générales sur les géotextiles en géotechnique routière. Paris. SETRA, LCPC. 40 pages.
- Comité Français des Géosynthétiques, CFG. (2015). Définition, mise en œuvre et dimensionnement des géosynthétiques. France. Le Moniteur. 40 pages.
- Annstein WATN. (2011). Géosynthétiques dans les structures routières : expériences Européennes. Norvège. 16 pages.
- CFG. (1990). Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans le renforcement des ouvrages en terre. France. 54 pages.
- Stéphane LAMBERT. (2000). Les géotextiles : fonctions, caractéristiques et dimensionnement. CEMAGREF. 9 pages.
- CFG. (2017). Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes. France. 81 pages.
- SETRA. (1994). Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Paris. SETRA, LCPC. Pages 70-250.
- Issoufou TAMBOURA. (2015). Ponts : ouvrages d'art. Ouagadougou. 2ie. 106 pages.
- SETRA. (1999). Guide du projeteur ouvrages d'art. Paris. SETRA. 300 pages.
- Edwige Y. HIEN. (2012). Dimensionnement hydraulique et structural d'un ouvrage de franchissement sur l'axe Botou-Boulel dans la région est du Burkina Faso. Ouagadougou. 2ie. 56 pages.
- SETRA. (1991). Programme de calcul PICF EC. France. SETRA. 110 pages.
- Adamah MESSAN. (2014). Cours de Béton Armé 1, bachelor L3. Ouagadougou. 2ie. 64 pages.
- Christian ZOMBRE. (2014). Études de l'aménagement de l'interconnexion RN04 RN03 : de l'échangeur de l'est au carrefour de l'Hôpital. Ouagadougou. 2ie.

Sites internet

- i. <http://www.4geniecivil.com/2015/10/note-de-calcul-dun-dalot-3x400x400m.html> consulté le 05 mars 2017.
- ii. <https://www.doc-etudiant.fr/Documents-types/Fiche-metier/Rapport-Note-de-calcul-dun-dallot-125109.html> consulté le 05 mars 2017.
- iii. https://french.alibaba.com/promotion/promotion_reinforcing-geogrid-promotion-list.html consulté le 8 mars 2017.
- iv. <https://fr.scribd.com/document/132214646/Method-Rotations> consulté le 12 mars 2017.
- v. <https://fr.scribd.com/doc/114586085/Calcul-de-Dalot#> consulté le 12 mars 2017.

ANNEXES

**ANNEXE 1 : RÉSUMÉ DES POINTS DE LA POLYGONALE DE BASE ET
SECONDAIRE**

ANNEXE 2 : CONCEPTION GÉOMÉTRIQUE

**ANNEXE 3 : NOTE DE CALCUL SUR ALIZE ET CALCUL MANUEL A L'AIDE DU
GUIDE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES**

ANNEXE 4 : AMÉNAGEMENT DES CARREFOURS

ANNEXE 5 : CALCUL ÉCLAIRAGE PUBLIC

ANNEXE 6 : DÉLIMITATION BASSIN VERSANT

ANNEXE 7 : CALCUL CANIVEAU DU 150x100

ANNEXE 8 : NOTE DE CALCUL DALOT

ANNEXE 9 : DEVIS ESTIMATIF

ANNEXE 1 : RESUME DES POINTS DE LA POLYGONALE DE BASE ET SECONDAIRE

Bornes	Abscisse	Ordonnée	Côte
GPS1	666013,869	1370362,991	294,013
B1	665850,413	1370368,594	293,876
B23	662816,149	1369611,189	287,556
B25	662692,132	1369535,301	287,636
B33	662163,995	1369091,597	291,83
B35	662016,923	1368972,496	293,035
AT16	665854,802	1370342,396	294,202
AT15	665692,345	1370310,607	292,62
AT14	665523,038	1370270,258	291,078
AT13	665133,124	1370166,881	288,77
AT12	664944,429	1370107,048	287,415
AT11	664606,075	1370018,802	288,334
AT10	664333,434	1369949,335	287,325
AT9	663941,603	1369855,207	288,315
AT8	663610,734	1369774,968	287,268
AT7	663343,453	1369710,768	286,465
AT6	663207,077	1369690,424	287,268
AT5	663081,508	1369651,239	286,596
AT4	662857,837	1369611,24	286,612
AT3	6626783,834	1369511,914	287,846
B2	665864,227	1370314,958	293,553
B4	665721,437	1370281,804	292,843
B3	665687,611	1370327,365	292,303
B7	665129,99	1370186,214	288,112
B9	664942,646	1370136,823	286,99
B10	664948,36	1370082,401	286,861
B11	664592,904	1370038,349	285,751
B12	664590,11	1369999,209	285,838
B13	664346,287	1369985,319	286,846
B14	664337,809	1369942,891	287,257
B15	663936,687	1369883,814	287,715
B16	663942,032	1369843,979	288,444
B17	663600,698	1369805,321	286,881
B18	663623,238	1369765,942	287,014
B21	662862,778	1369623,448	287,216
B24	662773,095	1369601,487	287,594
B29	662375,357	1369277,402	289,622
B30	662406,037	1369253,095	289,872
B32	662264,594	1369137,209	290,87
B31	662297,168	1369163,913	290,526
PS4	662179,454	1369069,185	291,782
B36	662029,272	1368953,176	292,962

ANNEXE 2 : CONCEPTION GEOMETRIQUE

- Éléments du tracé en plan
- Éléments du profil en long
- Tracé combiné
- Profils en travers type

Annexe 2.1 : Axe en plan

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Axe en plan : RN4

Plage d'abscisse : Début : 0+000.00, Fin : 4+061

Éléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	662070.841	1368991.838
D1	GIS = 56.279g	146.071			
			146.071	662183.797	1369084.454
C1	XC= 661549.753 YC= 1369857.750 R = 1000.000	36.708			
			182.780	662211.750	1369108.244
D2	GIS = 53.942g	76.018			
			258.798	662268.727	1369158.568
C2	XC= 662930.724 YC= 1368409.062 R = -1000.000	32.416			
			291.214	662293.366	1369179.630
D3	GIS = 56.005g	79.928			
			371.142	662354.956	1369230.573
C3	XC= 662992.314 YC= 1368460.005 R = -1000.000	11.022			
			382.165	662363.488	1369237.551
D4	GIS = 56.707g	31.018			
			413.182	662387.606	1369257.056
C4	XC= 663016.432 YC= 1368479.510 R = -1000.000	58.552			
			471.734	662434.184	1369292.521
D5	GIS = 60.435g	132.722			
			604.456	662542.089	1369369.798
C5	XC= 662250.965 YC= 1369776.304 R = 500.000	23.605			
			628.061	662560.948	1369383.990
D6	GIS = 57.429g	37.798			
			665.859	662590.606	1369407.424
C6	XC= 662280.622 YC= 1369799.738 R = 500.000	15.697			

Éléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			681.556	662602.767	1369417.347
D7	GIS = 55.431g	159.494			
			841.050	662724.745	1369520.107
C7	XC= 662982.461 YC= 1369214.195 R = -400.000	186.620			
			1027.670	662889.890	1369603.336
D8	GIS = 85.132g	140.660			
			1168.330	663026.731	1369635.888
C8	XC= 662679.589 YC= 1371095.166 R = 1500.000	56.967			
			1225.297	663081.888	1369650.121
D9	GIS = 82.714g	107.720			
			1333.017	663185.662	1369679.012
C9	XC= 664526.660 YC= 1364862.195 R = -5000.000	80.797			
			1413.814	663263.670	1369700.052
D10	GIS = 83.743g	106.063			
			1519.876	663366.293	1369726.843
C10	XC= 664629.283 YC= 1364888.986 R = -5000.000	99.075			
			1618.951	663462.397	1369750.918
D11	GIS = 85.004g	158.179			
			1777.130	663616.208	1369787.833
C11	XC= 662449.322 YC= 1374649.764 R = 5000.000	27.689			
			1804.819	663643.114	1369794.370
D12	GIS = 84.652g	680.220			
			2485.040	664303.662	1369956.778
C12	XC= 665974.972 YC= 1363159.225 R = -7000.000	46.061			
			2531.100	664348.427	1369967.628
D13	GIS = 85.071g	373.318			
			2904.419	664711.527	1370054.374
C13	XC= 664479.163 YC= 1371027.003	24.349			

Éléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
	R = 1000.000				
			2928.768	664735.138	1370060.319
D14	GIS = 83.521g	90.688			
			3019.456	664822.805	1370083.533
C14	XC= 665078.780 YC= 1369116.850 R = -1000.000	42.948			
			3062.404	664864.546	1370093.632
D16	GIS = 86.255g	71.165			
			3133.569	664934.058	1370108.878
C15	XC= 663862.887 YC= 1374992.790 R = 5000.000	169.995			
			3303.564	665099.455	1370148.112
D17	GIS = 84.090g	375.007			
			3678.571	665462.813	1370240.857
C16	XC= 666699.381 YC= 1365396.179 R = -5000.000	73.582			
			3752.153	665534.241	1370258.529
D18	GIS = 85.027g	67.426			
			3819.579	665599.810	1370274.241
C17	XC= 665133.754 YC= 1372219.181 R = 2000.000	58.656			
			3878.234	665656.642	1370288.744
D19	GIS = 83.160g	183.033			
			4061.267	665833.309	1370336.597
LONGUEUR DE L'AXE					
4061.2					

Annexe 2.2 : Profil en long

Listing de la géométrie du profil en long

Profil en long : RN4

Plage d'abscisse : Début : 0+000.00, Fin : 4+061

Éléments	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	292.853
D1	PENTE= -0.662 %	210.155		
			210.155	291.462
PA1	S= 276.3214 Z= 291.2431 R = 10000.00	3.500		
			213.655	291.439
D2	PENTE= -0.627 %	427.579		
			641.233	288.760
PA3	S= 653.7667 Z= 288.7207 R = 2000.00	92.533		
			733.767	290.321
D3	PENTE= 4.000 %	38.521		
			772.288	291.862
PA2	S= 907.8750 Z= 294.5733 R = -3389.68	271.174		
			1043.462	291.862
D4	PENTE= -4.000 %	101.562		
			1145.024	287.799
PA4	S= 1225.0238 Z= 286.1990 R = 2000.00	84.952		
			1229.976	286.205
D5	PENTE= 0.248 %	628.761		
			1858.738	287.762
PA6	S= 1846.3567 Z= 287.7468 R = 5000.00	12.619		
			1871.357	287.809
D6	PENTE= 0.500 %	159.433		
			2030.789	288.606
PA7	S= 2070.7893 Z= 288.7064 R = -8000.00	60.724		
			2091.513	288.680
D7	PENTE= -0.259 %	366.594		
			2458.107	287.730
PA8	S= 2445.1542 Z= 287.7467 R = -5000.00	12.048		
			2470.154	287.684
D8	PENTE= -0.500 %	83.846		

			2554.000	287.265
PA9	S= 2564.0000 Z= 287.2400 R = 2000.00	10.000		
			2564.000	287.240
D9	PENTE= 0.000 %	41.500		
			2605.500	287.240
PA10	S= 2605.5000 Z= 287.2400 R = -2000.00	20.000		
			2625.500	287.140
D10	PENTE= -1.000 %	26.344		
			2651.844	286.877
PA11	S= 2686.8443 Z= 286.7016 R = 3500.00	36.179		
D11	PENTE= 0.034 %	323.306		
			3011.330	286.811
PA12	S= 3010.4876 Z= 286.8105 R = 2500.00	19.348		
			3030.678	286.892
D12	PENTE= 0.808 %	338.330		
			3369.008	289.624
PA13	S= 3401.3126 Z= 289.7549 R = -4000.00	8.406		
			3377.413	289.684
D13	PENTE= 0.597 %	683.854		
			4061.267	293.769
LONGUEUR DE L'AXE 4061				

Annexe 2.3 : tracé combiné

Annexe 2.4 : profils en travers type

ANNEXE 3 : NOTE DE CALCUL SUR ALIZE ET CALCUL MANUEL A L'AIDE DU GUIDE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

- Calcul manuel
- Calcul sur ALIZE

Annexe 3.1 : Calcul manuel

Le logiciel alizé LCPC met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement mécanique des structures de chaussées développée par le LCPC et le SETRA. L'un des fondements de cette méthode de calcul est le caractère probabiliste des chaussées. En ce sens que l'on ne peut prévoir le risque de dégradation de la chaussée notamment à cause des paramètres d'environnement et de trafic qui varient au cours de la vie de la chaussée, la variation de l'épaisseur des couches de chaussée qui dépendent du mode et de la qualité de l'exécution des travaux.

Ce caractère probabiliste permet de mettre en relief le concept de durée initiale et de risque de calcul. Le risque de calcul de $x\%$ de p années qui est la durée de vie initiale de calcul, est la probabilité pour laquelle au cours de ces p années la chaussée ne présente des désordres qui entraînera un entretien ou une réparation de ladite chaussée, sans intervention structurelle dans l'intervalle.

Les facteurs pris en compte pour le dimensionnement de la chaussée sont entre autres :

- Le trafic
- L'environnement
- La plateforme support des chaussées
- Les matériaux de chaussée
- La qualité de réalisation

Détermination des sollicitations admissibles

Nous déterminerons dans un premier temps ces valeurs admissibles manuellement à partir du guide de conception et de dimensionnement des structures de chaussées et ensuite avec ALIZE.

GUIDE DE CONCEPTION

Les facteurs pris en considération pour évaluer la dégradation des chaussées sont entre autres :

- Les résultats d'essai en fatigue
- L'épaisseur des couches de fondation lors de l'exécution

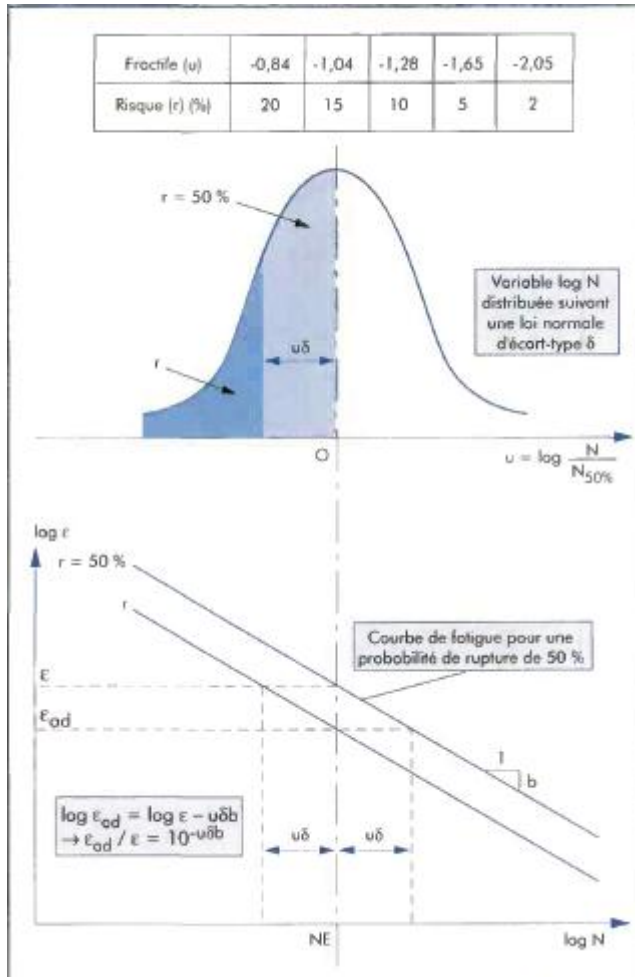
La courbe de fatigue tirée des essais de laboratoire est définie pour une probabilité de rupture de 50 %. Les résultats des essais, exprimés en $\log(N)$ (logarithme décimal du nombre de cycles à la rupture) sont distribués suivant une loi normale avec un écart-type noté SN. L'épaisseur des couches est considérée comme étant distribuée également selon une loi normale, d'écart-type noté Sh.

Le risque, r , est l'intégrale de la densité de probabilité de la variable $\log(N)$ réduite. L'écart type, δ , associé à la variable $\log(N)$, se déduit de la combinaison des facteurs de dispersion sur la loi de fatigue et sur l'épaisseur des couches, par la relation :

$$\delta = (SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2}\right) Sh^2)^{0.5}$$

c : coefficient reliant la variation de déformation (ou de contrainte) dans la chaussée à la variation aléatoire d'épaisseur. Δh , ($\log \varepsilon = \log \varepsilon_0 - \Delta h$), pour les chaussées courantes il est de 0.02 cm^{-1}

b : pente de la loi de fatigue du matériau exprimée sous la forme d'une loi bi logarithmique.



Choix du facteur u en fonction du risque

Détermination de l'allongement $\varepsilon_{t,ad}$ admissible à la base des couches bitumineuses

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon(NE, \theta_{eq}, f) K_c \times K_r \times k_s$$

$\varepsilon(NE, \theta_{eq}, f)$: déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexion sur éprouvette est obtenue au bout de NE cycles avec une probabilité de 50 %, pour la température équivalente θ_{eq} , et à la fréquence f caractéristique des sollicitations subies par la couche considérée.

La loi de fatigue des matériaux bitumineux est représentée par une relation du type :

$$\varepsilon(\text{NE}, \theta_{\text{eq}}, f) = \varepsilon_6(\theta_{\text{eq}}, f) \times \left(\frac{\text{NE}}{10^6}\right)^b$$

La loi de fatigue est généralement établie expérimentalement pour une température de 10°C et une fréquence de 25 Hz. On considère usuellement pour les couches d'assise que la fréquence caractéristique des sollicitations est de l'ordre de 10 Hz et que la correction de fréquence entre 10 et 25 Hz sur la valeur de ε_6 peut être négligée pour les températures moyennes.

$$\text{On a alors } \varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times \left(\frac{\text{NE}}{10^6}\right)^b \times \left(\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{\text{eq}})}\right)^{0.5} \times K_c \times K_r \times K_s$$

	ε_6 (10°C ; 25 Hz) (10 ⁻⁶)	-1/b	SN	Sh	k_c
BBSG	100	5	0,25	(1)	1,1
GB 1	70	5	0,4	(1)	1,3
GB 2	80	5	0,3	(1)	1,3
GB 3	90	5	0,3	(1)	1,3
EME 1	100	5	0,3	(1)	1,0
EME 2	130	5	0,25	(1)	1,0

1. Sh dépend de l'épaisseur mise en œuvre : $Sh = 0,01 \text{ m}$ si $h \leq 0,10 \text{ m}$
 $Sh = 0,025 \text{ m}$ si $h \geq 0,15 \text{ m}$; $Sh = 0,01 + 0,3 \cdot (h - 0,10)$ si $0,10 \leq h \leq 0,15 \text{ m}$.

Valeurs des coefficients de $\varepsilon_6, b, SN, Sh, K_c$ en fonction des couches bitumineuses extraits du guide de dimensionnement des chaussées

θ	E (θ °C ; 10 Hz) en MPa						E (15 °C) (MPa)	ν
	-10	0	10	20	30	40		
BBSG	14 800	12 000	7 200	3 600	1 300	1 000	5 400	0,35
GB 1	18 000	14 000	9 000	5 000	2 000	800	7 000	0,35
GB 2	23 000	18 800	12 300	6 300	2 700	1 000	9 300	0,35
GB 3	23 000	18 800	12 300	6 300	2 700	1 000	9 300	0,35
EME 1	30 000	24 000	17 000	11 000	6 000	3 000	14 000	0,35
EME 2	30 000	24 000	17 000	11 000	6 000	3 000	14 000	0,35

Choix de l'élasticité pour état équivalent et pour 10° en fonction du type de couche bitumineuse issus du guide de conception et de dimensionnement des chaussées

k_r est un coefficient qui ajuste la valeur de la déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur (écart-type Sh) et sur les résultats des essais de fatigue (écart-type SN)

$$K_r = 10^{-ub\delta}$$

u : variable centrée réduite associée au risque r

b : pente de la loi de fatigue du matériau (loi bi-logarithmique)

δ : écart-type de la distribution de $\log N$ à la rupture

K_c est un coefficient qui corrige l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul et l'observation du comportement des chaussées

Coefficient K_c en fonction de la couche bitumineuse

Matériaux	K_c
Grave bitume	1.3
Béton bitumineux	1.1
EME	1

K_s est un coefficient qui corrige le défaut de portance du sol support

Coefficient K_s en fonction du module d'élasticité

Module	$E < 50 \text{ MPa}$	$50 \text{ MPa} \leq E < 120 \text{ MPa}$	$E > 120 \text{ MPa}$
K_s	1/1.2	1/1.1	1

Pour effectuer les calculs, il nous faut les différents modules des matériaux qui sont notés ci-dessous

Modules d'élasticité des couches de chaussées

Nature du matériau	Module (MPa)
Béton bitumineux à 30°C	1300
Grave bitume type gb2 à 30°C	2700
Graveleux latéritique lithostabilisé (CBR 100 à 95% OPM)	700
Graveleux latéritique naturel (CBR >30 à 95% OPM)	400
Plateforme (en matériau de type S4)	150

Pour le béton bitumineux on a :

À partir des différents tableaux on a :

$$\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) = 100^{-6} \mu_{\text{def}}$$

$$\frac{-1}{b} = 5 \text{ donc } b = -0.2$$

$$K_c = 1.1$$

$$K_s = 1$$

$$E(10^\circ) = 7200 \text{ MPa}$$

$$E(\theta_{eq}) = 1300 \text{ MPa}$$

Pour les trafics moyens on a un risque de 5% donc $u = -1.65$

$$S_N = 0.25$$

$$S_h = 0.01$$

$$C = 0.02$$

$$\delta = \sqrt{(0.25^2 + (\frac{0.02 \times 0.01}{0.2})^2)} = 0.25$$

$$K_r = 10^{-(-1.65 \times -0.2 \times 0.25)} = 0.82$$

$$\epsilon_{t,ad} = 100^{-6} \times \left(\frac{2.016 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0.2} \times \left(\sqrt{\frac{7200}{1300}}\right) \times 1.1 \times 1 \times 0.82 = 184.5$$

$$\epsilon_{t,ad} = 184.5 \mu\text{def}$$

Pour la grave bitume

$$\epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) = 80^{-6} \mu\text{def}$$

$$\frac{-1}{b} = 5 \text{ donc } b = -0.2$$

$$K_c = 1.3$$

$$K_s = 1$$

$$E(10^\circ) = 12000 \text{ MPa}$$

$$E(\theta_{eq}) = 2700 \text{ MPa}$$

Pour les trafics moyens, on a un risque de 5% donc $u = -1.65$

$$S_N = 0.4$$

$$S_h = 0.025$$

$$C = 0.02$$

$$\delta = \sqrt{(0.4^2 + \left(\frac{0.02 \times 0.025}{0.2}\right)^2} = 0.4$$

$$K_r = 10^{-(-1.65x - 0.2x0.4)} = 0.74$$

$$\epsilon_{t,ad} = 80^{-6} \times \left(\frac{2.016 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0.2} \times \left(\sqrt{\frac{12000}{2700}}\right) \times 1.1 \times 1 \times 0.74 = 142.77$$

$$\epsilon_{t,ad} = 142.77 \mu_{def}$$

Pour les graves naturels non traités

$$\epsilon_{zadm} = Ax(NE)^{-0.222}$$

Pour un trafic de type T3 on a A=12000

$$\epsilon_{zadm} = 12000 \times (2.016 \times 10^6)^{-0.222} = 478.27$$

$$\epsilon_{zadm} = 478.27 \mu_{def}$$

Annexe 3.2 : Calcul sur ALIZE LCPC**Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - bb**

Données de trafic :

Trafic cumulé NPL = 2 016 000 PL

Trafic cumulé équivalent NE :

Coefficient CAM = 1,00

Trafic cumulé NE = 2 016 000 essieux standard

Données sur le matériau :

Epsilon₆ = 100,00 µdéf

Pente inverse 1/b = -5,00

TétaEq = 30°C

Module E(10°C) = 7200 MPa

Module E(TétaEq) = 1300 MPa

Ep. bitumineuse struct. = 0,050 m

Écart type Sh = 0,010 m

Écart type SN = 0,250

Risque = 5,0%

Coefficient Kr = 0,8150

Coefficient Ks = 1

Coefficient Kc = 1,1

Epsilon_T admissible = 183,4 µdéf

Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - gb2

Données de trafic :

Trafic cumulé NPL = 2 016 000 PL

Trafic cumulé équivalent NE :

Coefficient CAM = 1,00

Trafic cumulé NE = 2 016 000 essieux standard

Données sur le matériau :

$\epsilon_6 = 80,00 \mu\text{déf}$

Pente inverse $1/b = -5,00$

$T_{\text{éq}} = 30^\circ\text{C}$

Module $E(10^\circ\text{C}) = 12300 \text{ MPa}$

Module $E(T_{\text{éq}}) = 2700 \text{ MPa}$

Ep. Bitumineuse struct. = 0,150 m

Écart type $S_h = 0,025 \text{ m}$

Écart type $S_N = 0,300$

Risque = 5,0%

Coefficient $K_r = 0,7440$

Coefficient $K_s = 1$

Coefficient $K_c = 1,3$

ϵ_T admissible = 143,5 $\mu\text{déf}$

Calcul de Valeur admissible - matériau : gnt et sols (gnt sous chaussées bb/gb)

Données de trafic :

Trafic cumulé NPL = 2 016 000 PL

Trafic cumulé équivalent NE :

Coefficient CAM = 1,00

Trafic cumulé NE = 2 016 000 essieux standard

Données sur le matériau :

Coefficient A = 12000

Exposant = -0,2220

ϵ_Z admissible = 478,2 $\mu\text{déf}$

Calcul des contraintes pour la variante 1 des voies principales

Données Chargement :

Jumelage standard de 65 kN

Pression verticale : 0,6620 MPa

Rayon de contact : 0,1250 m

Entraxe jumelage : 0,3750 m

Unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{déf}$; déflexions en mm/100

Notations :

X=axe transversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical

R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :

Tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

Compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

Niveau EpsilonT SigmaT EpsilonZ SigmaZ

Calculhorizontalehorizontaleverticale verticale

----- surface (z=0.000) -----

h= 0,050 m 0,000m 29,1 X-J 0,142 X-J 134,3 Z-R 0,659 Z-R

E= 1300,0 MPa

nu= 0,350 0,050m 43,9 X-R 0,183 Y-J 229,3 Z-R 0,608 Z-R

----- collé (z=0,050m) -----

h= 0,100 m 0,050m 43,9 X-R 0,359 Y-J 78,3 Z-R 0,608 Z-R

E= 2700,0 MPa

nu= 0,350 0,150m -136,6 Y-R -0,384 Y-R 185,0 Z-R 0,260 Z-R

----- collé (z=0,150m) -----

h= 0,250 m 0,150m -136,6 Y-R -0,001 Y-J 356,1 Z-R 0,260 Z-R

E= 700,0 MPa

nu= 0,350 0,400m -168,2 Y-J -0,134 Y-J 201,9 Z-J 0,058 Z-J

----- collé (z=0,400m) -----

h infini 0,400m -168,2 Y-J -0,004 Y-J 390,8 Z-J 0,058 Z-J

E= 150,0 MPa

nu= 0,350

Déflexion maximale = 33,7 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 335,8 m (entre-jumelage)

Calcul des contraintes pour la variante 2 des voies principales

Données Chargement :

Jumelage standard de 65 kN

Pression verticale : 0,6620 MPa

Rayon de contact : 0,1250 m

Entraxe jumelage : 0,3750 m

Unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{déf}$; déflexions en mm/100

Notations :

X=axe transversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical

R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :

Tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

Compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

Niveau EpsilonT SigmaT EpsilonZ SigmaZ

Calculhorizontalehorizontaleverticale verticale

----- surface (z=0.000) -----

h= 0,050 m 0,000m -110,4 X-J -0,029 X-J 19,9 Z-R 0,658 Z-R

E= 1300,0 MPa

nu= 0,350 0,050m -66,0 X-R 0,171 Y-J 356,9 Z-R 0,611 Z-R

----- collé (z=0,050m) -----

h= 0,200 m 0,050m -66,0 X-R 0,109 Y-J 607,8 Z-R 0,611 Z-R

E= 700,0 MPa

nu= 0,350 0,250m -196,1 Y-J -0,108 Y-R 298,4 Z-R 0,146 Z-R

----- collé (z=0,250m) -----

$h = 0,150 \text{ m}$ $0,250\text{m}-196,1 \text{ Y-J}$ $-0,031 \text{ Y-J}$ $396,1 \text{ Z-R}$ $0,146 \text{ Z-R}$

$E = 400,0 \text{ MPa}$

$\nu = 0,350$ $0,400\text{m}-212,6 \text{ Y-J}$ $-0,079 \text{ Y-J}$ $293,7 \text{ Z-J}$ $0,071 \text{ Z-J}$

----- collé ($z=0,400\text{m}$) -----

$h \text{ infini}$ $0,400\text{m}-212,6 \text{ Y-J}$ $-0,006 \text{ Y-J}$ $476,9 \text{ Z-J}$ $0,071 \text{ Z-J}$

$E = 150,0 \text{ MPa}$

$\nu = 0,350$

Déflexion maximale = $39,7 \text{ mm}/100$ (entre-jumelage)

Rayon de courbure = $168,5 \text{ m}$ (entre-jumelage)

Calcul des contraintes pour la variante B : Bretelles et contre-allées

Données Chargement :

Jumelage standard de 65 kN

Pression verticale : $0,6620 \text{ MPa}$

Rayon de contact : $0,1250 \text{ m}$

Entraxe jumelage : $0,3750 \text{ m}$

Unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{déf}$; déflexions en $\text{mm}/100$

Notations :

X=axe transversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical

R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :

Tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

Compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

Niveau EpsilonT SigmaT EpsilonZ SigmaZ

Calculhorizontalehorizontaleverticale verticale

----- surface ($z=0,000$) -----

$h = 0,050 \text{ m}$ $0,000\text{m}-112,5 \text{ X-J}$ $-0,024 \text{ X-J}$ $7,8 \text{ Z-R}$ $0,658 \text{ Z-R}$

E= 1300,0 MPa

nu= 0,350 0,050m-66,1 X-R 0,170 Y-J 354,9 Z-R 0,607 Z-R

----- collé (z=0,050m) -----

h= 0,150 m 0,050m-66,1 X-R 0,108 Y-J 604,2 Z-R 0,607 Z-R

E= 700,0 MPa

nu= 0,350 0,200m-223,8 Y-R -0,109 Y-R 382,8 Z-R 0,205 Z-R

----- collé (z=0,200m) -----

h= 0,200 m 0,200m-223,8 Y-R -0,018 Y-J 520,0 Z-R 0,205 Z-R

E= 400,0 MPa

nu= 0,350 0,400m-217,1 Y-J -0,081 Y-J 300,8 Z-J 0,073 Z-J

----- collé (z=0,400m) -----

h infini 0,400m-217,1 Y-J -0,006 Y-J 489,3 Z-J 0,073 Z-J

E= 150,0 MPa

nu= 0,350

Déflexion maximale = 41,0 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 158,9 m (entre-jumelage)

ANNEXE 4 : AMENAGEMENT DES CARREFOURS

- Carrefour Na. ROUAMBA
- Carrefour de l'Hôpital
- Carrefour l'Avenue 56

Annexe 4.1 : Carrefour Na. ROUAMBA

Annexe 4.2 : Carrefour de l'Hôpital

Annexe 4.3 : Carrefour de l'Avenue 56

ANNEXE 5 : CALCUL DE L'ECLAIRAGE PUBLIC

- Voie principale
- Voie secondaire

Annexe 5.1 : Voie principale

Annexe 5.2 : Voie secondaire

ANNEXE 6 : DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS

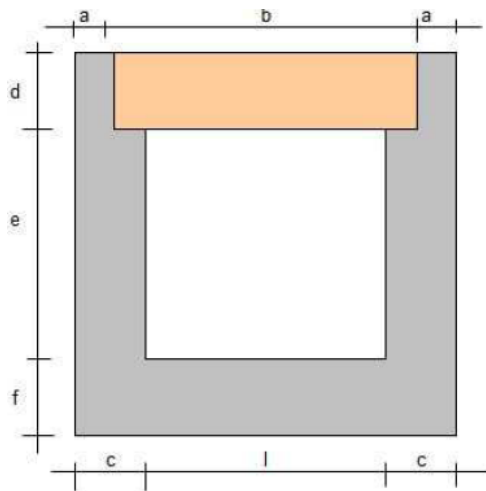
ANNEXE 7 : CALCUL CANIVEAU DU 150x100

- Note de calcul
- Plan de ferrailage
- Plan de coffrage

Annexe 7.1 : Note de calcul**1) HYPOTHÈSES**

• Les chargements à considérer sont ceux définis dans le Titre II du fascicule 61 (Conception, Calcul et Epreuves des ouvrages d'Art) du Cahier des Prescriptions Communes applicables aux marchés de travaux publics de l'Etat Français.

- Les règles de calcul béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99.
- Fissuration considérée préjudiciable

2) SCHEMA DE PRINCIPE**3) DONNEES**

- **Géométrie**

Épaisseur de la lèvre de feuillure $a = 0,08$ m

Portée de la dalle $b = 1,34$ m

Épaisseur du voile $c = 0,15$ m

Épaisseur de la dalle $d = 0,2$ m

Hauteur libre du caniveau $e = 0,6$ m

Ouverture du caniveau $l = 1,2$ m

Épaisseur du radier $f = 0,20$ m

Redent de la feuillure $g = 0,07$ m

Largeur d'une dalle $h = 0,5$ m

- **MATERIAUX**

Béton

- Dosage : 350kg/m³ de CPA 45 ou de classe équivalente
- Poids volumique : $\gamma_{\text{béton}} = 25$ Kn/m³
- Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25$ MPa

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE MASTER PRESENTE PAR BASSOLE Donald J.O 2015/2016

Institut International d'Ingénierie Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO

Tél. : (+226) 25. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 25. 49. 28. 01 - Mail : 2ie@2ie-edu.org - www.2ie-edu.org

- Résistance a la traction a 28 jours : $f_{t28}=0.6+0.06f_c8=2.1\text{MPa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_b=1.5$
- Résistance de calcul du béton en compression a l'ELU : $f_{bu}=0.85f_g95hI=14.16\text{MPa}$
- Contrainte limite de béton comprime a l'ELS $f_{bc}=0.6f_c28=15\text{MPa}$

Acier

- 1) Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400
- 2) Limite d'élasticité $f_e=400\text{Mpa}$
- 3) Coefficient de sécurité $\gamma_s=1.15$
- 4) Coefficient d'adhérence : $\eta=1.6$
- 5) Contrainte limite des aciers à l'ELS, pour une fissuration préjudiciable :

$$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; \max(110\sqrt{n \times f_{t28}}; 0,5f_e)\right) = 201,63 \text{ MPa}$$

$$6) \sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa}$$

Sol

- a) Poids volumique des terres $\gamma=20\text{kN/m}^3$
- b) Coefficient de poussée des terres : $ka=0.33$

4) CALCUL DES ARMATURES

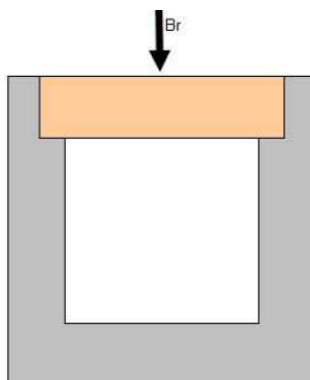
I- Dallette

Les charges à considérer sur la dallette :

- Le poids propre de la dallette.

-La charge concentrée d'une roue isolée de 10T (voir Titre II de Fascicule 61) : Dans tout ce qui suit, cette roue est désignée par Br.

La dallette sera dimensionnée en flexion simple



Calcul des charges

$$\text{Poids propre } P_{pd} : 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Poids de la roue } P_{BR} : 100 \times 1 = 100 \text{ kN/ml}$$

Moments

$$M_{Pd} = P_{pd} \times \frac{l^2}{8} = 1,12 \text{ kN/m}$$

$$M_{Br} = P_{Br} \times \frac{l}{4} = 33,5 \text{ kN/m}$$

Efforts tranchants

$$T_{Pd} = P_{pd} \times \frac{l}{2} = 3,35 \text{ kN}$$

$$T_{Br} = \frac{P_{Br}}{2} = 50 \text{ kN}$$

Calcul à l'ELU

$$Mu = 1,35 \times M_{pd} + 1,5 \times M_{Br} = 51,76 \text{ kN/m}$$

Moment réduit du béton

$$U_u = \frac{Mu}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{51,76 \times 10^{-3}}{1 \times (0,9 \times 0,2)^2 \times 14,17} = 0,11$$

$$U_u < U_{AB} = 0,186 \quad \text{donc pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{Mu}{Zu \times \sigma_s}$$

$$Zu = d(1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2U_u}) = 0,11$$

$$Zu = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,11) = 0,17 \text{ m}$$

$$Ast = \frac{51,76 \times 10^{-3}}{0,17 \times 348} \times 10^4 = 8,75 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = M_{pd} + M_{Br} = 1,12 + 33,5 = 34,62 \text{ kN/m}$$

Moment résistant

$$M_{serb} = 0,5 \times y_{ser} \times f_{bc} \times Z_{ser}$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

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

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,18 = 0,1 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,18 - \frac{0,1}{3} = 0,15 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 15 \times 0,15 = 0,105 \text{ MN.m/ml}$$

$$M_{ser} < M_{serb} \quad \text{Pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$A_{st} = \frac{34,62 \times 10^{-3}}{0,15 \times 201,63} \times 10^4 = 11,45 \text{ cm}^2$$

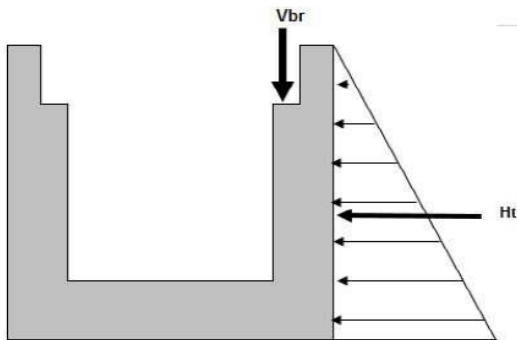
Aciers réels

$$\text{Aciers retenus} = \text{Max}(A_{st_{etu}}, A_{st_{els}}) = 11,45 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers : **6HA16** = 12,06 cm²/ml avec un espacement de 16 cm

II- Pieds droits

- 1) **CAS 1** : La roue Br est sur le pied droit. Le pied droit est alors calculé sous l'action de la roue Br et la poussée des terres, donc en flexion composée.



Calcul des charges

Effort normal du aux dalles

$$V_{pd} = \frac{T_{pd}}{h} = \frac{3,35}{0,5} = 6,7 \text{ kN/ml}$$

Effort dû à la roue Br

$$V_{Br} = \frac{T_{Br}}{h} = \frac{50}{0,5} = 100 \text{ kN/ml}$$

Poussée des terres

$$P_T = Ka \times \gamma_s \frac{h_t^2}{2} = 0,33 \times 20 \times \frac{1^2}{2} = 3,3 \text{ kN/ml}$$

Moment dû à la charge de remblai

$$M_{pt} = P_T \times \frac{1}{3} = 1,1 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul à l'ELU

$$Nu = 1,35V_{pd} + 1,5V_{Br} = 159,04 \text{ kN/ml}$$

$$Mu = 1,35M_{pt} = 1,5 \text{ kN.m/ml}$$

$$V_u = 1,35P_T = 4,45 \text{ kN/ml}$$

ELS

$$N_s = V_{pd} + V_{Br} = 106,7 \text{ kN/ml}$$

$$M_s = M_{pt} = 1,1 \text{ kN.m/ml}$$

$$V_s = P_T = 3,3 \text{ kN/ml}$$

Calcul de l'excentricité e :

$$e = e_1 + e_a + e_2$$

e_1 : excentricité (dite du premier ordre)

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{1,5}{159,04} = 0,01 \text{ m}$$

e_a : excentricité additionnelle traduisant les imperfections géométriques initiales

$$e_a = \max\left(2 \text{ cm}; \frac{l}{250}\right) = \max\left(2 \text{ cm}; \frac{100}{250} = 0,4\right) = 2 \text{ cm}$$

e_2 : excentricité due aux effets du second ordre, liés à la déformation de la structure

$$e_2 = \frac{3l_f^2}{10^4 h} (2 + \alpha\phi)$$

$$\alpha = \frac{M_u}{M_u + M_{ser}} = 0,57$$

$$l_f = 0,7H = 0,7 \times 1 = 0,7 \text{ m}$$

$$\phi = 2$$

$$e_2 = \frac{3 \times 0,7^2}{10000 \times 1} \times (2 + 0,57 \times 2) = 0,00046 \text{ m}$$

$$e = 0,07 \text{ m}$$

Calcul de l'effort de compression centré maximal supportable par le béton N_{bmax}

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bu} = 1 \times 0,15 \times 14,17 = 2,13 \text{ MN}$$

Calcul du coefficient de remplissage du diagramme de contrainte :

$$\Psi_1 = \frac{N_u}{N_{bmax}} = \frac{0,159}{2,13} = 0,07 < 0,81$$

Calcul de l'excentricité critique relative ζ

$$\Psi_1 < \frac{2}{3} \text{ donc } \zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\Psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\Psi_1})} = 0,16$$

Calcul de e_{NC}

$$\Psi_1 < 0,81 \quad e_{NC} = \zeta \times h = 0,16 \times 0,15 = 0,024 \text{ m}$$

$e > e_{NC}$ on a une section partiellement comprimée

Calcul de $M_{u\text{fictif}}$

$$Mu_{fictif} = Nu \times e_A \text{ avec } e_A = e + (d - 0,5h) = 0,07 + (0,18 - 0,5 \times 0,15) = 0,13 \text{ m}$$

$$Mu_{fictif} = 0,159 \times 0,13 = 0,02 \text{ MN.m/ml}$$

Calcul de U_u

$$U_u = \frac{0,02}{1 \times (0,9 \times 0,15)^2 \times 14,17} = 0,08 < U_{AB} \text{ Pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{Mu_{fictif}}{b_o \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,08}) = 0,11$$

$$Z_u = 0,135 \times (1 - 0,4 \times 0,11) = 0,13 \text{ m}$$

$$Ast = \frac{0,02}{0,13 \times 348} \times 10^4 = 4,4 \text{ cm}^2$$

Condition de non-fragilité

$$A_{min} = \max\left(\frac{bh}{1000}; 0,23bd \times \frac{f_{t28}}{f_e}\right) = 1,63 \text{ cm}^2$$

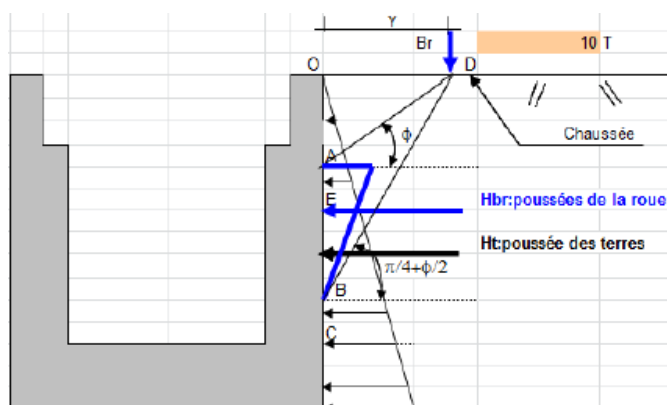
Calcul des aciers réels

$$As = Ast - \frac{Nu}{\sigma_{su}} = 4,4 - \frac{0,159}{348} = -0,150$$

donc on est en surabondance d'aciers d'ou l'on prendra les aciers minimaux soit $1,63 \text{ cm}^2$

Nous choisissons

2) CAS 2 : Piédroit soumis aux poussées latérales de terre et à l'influence de Br



OD	0,3
OA	0,173
OB	0,520
AB	0,347
AE	0,116
EC	0,711
Calcul des efforts dus à :	

$$\text{La roue Br : } H_{br} = 100 \times \frac{AB}{2} = 17,35 \text{ kN}$$

$$\text{La poussée des terres : } H_t = 3,3 \text{ kN}$$

Moments d'encastrement

$$M_{Hbr} = H_{Br} \times EC = 12,33 \text{ kN/ml}$$

$$M_{Ht} = 1,1 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul à l'ELU

$$M_u = 1,35 \times 1,1 + 1,5 \times 12,33 = 19,98 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_u = 0$$

$$V_u = 1,35 \times 17,35 + 1,5 \times 3,3 = 28,37 \text{ kN}$$

Moment réduit

$$U_u = \frac{20 \times 10^{-3}}{1 \times 0,135^2 \times 14,17} = 0,08 < U_{AB} \text{ pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$A_{st} = \frac{20 \times 10^{-3}}{0,13 \times 348} \times 10^4 = 4,42 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

$$N_{ser} = 0$$

$$M_{ser} = M_{Hbr} + M_{Ht} = 1,1 + 12,33 = 13,43 \text{ kN.m/ml}$$

$$V_{ser} = H_{Br} + H_t = 3,3 + 17,35 = 20,65 \text{ kN/ml}$$

$$\alpha_{ser} = 0,53$$

$$y_{ser} = 0,53 \times 0,135 = 0,07 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = 0,135 - \frac{0,07}{3} = 0,112 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,112 \times 15 \times 0,07 = 0,0588 \text{ MN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{serb}$ donc pas d'aciers comprimés

Aciers théoriques

$$A_{st} = \frac{13,43 \times 10^{-3}}{0,112 \times 201,63} \times 10^4 = 5,96 \text{ cm}^2$$

Aciers réels

$$A_{ciers \text{ retenus}} = \text{Max}(A_{st_{elu}}, A_{st_{els}}) = 5,96 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers

4HA14 espacés de 25 cm

Condition de non-fragilité

$$A_{min} = 0,23 \times 1 \times 0,135 \times \frac{2,1}{400} = 1,6 \text{ cm}^2$$

$A_{st} > A_{min}$ OK

3) Radier

CAS 1 : On admet qu'il existe un cas où la nappe inférieure du radier est tendue. Et c'est le cas où la roue Br est sur le pied droit.

Calcul des charges

$$\text{Poids propre des pieds droits } Pp_{pd} = \frac{2 \times 25 \times 0,15 \times 0,8}{1,5} = 4 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Poids de la roue Br } P_{Br} = \frac{Br}{l+2c} = \frac{100}{1,5} = 66,67 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Poids propre radier } Pp_r = 25 \times 0,2 \times 1 = 5 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Poids propre max } Pp_{max} = Pp_{pd} + Pp_r = 4 + 5 = 9 \text{ kN/ml}$$

Calcul à l'ELU

$$Pu = 1,35Pp_{max} + 1,5P_{Br} = 112,15 \text{ kN}$$

$$Mu = Pu \times \frac{l^2}{8} = 112,15 \times \frac{1,5^2}{8} = 31,54 \text{ kN.m/ml}$$

Moment d'encastrement à gauche du radier (M_{gu}) = Moment à l'ELU (CAS 1 pieds droits) = 1,5 kN.m/ml

Moment d'encastrement à droite du radier M_{du} : = Moment à l'ELU (CAS 2 pieds droits) = 20 kN.m/ml

Moment appliqué sur le radier

$$Mr = \frac{M_{gu} + M_{du}}{2} + Mu = \frac{1,5 + 20}{2} + 31,54 = 42,3 \text{ kN.m/ml}$$

Moment réduit Uu

$$Uu = \frac{Mr}{b_o \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{42,3 \times 10^{-3}}{1 \times (0,2 \times 0,9)^2 \times 14,17} = 0,09 < U_{AB} \text{ Pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{42,3 \times 10^{-3}}{0,17 \times 348} \times 10^4 = 7,15 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

Moment d'encastrement à gauche du radier (M_{gs}) = Moment à l'ELS (CAS 1 pieds droits) = 1,1 kN.m/ml

Moment d'encastrement à droite du radier M_{ds} : = Moment à l'ELS (CAS 2 pieds droits) = 13,43 kN.m/ml

$$P_{ser} = Pp_{max} + P_{Br} = 75,67 \frac{\text{kN}}{\text{ml}}$$

$$M_{ser} = P_{ser} \times \frac{l^2}{8} = 75,67 \times \frac{1,5^2}{8} = 21,28 \text{ kN.m/ml}$$

Moment appliquée sur le radier

$$Mr = \frac{Mgs + Mds}{2} + Mser = \frac{1,1 + 13,43}{2} + 21,28 = 28,55 \text{ kN.m/ml}$$

$$\alpha_{ser} = 0,57$$

$$y_{ser} = 0,18 \times 0,57 = 0,1 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = 0,15 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0,105 \text{ MN.m/ml}$$

$Mr = 0,029 < M_{serb}$ pas d'aciers comprimés

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{28,55 \times 10^{-3}}{0,15 \times 201,63} = 9,44 \text{ cm}^2$$

Aciers réels

$$\text{Aciers retenus} = \text{Max}(Ast_{elw}, Ast_{els}) = 9,44 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers

4HA14 espacés de 25 cm

Condition de non-fragilité

$$Amin = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$Ast > Amin$ OK

CAS 2 : Lorsque la roue Br est située à 30 cm du caniveau, la nappe supérieure du radier est plus sollicitée.

Calcul à l'ELU

$$Mdu = 20 \text{ kN.m/ml}$$

$$Mgu = 1,5 \text{ kN.m/ml}$$

$$Pp_{max} = 9 \text{ kN}$$

$$Pu = 1,35 \times Pp_{max} = 12,15 \text{ kN}$$

$$Mu = 12,15 \times \frac{1,5^2}{8} = 3,41 \text{ kN.m/ml}$$

Moment appliqué sur le radier

$$Mr = \frac{Mgu + Mdu}{2} + Mu = \frac{1,5 + 20}{2} + 3,42 = 14,17 \text{ kN.m/ml}$$

Moment réduit Uu

$$Uu = \frac{Mr}{b_o \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{14,17 \times 10^{-3}}{1 \times (0,2 \times 0,9)^2 \times 14,17} = 0,03 < U_{AB} \text{ Pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{14,17 \times 10^{-3}}{0,17 \times 348} \times 10^4 = 2,4 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

Moment d'encastrement à gauche du radier (M_{gs}) = Moment à l'ELS (CAS 1 pieds droits) = 1,1 kN.m/ml

Moment d'encastrement à droite du radier M_{ds} : = Moment à l'ELS (CAS 2 pieds droits) = 13,43 kN.m/ml

$$P_{ser} = P_{p_{max}} = 9 \text{ kN}$$

$$M_{ser} = P_{ser} \times \frac{l^2}{8} = 9 \times \frac{1,5^2}{8} = 2,53 \text{ kN.m/ml}$$

Moment appliqué sur le radier

$$Mr = \frac{M_{gs} + M_{ds}}{2} + M_{ser} = \frac{1,1 + 13,43}{2} + 2,53 = 9,80 \text{ kN.m/ml}$$

$$\alpha_{ser} = 0,57$$

$$y_{ser} = 0,18 \times 0,57 = 0,1 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = 0,15 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0,105 \text{ MN.m/ml}$$

$$Mr = 0,009 < M_{serb} \text{ pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{9,80 \times 10^{-3}}{0,15 \times 201,63} \times 10^4 = 3,24 \text{ cm}^2$$

Aciers réels

$$\text{Aciers retenus} = \text{Max}(Ast_{etu}, Ast_{els}) = 3,24 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers

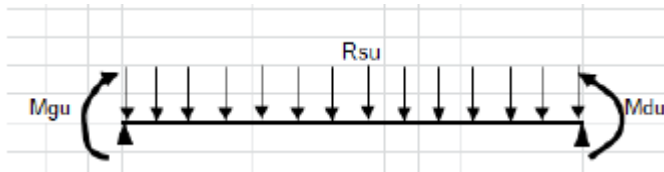
4HA14 espacés de 25 cm

Condition de non-fragilité

$$A_{min} = 0,23 \times 1 \times 0,18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$Ast > A_{min} \text{ OK}$$

Vérification de la contrainte admissible



$$R_{su} = 1,35 P p_{max} = 12,15 \text{ kN/ml}$$

$$M_{du} = 20 \text{ kN.m} \quad M_{gu} = 1,5 \text{ kN.m}$$

Calcul de la réaction d'appui à gauche par la formule

$$R_{gu} = \frac{-R_{su} \times \frac{l}{2} + (M_{du} - M_{gu})}{l} = 6,25 \frac{\text{kN}}{\text{ml}} = 0,625 \text{ t/ml (Bars)} < 1,5 \text{ Bars} \quad (\text{Contrainte admissible sol})$$

Donc le sol peut supporter notre structure.

Annexe 7.2 : Plan de ferrailage Caniveau 150x100

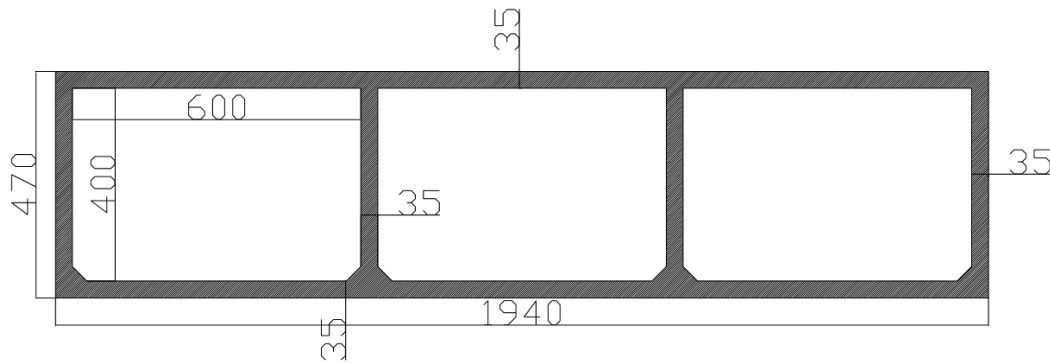
Annexe 7.3 : Plan de coffrage Caniveau 150x100

ANNEXE 8 : NOTE DE CALCUL DALOT

- Note de calcul
- Vue en plan
- Coupe B-B
- Plan de ferrailage
- Plan de coffrage

Annexe 8.1 : Note de calcul

➤ Caractéristiques de l'ouvrage



Longueur entre axes : 6,35 m

Portée : 6,35 m

Largeur totale : 7,30 m

Largeur du trottoir (revêtement pavés) : 2 m

Largeur roulable : $7,30 - 2 = 5,30$ m

Largeur chargeable : $7,30 - 0,5 = 6,8$ m

Classe de pont : $L_r > 7$ m donc pont de classe I

Nombre de voies : $n_v = \text{nombre entier}(\frac{L_c}{3}) = 2 \text{ voies}$

Largeur d'une voie : $\frac{L_r}{\text{nb de voies}} = 2,65$ m

Guides-roues : 60x25

Gardes corps

➤ HYPOTHÈSES DE CALCUL

Béton

- Dosage : 400kg/m³ de CPA 45 ou de classe équivalente
- Poids volumique : $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ Kn/m}^3$
- Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$
- Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 0.6 + 0.06f_{c28} = 2.4 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité $\gamma_b = 1,5$
- Résistance de calcul du béton en compression à l'ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28} \times \theta}{\gamma_b} = 17 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de béton comprimé à l'ELS $f_{bc} = 0.6f_{c28} = 18 \text{ MPa}$

Acier

- 7) Acier à haute adhérence (HA) de nuance FeE400
- 8) Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ Mpa}$
- 9) Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1.15$

- 10) Coefficient d'adhérence : $\eta=1.6$
 11) Contrainte limite des aciers à l'ELS, pour une fissuration préjudiciable :

$$\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; \max(110\sqrt{n \times ft28}; 0,5f_e)\right) = 215,55 \text{ MPa}$$

 12) $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa}$

Sol

- c) Poids volumique des terres $\gamma=20\text{kN/m}^3$
 d) Coefficient de poussée des terres : $ka=0.33$

➤ Méthode de calcul

- Présentation de la méthode utilisée

La méthode de calcul utilisée est la méthode des rotations.

De manière générale, les études seront faites par bande d'un (01) mètre de dalot ($b=1\text{m}$). Dans notre étude, compte tenu de la symétrie de géométrie de notre ouvrage et de la non symétrie de chargement, nous avons considéré que les piédroits intermédiaires sont dimensionnés en compression simple, ce qui nous permet d'annuler le moment au niveau de ces piédroits, d'où la possibilité d'utiliser la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

Désignons par

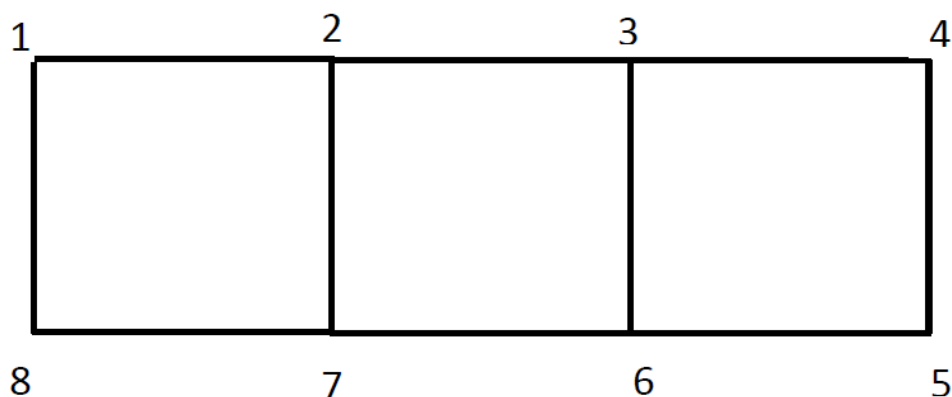
M_{ij} moment statique appliqué au nœud i par la barre ij

$m_{i,j}$ moment d'encastrement appliqué au nœud i par la barre j (déterminé par les charges appliquées à la barre)

α_i rotation du nœud i

k_1 = caractéristique de la rigidité des barres horizontales $= \frac{2xE_xI_1}{L}$

k_2 = caractéristique de la rigidité des barres verticales $= \frac{2xE_xI_2}{L}$



$$M_{i,j} = k(2\alpha_i + \alpha_j) + m_{i,j}$$

$$k_1 \text{ pour barres horizontales} = \frac{2xI_1xE}{L} = \frac{2xI_1}{L}$$

$$k_2 \text{ pour barres verticales} = \frac{2xI_2xE}{H} = \frac{2xI_2}{H}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{bxh^3}{12} = \frac{350x1000^3}{12} = 2,9x10^4 \text{ mm}^4$$

$$k_1 = \frac{2x2,9x10^4}{6350} = 9,13x10^6 \text{ N/mm}$$

$$k_2 = \frac{2x2,9x10^4}{4350} = 1,33x10^7 \text{ N/mm}$$

$$2(k_1 + k_2) = 4,48x10^7$$

$$2(2k_1 + k_2) = 6,3x10^7$$

Moments statiques aux différents nœuds

$$\text{Nœud 1 : } M_{1,2} + M_{1,8} = 0$$

$$k_1(2\alpha_1 + \alpha_2) + m_{1,2} + k_2(2\alpha_1 + \alpha_8) + m_{1,8} = 0$$

$$2(k_1 + k_2) + k_1\alpha_2 + k_2\alpha_8 = -(m_{1,2} + m_{1,8}) = b_1$$

$$\text{Nœud 2 : } M_{2,1} + M_{2,7} + M_{2,3} = 0$$

$$k_1(2\alpha_2 + \alpha_1) + m_{2,1} + k_2(2\alpha_2 + \alpha_7) + m_{2,7} + k_1(2\alpha_2 + \alpha_3) + m_{2,3} = 0$$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_2 + k_1\alpha_1 + k_2\alpha_7 + k_1\alpha_3 = -(m_{2,1} + m_{2,7} + m_{2,3}) = b_2$$

$$\text{Nœud 3 : } M_{3,2} + M_{3,6} + M_{3,4} = 0$$

$$k_1(2\alpha_3 + \alpha_2) + m_{3,2} + k_2(2\alpha_3 + \alpha_6) + m_{3,6} + k_1(2\alpha_3 + \alpha_4) + m_{3,4} = 0$$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_3 + k_1\alpha_2 + k_2\alpha_6 + k_1\alpha_4 = -(m_{3,2} + m_{3,6} + m_{3,4}) = b_3$$

$$\text{Nœud 4 : } M_{4,3} + M_{4,5} = 0$$

$$k_1(2\alpha_4 + \alpha_3) + m_{4,3} + k_2(2\alpha_4 + \alpha_5) + m_{4,5} = 0$$

$$2(k_1 + k_2)\alpha_4 + k_1\alpha_3 + k_2\alpha_5 = -(m_{4,3} + m_{4,5}) = b_4$$

$$\text{Nœud 5 : } M_{5,4} + M_{5,6} = 0$$

$$k_1(2\alpha_5 + \alpha_4) + m_{5,4} + k_2(2\alpha_5 + \alpha_6) + m_{5,6} = 0$$

$$2(k_1 + k_2)\alpha_5 + k_1\alpha_4 + k_2\alpha_6 = -(m_{5,4} + m_{5,6}) = b_5$$

$$\text{Nœud 6 : } M_{6,5} + M_{6,3} + M_{6,7} = 0$$

$$k_1(2\alpha_6 + \alpha_5) + m_{6,5} + k_2(2\alpha_6 + \alpha_3) + m_{6,3} + k_1(2\alpha_6 + \alpha_7) + m_{6,7} = 0$$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_6 + k_1\alpha_5 + k_2\alpha_3 + k_1\alpha_7 = -(m_{6,5} + m_{6,3} + m_{6,7}) = b_6$$

$$\text{Nœud 7 : } M_{7,6} + M_{7,2} + M_{7,8} = 0$$

$$k_1(2\alpha_7 + \alpha_6) + m_{7,6} + k_2(2\alpha_7 + \alpha_2) + m_{7,2} + k_1(2\alpha_7 + \alpha_8) + m_{7,8} = 0$$

$$2(2k_1 + k_2)\alpha_7 + k_1\alpha_6 + k_2\alpha_2 + k_1\alpha_8 = -(m_{7,6} + m_{7,2} + m_{7,8}) = b_7$$

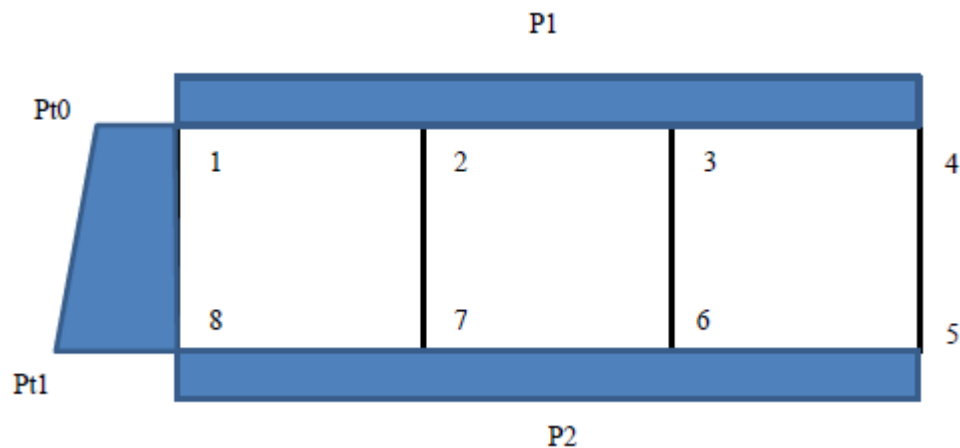
Nœud 8 : $M_{8,7} + M_{8,1} = 0$

$$k_1(2\alpha_8 + \alpha_7) + m_{8,7} + k_2(2\alpha_8 + \alpha_1) + m_{8,1} = 0$$

$$2(k_1 + k_2)\alpha_8 + k_1\alpha_7 + k_2\alpha_1 = -(m_{8,7} + m_{8,1}) = b_8$$

On obtient ainsi une matrice avec comme inconnues $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 \alpha_7 \alpha_8$

- **Calcul sous charges permanentes**



Poids garde corps : $0,3 \text{ kN/ml}$

Poids trottoir : 22 kN/ml

Revêtement : 22 kN/ml

➤ **Tablier**

- Poids propre tablier : $25 \times 0,35 \times 1 = 8,75 \text{ kN/ml}$
 - Poids propre garde-corps : $0,3 \text{ kN/ml}$
 - Poids propre guide-roues : $\frac{25 \times 0,25 \times 0,6 \times 6}{7,3} = 3,08 \text{ kN/ml}$
 - Poids trottoir : $\frac{2 \times 0,2 \times 22 \times 6}{7,3} = 7,23 \text{ kN/ml}$
 - Poids revêtement : $22 \times 0,05 \times 1 = 1,1 \text{ kN/ml}$
- Poids total sur tablier P1 = $20,46 \text{ kN/ml}$

➤ **Radier**

- Poids propre radier : $25 \times 0,35 \times 1 = 8,75 \text{ kN/ml}$
- Poids des pieds droits : $\frac{4 \times 25 \times 4 \times 0,35 \times 1}{19,4} = 7,2 \text{ kN/ml}$

Poids total sur radier P2 = $15,95 \text{ kN/ml}$

➤ **Pieds droits (extrêmes)**

Poussées dues au remblai : $P_i = K_a \times \gamma_t \times h$

$Pt0(h = 0,525) = 0,33 \times 22 \times 0,525 = 3,81 \text{ kN/ml}$

$$Pt1(h = 5,05) = 0,33 \times 22 \times 5,05 = 36,66 \text{ kN/ml}$$

Calcul des moments d'encastrement

$$m_{1.2} = -P1 \times \frac{l^2}{12} = -20,46 \times \frac{6^2}{12} = -61,38 \text{ kN.m}$$

$$m_{2.1} = -m_{1.2} = 61,38 \text{ kN.m}$$

$$m_{2.3} = m_{1.2} = -61,38 \text{ kN.m}$$

$$m_{3.2} = -m_{2.3} = 61,38 \text{ kN.m}$$

$$m_{3.4} = m_{2.3} = -61,38 \text{ kN.m}$$

$$m_{4.3} = -m_{2.3} = 61,38 \text{ kN.m}$$

$$m_{5.6} = -P2 \times \frac{l^2}{12} = -15,95 \times \frac{6^2}{12} = -47,85 \text{ kN.m}$$

$$m_{6.5} = -m_{5.6} = 47,85 \text{ kN.m}$$

$$m_{6.7} = m_{5.6} = -47,85 \text{ kN.m}$$

$$m_{7.6} = -m_{6.7} = 47,85 \text{ kN.m}$$

$$m_{7.8} = m_{6.7} = -47,85 \text{ kN.m}$$

$$m_{8.7} = -m_{7.8} = 47,85 \text{ kN.m}$$

$$m_{8.1} = -(Pt1 - Pt0) \times \frac{H^2}{20} - Pt0 \times \frac{H^2}{12} = -(36,66 - 3,81) \times \frac{4^2}{20} - 3,81 \times \frac{4^2}{12} \\ = -31,36 \text{ kN.m}$$

$$m_{1.8} = (Pt1 - Pt0) \times \frac{H^2}{30} + Pt0 \times \frac{H^2}{12} = (36,66 - 3,81) \times \frac{4^2}{30} + 3,81 \times \frac{4^2}{12} = 22,6 \text{ kN.m}$$

$$m_{2.7} = m_{7.2} = m_{3.6} = m_{6.3} = m_{4.5} = m_{5.4} = 0$$

Calcul des constantes b_i

$$b_1 = -(m_{1.2} + m_{1.8}) = 38,78$$

$$b_2 = -(m_{2.1} + m_{2.7} + m_{2.3}) = 0$$

$$b_3 = -(m_{3.2} + m_{3.6} + m_{3.4}) = 0$$

$$b_4 = -(m_{4.3} + m_{4.5}) = -61,38$$

$$b_5 = -(m_{5.4} + m_{5.6}) = 47,85$$

$$b_6 = -(m_{6.5} + m_{6.3} + m_{6.7}) = 0$$

$$b_7 = -(m_{7.6} + m_{7.2} + m_{7.8}) = 0$$

$$b_8 = -(m_{8.7} + m_{8.1}) = -16,49$$

On obtient ainsi une matrice de 8x8

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	=	bi
α_1	45,19	9,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,41	=	b1 38,63
α_2	9,19	63,57	9,19	0,00	0,00	0,00	13,41	0,00	=	b2 0
α_3	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	13,41	0,00	0,00	=	b3 0
α_4	0,00	0,00	9,19	45,19	13,41	0,00	0,00	0,00	=	b4 -61,23
α_5	0,00	0,00	0,00	13,41	45,19	9,19	0,00	0,00	=	b5 109,23
α_6	0,00	0,00	13,41	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	=	b6 0
α_7	0,00	13,41	0,00	0,00	0,00	9,19	63,57	9,19	=	b7 0
α_8	13,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,19	45,19	=	b8 -77,87

La résolution de ce système d'équations sur Excel donne :

α_1	1,63
α_2	-0,42
α_3	0,55
α_4	-2,44
α_5	3,28
α_6	-0,67
α_7	0,52
α_8	-2,31

Nous déduisons donc les moments

M12	-35,24
M18	35,24
M21	68,37
M23	-63,94
M27	-4,43
M32	67,51
M34	-73,46
M36	5,94
M54	55,15
M56	-55,15
M65	127,10
M63	-10,42
M67	-116,68
M76	112,67
M72	8,25
M78	-120,91
M87	71,54
M81	-71,54
M43	21,50
M45	-21,50

- Calcul des moments isostatiques sur le tablier, les pieds droits et le radier

$$\text{Tablier : } M_{ot} = \frac{P_1 \times l^2}{8} = \frac{20,46 \times 6^2}{8} = 91,85 \text{ kN.m}$$

$$\text{Radier : } M_{or} = \frac{P_2 \times l^2}{8} = -\frac{15,96 \times 6^2}{8} = -163,85 \text{ kN.m}$$

$$\text{Pied droit : } M_{op} = \frac{Pt_0 \times H^2}{8} + \frac{(Pt_1 - Pt_0) \times H^2}{16} = \frac{3,81 \times 4^2}{8} + \frac{(36,66 - 3,81) \times 4^2}{16} = 40,47 \text{ kN.m}$$

➤ Les moments maximums en appui et travée sont :

Tablier

➤ Travée 1

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{1,2} = -35,24 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{2,1} = -68,37 \text{ kN.m}$$

$$\text{En milieu de travée : } M_{tt} = \frac{(M_{agt} + M_{adt})}{2} + M_{ot} = \frac{(-35,24 - 68,37)}{2} + 91,85 = 40,04 \text{ kN.m}$$

➤ Travée 2

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{2,3} = -63,94$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{3,2} = -67,51$$

$$\text{En milieu de travée : } M_{tt} = \frac{(M_{agt} + M_{adt})}{2} + M_{ot} = \frac{(-63,94 - 67,51)}{2} + 91,85 = 26,12 \text{ kN.m}$$

➤ Travée 3

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{3,4} = -73,46$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{4,3} = -21,50$$

$$\text{En milieu de travée : } M_{tt} = \frac{(M_{agt} + M_{adt})}{2} + M_{ot} = \frac{(-73,46 - 21,50)}{2} + 91,85 = 44,37 \text{ kN.m}$$

Radier

➤ Travée 1

$$\text{Appui gauche : } M_{agr} = M_{8,7} = 71,54$$

$$\text{Appui droit : } M_{adr} = -M_{7,8} = 120,91$$

$$\text{En milieu de travée : } M_{tr} = \frac{(M_{agr} + M_{adr})}{2} + M_{or} = \frac{(71,54 + 120,91)}{2} - 163,85 = -67,62 \text{ kN.m}$$

➤ Travée 2

$$\text{Appui gauche : } M_{agr} = M_{7,6} = 112,67$$

$$\text{Appui droit : } M_{adr} = -M_{6,7} = 116,68$$

$$\text{En milieu de travée : } M_{tr} = \frac{(M_{agr} + M_{adr})}{2} + M_{or} = \frac{(112,67 + 116,68)}{2} - 163,85 = -49,17 \text{ kN.m}$$

➤ Travée 3

$$\text{Appui gauche : } M_{agr} = M_{6,5} = 127,10$$

$$\text{Appui droit : } M_{adr} = -M_{5,6} = 55,15$$

$$\text{En milieu de travée : } M_{tr} = \frac{(M_{agr} + M_{adr})}{2} + M_{or} = \frac{(127,10 + 55,15)}{2} - 163,85 = -72,72 \text{ kN.m}$$

Pied droit extrême gauche

- Appui inférieur : $M_{aip} = M_{8.1} = -71,54$
- Appui supérieur : $M_{asp} = -M_{1.8} = -35,24$
- En milieu de travée : $M_{tp} = \frac{(M_{aip} + M_{asp})}{2} + M_{op} = -12,92 \text{ kN.m}$

Pied droit intérieur 1

- Appui inférieur : $M_{aip} = M_{7.2} = 8,25$
- Appui supérieur : $M_{asp} = -M_{2.7} = 4,43$
- En milieu de travée : $M_{tp} = \frac{(M_{aip} + M_{asp})}{2} + M_{op} = 6,34 \text{ kN.m}$

Pied droit intérieur 2

- Appui inférieur : $M_{aip} = M_{6.3} = -10,42$
- Appui supérieur : $M_{asp} = -M_{3.6} = -5,94$
- En milieu de travée : $M_{tp} = \frac{(M_{aip} + M_{asp})}{2} + M_{op} = -8,18 \text{ kN.m}$

Pied droit extrême droit

- Appui inférieur : $M_{aip} = M_{5.4} = 55,15$
- Appui supérieur : $M_{asp} = -M_{4.5} = 21,50$
- En milieu de travée : $M_{tp} = \frac{(M_{aip} + M_{asp})}{2} + M_{op} = 38,33 \text{ kN.m}$

Les réactions d'appui sont :

Tablier

Travée 1 :

- Appui gauche : $R_{agt} = \frac{(M_{adt} - M_{agt})}{L} + \frac{P_1 \times L}{2} = 55,71 \text{ kN}$
- Appui droit : $R_{adt} = \frac{(M_{agt} - M_{adt})}{L} + \frac{P_1 \times L}{2} = 66,75 \text{ kN}$

Travée 2 :

- Appui gauche : $R_{agt} = \frac{(M_{adt} - M_{agt})}{L} + \frac{P_1 \times L}{2} = 60,64 \text{ kN}$
- Appui droit : $R_{adt} = \frac{(M_{agt} - M_{adt})}{L} + \frac{P_1 \times L}{2} = 61,82 \text{ kN}$

Travée 3 :

- Appui gauche : $R_{agt} = \frac{(M_{adt} - M_{agt})}{L} + \frac{P_1 \times L}{2} = 69,89 \text{ kN}$
- Appui droit : $R_{adt} = \frac{(M_{agt} - M_{adt})}{L} + \frac{P_1 \times L}{2} = 52,57 \text{ kN}$

Radier

Travée 1 :

- Appui gauche : $R_{agr} = \frac{(M_{adr} - M_{agr})}{L} + \frac{P_2 \times L}{2} = -101 \text{ kN}$
- Appui droit : $R_{adr} = \frac{(M_{agr} - M_{adr})}{L} + \frac{P_2 \times L}{2} = -117,46 \text{ kN}$

Travée 2 :

- Appui gauche : $R_{agr} = \frac{(M_{adr} - M_{agr})}{L} + \frac{P_2 \times L}{2} = -108,56 \text{ kN}$
- Appui droit : $R_{adr} = \frac{(M_{agr} - M_{adr})}{L} + \frac{P_2 \times L}{2} = -109,90 \text{ kN}$

Travée 3 :

- Appui gauche : $R_{agr} = \frac{(M_{adr} - M_{agr})}{L} + \frac{P_2 \times L}{2} = -121,22 \text{ kN}$
- Appui droit : $R_{adr} = \frac{(M_{agr} - M_{adr})}{L} + \frac{P_2 \times L}{2} = -97,22 \text{ kN}$

Les efforts de compression à prendre en compte sont :

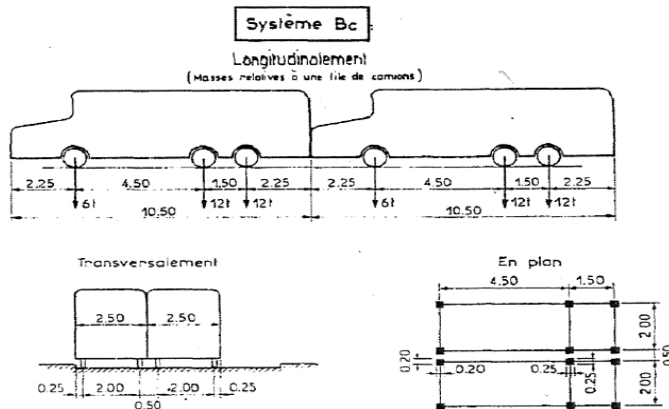
Pied droit extrême gauche : $P_{extg} = R_{agt} - R_{agr} = 156,71 \text{ kN}$

Pied droit intérieur 1 : $P_{int1} = 2 \times (R_{adt} - R_{adr}) = 368,42 \text{ kN}$

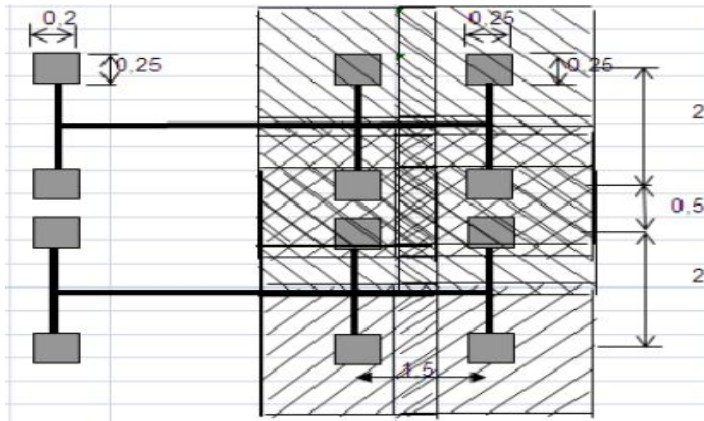
Pied droit intérieur 2 : $P_{int2} = 2 \times (R_{adt} - R_{adr}) = 343,45 \text{ kN}$

Pied droit extrême droit : $P_{extd} = R_{agt} - R_{agr} = 191,11 \text{ kN}$

• **Sous système Bc**



Dans notre cas on peut disposer les deux files des deux camions sur le tablier, mais l'effet le plus défavorable est obtenu par les essieux arrière des deux camions. Ces essieux s'interfèrent deux à deux et comme on à 4 essieux seul un essieu est considéré pour le calcul.



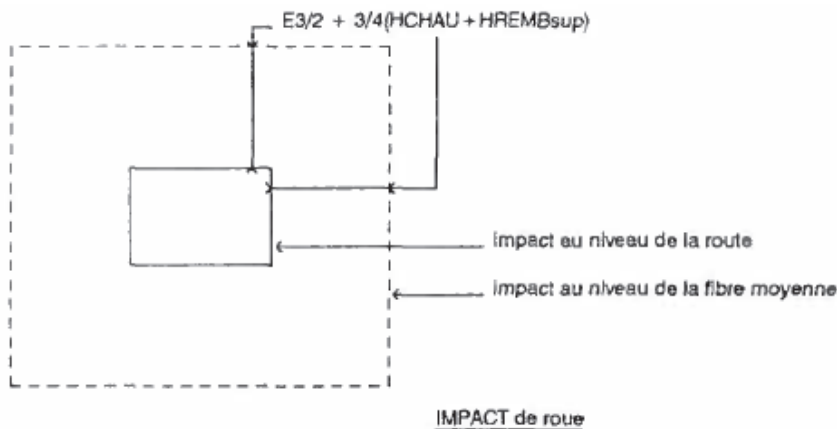
Afin d'évaluer l'impact de la roue sur la dalle conformément à l'Article A.3.2,5 du B.A.E.L.91, l'étalement s'effectue en ajoutant à l'épaisseur de la traverse les trois quarts de l'épaisseur des éléments qui ne sont pas en béton soit : $\frac{E_3}{2} + \frac{3}{4}(HCHAU + HREMBL)$

Avec

E_3 : Épaisseur de la dalle

HCHAU : Épaisseur de la chaussée

HREMBL : Hauteur de remblai



Dans notre cas on $E_3=35$ cm, HACHAU=40 cm, HREMBL=15 cm

$$\frac{0,35}{2} + \frac{3}{4}(0,40 + 0,15) = 0,6 \text{ m}$$

On a largeur comme longueur de l'impact de la roue : $0,6 + 0,25 = 1,45 \text{ m}$, nous arrondissons à 1,5 m pour simplifier les calculs

Et comme surface de l'impact d'une roue $S = 1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ m}^2$

Et la surface d'influence du système Bc est le produit de l'impact des deux roues.

Coefficient $b_c = 1,1$

Coefficient de majoration dynamique :

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

$$L = \max(Lr; \text{portée}) = 7,3 \text{ m}$$

$$G = 25 \times 0,35 \times 7,3 \times 6 + 22 \times 5,3 \times 0,05 \times 6 + 2 \times 0,2 \times 22 \times 6 + 25 \times 0,25 \times 0,6 \times 6 + 0,3 \times 6 = 495,33 \text{ kN}$$

$$Q = 240 + 240 + 120 = 600 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 7,3} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 495,33}{600}} = 1,30$$

Évaluation des charges

- Sur le tablier : $P_T = \frac{P}{S_{emcom}} \times b_c \times \delta = \frac{2 \times 60}{(2,25)^2} \times 1,1 \times 1,30 = 33,38 \text{ kN/ml}$
- Sur le radier : $P_R = P_T = 38,82 \text{ kN/m}^2$
- Sur les pieds droits : $P_{pd} = P_T = 38,82 \text{ kN/m}^2$

Moments d'encastrement en kN. m

m12	-100,14
m21	100,14
m23	-100,14
m32	100,14
m34	-100,14
m43	100,14
m56	-100,14
m65	100,14
m67	-100,14
m76	100,14
m78	-100,14
m87	100,14
m81	-44,51
m18	44,51

Système d'équations

α_1	45,19	9,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,41	=	b1	55,63
α_2	9,19	63,57	9,19	0,00	0,00	0,00	13,41	0,00	=	b2	0
α_3	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	13,41	0,00	0,00	=	b3	0
α_4	0,00	0,00	9,19	45,19	13,41	0,00	0,00	0,00	=	b4	-100,14
α_5	0,00	0,00	0,00	13,41	45,19	9,19	0,00	0,00	=	b5	100,14
α_6	0,00	0,00	13,41	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	=	b6	0
α_7	0,00	13,41	0,00	0,00	0,00	9,19	63,57	9,19	=	b7	0
α_8	13,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,19	45,19	=	b8	-55,63

La résolution de l'équation nous donne ces valeurs suivantes de α

α_1	1,89
α_2	-0,47
α_3	0,7
α_4	-3,35
α_5	3,35
α_6	-0,7
α_7	0,47
α_8	-1,89

On obtient les moments suivants en kN. m:

M12	-69,82
M18	69,82
M21	108,77
M23	-102,41
M27	-6,36
M32	108,66
M34	-118,07
M36	9,40
M54	44,97
M56	-44,97
M65	118,07
M63	-9,40
M67	-108,66
M76	102,41
M72	6,36
M78	-108,77
M87	69,82
M81	-69,82
M43	44,97
M45	-44,97

Moments isostatiques en kN. m:

Tablier	150,21
Radier	-150,21
Pied droits	66,76

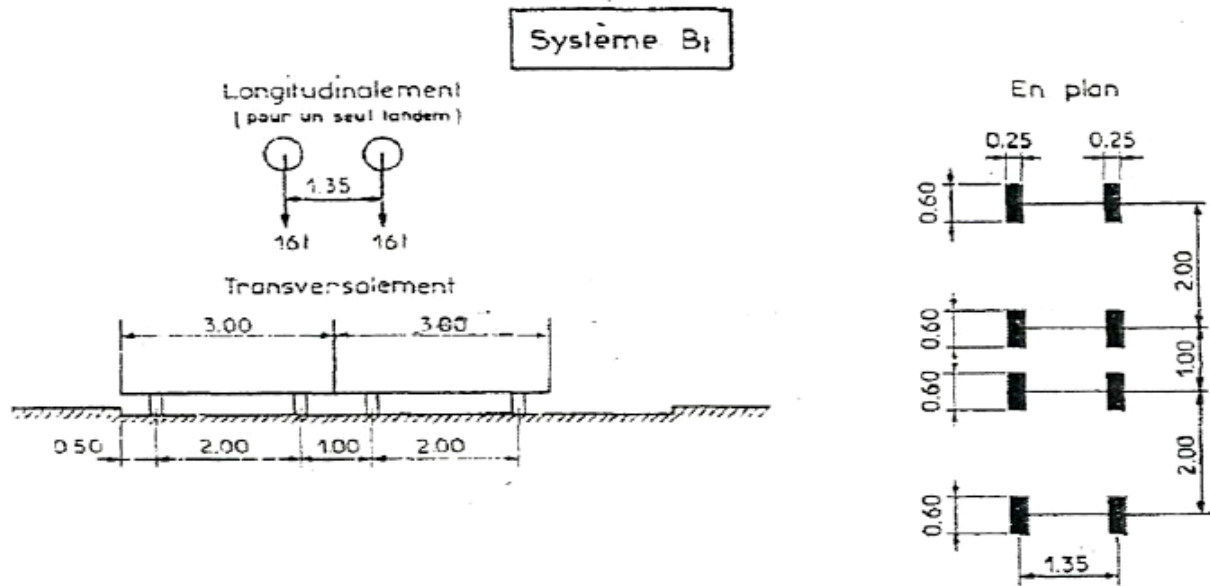
Moments maximums obtenus en kN. m:

Tablier	
Travée 1	60,92
Travée 2	44,67
Travée 3	68,69
Radier	
Travée 1	-60,92
Travée 2	-44,67
Travée 3	-68,69
Pieds droits	
Gauche	-3,06
Intérieur 1	6,36
Intérieur 2	-9,40
Droite	44,97

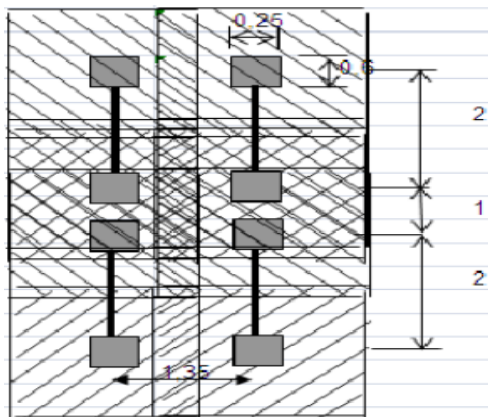
Efforts max en KN

Tablier	
Travée 1	
Appui gauche	93,65
Appui droit	106,63
Travée 2	
Appui gauche	99,10
Appui droit	101,18
Travée 3	
Appui gauche	112,32
Appui droit	87,96
Radier	
Travée 1	
Appui gauche	-93,65
Appui droit	-106,63
Travée 2	
Appui gauche	-99,10
Appui droit	-101,18
Travée 3	
Appui gauche	-112,32
Appui droit	-87,96
Pieds droits	
Gauche	187,30
Intérieur 1	426,53
Intérieur 2	404,73
Droite	224,65

- **Système Bt**



Tout comme le système Bc on peut disposer les deux files des deux camions sur le tablier, mais l'effet le plus défavorable est obtenu par les essieux arrières des deux camions. Ces essieux s'interfèrent deux à deux et comme on a 4 essieux seul un essieu est considéré pour le calcul.



On a largeur de l'impact de la roue : $0,6 \times 2 + 0,25 = 1,45 \text{ m}$

Et comme longueur : $0,6 \times 2 + 0,6 = 1,80 \text{ m}$

Et comme surface de l'impact d'une roue $S = 1,8 \times 1,45 = 2,61 \text{ m}^2$

Et la surface d'influence du système Bt est le produit de l'impact des deux roues.

Coefficient $b_t = 1$

Coefficient de majoration dynamique :

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

$$Q = 160 \times 4 = 640 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 7,3} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 495,33}{640}} = 1,31$$

Évaluation des charges

- Sur le tablier : $P_T = \frac{P}{S_{emcom}} \times b_c \times \delta = \frac{2 \times 80}{((0,6 \times 2 + 0,25) \times (0,6 \times 2 + 0,60))^2} \times 1 \times 1,31 = 30,54 \text{ kN/ml}$
- Sur le radier : $P_R = P_T = 30,54 \text{ kN/m}^2$
- Sur les pieds droits : $P_{pd} = P_T = 30,54 \text{ kN/m}^2$

Moments d'encastrement en kN. m

m12	-91,62
m21	91,62
m23	-91,62
m32	91,62
m34	-91,62
m43	91,62
m56	-91,62
m65	91,62
m67	-91,62
m76	91,62
m78	-91,62
m87	91,62
m81	-40,72
m18	40,72

Système d'équations

α_1	45,19	9,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,41	=	b1	50,90
α_2	9,19	63,57	9,19	0,00	0,00	0,00	13,41	0,00	=	b2	0
α_3	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	13,41	0,00	0,00	=	b3	0
α_4	0,00	0,00	9,19	45,19	13,41	0,00	0,00	0,00	=	b4	-91,62
α_5	0,00	0,00	0,00	13,41	45,19	9,19	0,00	0,00	=	b5	91,62
α_6	0,00	0,00	13,41	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	=	b6	0
α_7	0,00	13,41	0,00	0,00	0,00	9,19	63,57	9,19	=	b7	0
α_8	13,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,19	45,19	=	b8	-50,90

La résolution de l'équation nous donne ces valeurs suivantes de α

α_1	1,73
α_2	-0,43
α_3	0,64
α_4	-3,07
α_5	3,07
α_6	-0,64
α_7	0,43
α_8	-1,73

On obtient les moments suivants en kN. m:

M12	-63,88
M18	63,88
M21	99,51
M23	-93,70
M27	-5,82
M32	99,42
M34	-108,02
M36	8,60
M54	41,14
M56	-41,14
M65	108,02
M63	-8,60
M67	-99,42
M76	93,70
M72	5,82
M78	-99,51
M87	63,88
M81	-63,88
M43	41,14
M45	-41,14

Moments isostatiques en kN. m:

Tablier	137,43
Radier	-137,43
Pied droits	61,08

Moments maximums obtenus en kN. m:

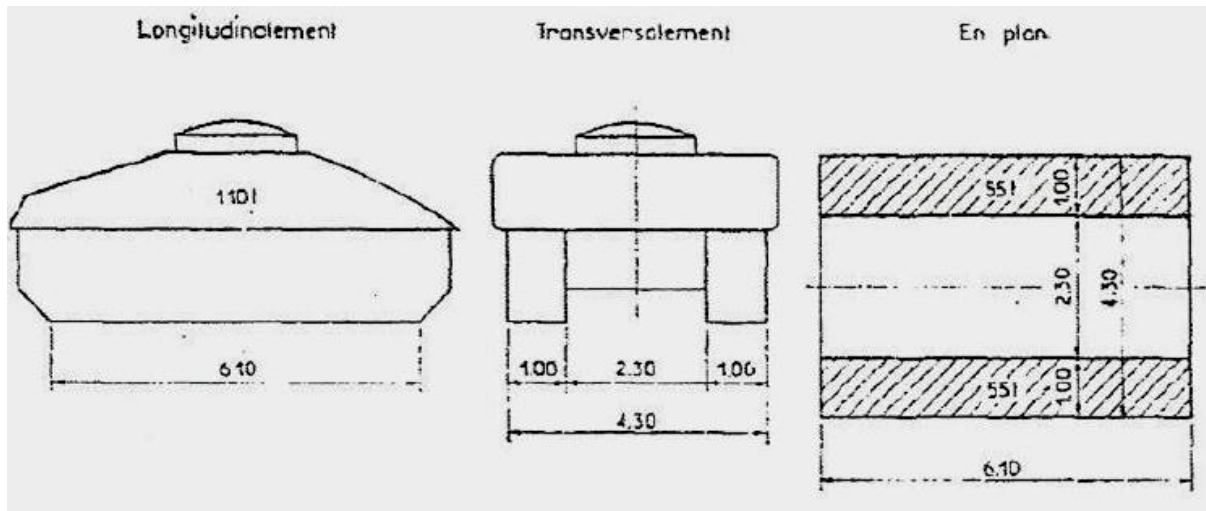
Tablier	
Travée 1	55,73
Travée 2	40,87
Travée 3	62,85

Radier	
Travée 1	-55,73
Travée 2	-40,87
Travée 3	-62,85
Pieds droits	
Gauche	-2,80
Intérieur 1	5,82
Intérieur 2	-8,60
Droite	41,14

Efforts max en KN

Tablier	
Travée 1	
Appui gauche	85,68
Appui droit	97,56
Travée 2	
Appui gauche	90,67
Appui droit	92,57
Travée 3	
Appui gauche	102,77
Appui droit	80,47
Radier	
Travée 1	
Appui gauche	-85,68
Appui droit	-97,56
Travée 2	
Appui gauche	-90,67
Appui droit	-92,57
Travée 3	
Appui gauche	-102,77
Appui droit	-80,47
Pieds droits	
Gauche	171,36
Intérieur 1	390,24
Intérieur 2	370,29
Droite	205,53

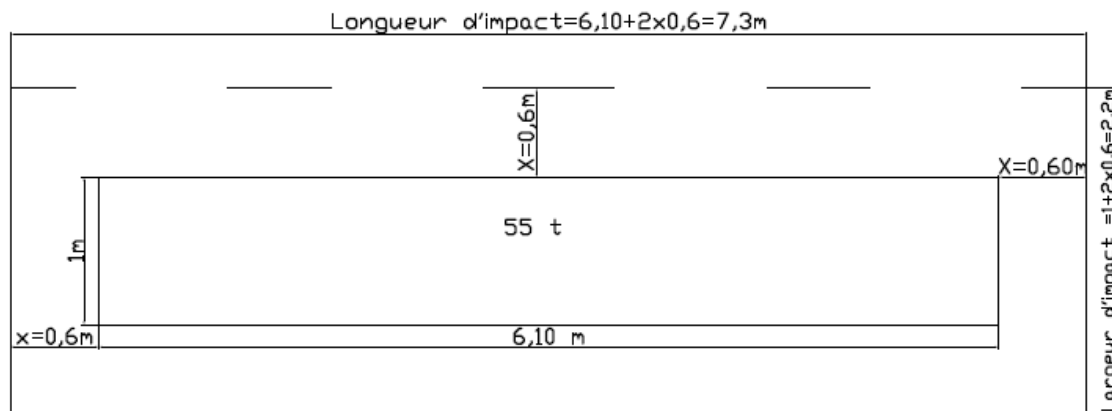
- Système Mc120



On ne peut que disposer un seul convoi pour ce type de système. La surface d'impact considérée pour le calcul est celui d'un seul essieu réparti suivant les mêmes conditions que les systèmes Bc et Bt.

$$\text{Soit } X = \frac{E_3}{2} + \frac{3}{4}(HCHAU + HREMBL) = 0,6 \text{ m calculé précédemment pour les systèmes}$$

Bc et Bt On obtient ainsi comme surface d'influence :



$$L = 6,10 + 2x0,6 = 7,3 \text{ m}$$

$$L = 1 + 2x0,6 = 2,2 \text{ m}$$

$$S = Lxl = 16,06 \text{ m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique :

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

$$Q = 1100 \text{ kN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 7,3} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 495,33}{1100}} = 1,31$$

Évaluation des charges

- Sur le tablier : $P_T = \frac{P}{Semcom} \times \delta = \frac{550}{16,06} \times 1,31 = 44,85 \text{ kN/ml}$
- Sur le radier : $P_R = P_T = 44,85 \text{ kN/m}^2$
- Sur les pieds droits : $P_{pd} = P_T = 44,85 \text{ kN/m}^2$

Moments d'encastrement en kN. m

m12	-134,55
m21	134,55
m23	-134,55
m32	134,55
m34	-134,55
m43	134,55
m56	-134,55
m65	134,55
m67	-134,55
m76	134,55
m78	-134,55
m87	134,55
m81	-59,80
m18	59,80

Système d'équations

α_1	45,19	9,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,41	=	b1	74,75
α_2	9,19	63,57	9,19	0,00	0,00	0,00	13,41	0,00	=	b2	0
α_3	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	13,41	0,00	0,00	=	b3	0
α_4	0,00	0,00	9,19	45,19	13,41	0,00	0,00	0,00	=	b4	-134,55
α_5	0,00	0,00	0,00	13,41	45,19	9,19	0,00	0,00	=	b5	134,55
α_6	0,00	0,00	13,41	0,00	9,19	63,57	9,19	0,00	=	b6	0
α_7	0,00	13,41	0,00	0,00	0,00	9,19	63,57	9,19	=	b7	0
α_8	13,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,19	45,19	=	b8	-74,75

La résolution de l'équation nous donne ces valeurs suivantes de α

α_1	2,54
α_2	-0,64
α_3	0,94
α_4	-4,51
α_5	4,51
α_6	-0,94
α_7	0,64
α_8	-2,54

On obtient les moments suivants en kN. m:

M12	-93,81
M18	93,81
M21	146,14
M23	-137,60
M27	-8,54
M32	146,00
M34	-158,64
M36	12,63
M54	60,42
M56	-60,42
M65	158,64
M63	-12,63
M67	-146,00
M76	137,60
M72	8,54
M78	-146,14
M87	93,81
M81	-93,81
M43	60,42
M45	-60,42

Moments isostatiques en kN. m:

Tablier	201,83
Radier	-201,83
Pied droits	89,7

Moments maximums obtenus en kN. m:

Tablier	
Travée 1	81,85
Travée 2	60,02
Travée 3	92,30
Radier	
Travée 1	-81,85
Travée 2	-60,02
Travée 3	-92,30
Pieds droits	
Gauche	-4,11
Intérieur 1	8,54
Intérieur 2	-12,63
Droite	60,42

Efforts max en KN

Tablier	
Travée 1	
Appui gauche	125,83
Appui droit	143,27
Travée 2	
Appui gauche	133,15
Appui droit	135,95
Travée 3	
Appui gauche	150,92
Appui droit	118,18
Radier	
Travée 1	
Appui gauche	-125,83
Appui droit	-143,27
Travée 2	
Appui gauche	-133,15
Appui droit	-135,95
Travée 3	
Appui gauche	-150,92
Appui droit	-118,18
Piedroits	
Gauche	251,65
Intérieur 1	573,09
Intérieur 2	543,80
Droite	301,84

- **Combinaisons des charges**

ELU

$$\text{CAS 1 : } 1,35G + 1,6\text{Max}(B_c, B_t)$$

$$\text{CAS 2 : } 1,35G + 1,35M_{c120}$$

ELS

$$\text{CAS 1 : } G + 1,2\text{Max}(B_c, B_t)$$

$$\text{CAS 2 : } G + M_{c120}$$

La synthèse des résultats du calcul des moments est mentionnée dans le tableau ci-dessous

Partie de l'ouvrage	Moments et Efforts en KN.m/ml et KN/ml		Charges permanentes	Système Bc	Système Bt	Système Mc120
Tablier	Moment fléchissant	Gauche	-73,63	-118,07	-108,02	-158,64
		Milieu	44,46	68,69	62,85	92,30
		Droite	-68,54	-108,77	-99,51	-146,14
Radier	Moment fléchissant	Gauche	127,10	118,07	108,02	158,64
		Milieu	-72,73	-68,69	-62,85	-92,30
		Droite	120,92	108,77	99,51	146,14
Pieds droits extrêmes	Moment fléchissant	Inférieur	55,13	44,97	41,14	60,42
		Milieu	38,36	44,97	41,14	60,42
		Supérieur	-35,33	-69,82	-63,88	-93,81
	Effort normal		191,28	224,65	205,53	301,84
Pieds droits intérieurs	Moment fléchissant	Inférieur	-10,42	-9,40	-8,60	-12,63
		Milieu	-8,19	-9,40	-8,60	-12,63
		Supérieur	-5,96	-9,40	-8,60	-12,63
	Effort normal		368,76	426,53	390,24	573,09

Et on obtient les combinaisons suivantes :

Partie de l'ouvrage	Moments et Efforts en KN.m/ml et KN/ml	CAS 1		CAS 2		
		ELU	ELS	ELU	ELS	
Tablier	Moment fléchissant	Gauche	-288,30	-215,31	-313,55	-232,26
		Milieu	160,58	119,88	184,63	136,76
		Droite	-266,56	-199,06	-289,82	-214,68
Radier	Moment fléchissant	Gauche	344,42	256,73	385,75	285,74
		Milieu	-208,09	-155,16	-222,78	-165,02
		Droite	322,46	240,33	360,53	267,06
Pieds droits extrêmes	Moment fléchissant	Inférieur	140,26	104,50	156,00	115,55
		Milieu	117,61	87,73	133,35	98,78
		Supérieur	-159,40	-119,11	-174,33	-129,13
	Effort normal		587,08	437,92	665,71	493,12
Pieds droits intérieurs	Moment fléchissant	Inférieur	-29,10	-21,70	-31,11	-23,05
		Milieu	-26,09	-19,47	-28,11	-20,82
		Supérieur	-23,09	-17,24	-25,10	-18,59
	Effort normal		1122,20	837,04	1271,49	941,85

On remarque que c'est le CAS 2 qui est le cas le plus défavorable.

- **Calcul du ferrailage**

- **Radier et Tablier**

Nous allons calculer le ferrailage d'un moment et le reste sera déduit par automatisation sur Excel.

Nous prenons exemple sur le moment de l'appui gauche du radier

Calcul à l'ELU

$$Mu = 313,55 \text{ kN.m}$$

Moment réduit du béton

$$U_u = \frac{Mu}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{313,55 \times 10^{-3}}{1 \times (0,9 \times 0,35)^2 \times 14,17} = 0,23$$

$$U_u > U_{AB} = 0,186 \quad \text{aciers comprimés}$$

Calculons U_l

$$U_l = 0,8\alpha_l(1 - 0,4\alpha_l)$$

$$\alpha_l = \frac{3,5}{3,5 + 100 + \frac{fe}{Es \times \gamma_s}} = \frac{3,5}{3,5 + 100 \times \frac{400}{200000 \times 1,5}} = 0,66$$

$$U_l = 0,8 \times 0,66(1 - 0,4 \times 0,66) = 0,388$$

On a $U_u < U_l$ donc pas d'aciers comprimés

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{Mu}{Zu \times \sigma_s}$$

$$Zu = d(1 - 0,4\alpha_u)$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2U_u}) = 0,33$$

$$Zu = 0,18 \times (1 - 0,4 \times 0,33) = 0,27 \text{ m}$$

$$Ast = \frac{313,55 \times 10^{-3}}{0,27 \times 348} \times 10^4 = 31,98 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

$$M_{ser} = 232,26 \text{ kN/m}$$

Moment résistant

$$M_{serb} = 0,5 \times y_{ser} \times f_{bc} \times Z_{ser}$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} \times d$$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 201,63} = 0,55$$

$$y_{ser} = 0,55 \times 0,315 = 0,175 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0,315 - \frac{0,175}{3} = 0,26 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0,5 \times 1 \times 0,175 \times 18 \times 0,26 = 0,40 \text{ MN.m/ml}$$

$$M_{ser} < M_{serb} \quad \text{Pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$A_{st} = \frac{232,26 \times 10^{-3}}{0,26 \times 215,55} \times 10^4 = 41,58 \text{ cm}^2$$

Aciers réels

$$\text{Aciers retenus} = \text{Max}(A_{st_{etu}}, A_{st_{els}}) = 41,58 \text{ cm}^2$$

On obtient ainsi pour le radier et le tablier les sections d'acier suivants :

Partie de l'ouvrage	Moments en KN.m/ml		ELU		ELS		Choix
			Acier théorique	Acier réel	Acier théorique	Acier réel	
Tablier	Moment fléchissant	Gauche	31,98	32,17	41,58	43,98	2x7HA20
		Milieu	17,93	18,85	24,76	25,13	8HA20
		Droite	29,24	29,45	38,86	39,27	8HA25
Radier	Moment fléchissant	Gauche	40,45	43,98	50,1	50,26	2x8HA20
		Milieu	21,59	21,99	29,82	31,42	10HA20
		Droite	40,57	14,07	50,18	50,26	2x8HA20

- Pieds droits

Pied droit intérieur : Le pied droit sera calculé comme un poteau en flexion simple

$$N_u = 1,271 \text{ kN}, \quad N_{ser} = 0,941 \text{ kN}$$

$$b = 1 \text{ m} \quad h = 0,35 \text{ m} \quad H = 4 \text{ m}$$

Élancement λ

$$\lambda = 3,5 \times \frac{l_f}{h} \text{ avec } l_f = 0,7H = 2,8 \text{ m}$$

$$\lambda = 3,5 \times \frac{2,8}{0,35} = 28$$

$$\lambda < 50 \quad \text{on a } \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{28}{35}\right)^2} = 0,75$$

On supposera que la moitié des charges sera appliquée avant 90 jours donc on a $\alpha = \frac{0,75}{1,1} = 0,68$

Section réduite du béton Br

$$Br = ((a - 0,02)(b - 0,02)) \text{ avec } a = h = 0,35\text{m et } b = 1\text{m}$$

$$Br = ((0,35 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,3234 \text{ m}^2$$

$$Asc \gg \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Br \times fc28}{0,9 \times \gamma_b} \right) \times \left(\frac{\gamma_b}{Fe} \right)$$

$$Asc \gg \left(\frac{1,271}{0,68} - \frac{0,3234 \times 30}{0,9 \times 1,5} \right) \times \left(\frac{1,15}{400} \right) = 1,84 \text{ cm}^2$$

Calculons Amin

$$Amin = \text{Max} \left(\frac{4\text{cm}^2}{m} \times u \text{ en m}; 0,2\%B \times 1000 \right)$$

U : périmètre du pied droit

$$u = (0,35 \times 2 + 1 \times 2) = 2,7 \text{ m}$$

B: la surface du poteau

$$B = 1 \times 0,35 = 0,35 \text{ m}^2$$

$$Amin = \text{Max} \left(4 \times 2,7; \frac{0,2 \times 35 \times 1000}{100} \right) = 10,8 \text{ cm}^2$$

Choix des aciers 6HA16 = 12,06 cm²

Pied droit extérieur

$$M_u = 174,33 \text{ kN.m}, N_u = 665,71 \text{ kN} \text{ et } M_{ser} = 129,13 \text{ kN.m}; N_{ser} = 493,12 \text{ kN}$$

$$h=0,35 \text{ m } b=1\text{m}$$

Calcul de l'excentricité e :

$$e = e_1 + e_a + e_2$$

e_1 : excentricité (dite du premier ordre)

$$e_1 = \frac{Mu}{Nu} = \frac{0,174}{0,665} = 0,26 \text{ m}$$

e_a : excentricité additionnelle traduisant les imperfections géométriques initiales

$$e_a = \max \left(2 \text{ cm}; \frac{l}{250} \right) = \max \left(2 \text{ cm}; \frac{350}{250} = 1,4 \right) = 2 \text{ cm}$$

e_2 : excentricité due aux effets du second ordre, liés à la déformation de la structure

$$e_2 = \frac{3l_f^2}{10^4 h} (2 + \alpha \phi)$$

$$\alpha = \frac{Mu}{Mu + Mser} = 0,57$$

$$l_f = 0,7H = 0,7 \times 4 = 2,8 \text{ m}$$

$$\phi = 2$$

$$e_2 = \frac{3 \times 2,8^2}{10000 \times 0,35} \times (2 + 0,57 \times 2) = 0,0021 \text{ m}$$

$$e = 0,23 \text{ m}$$

Calcul de l'effort de compression centré maximal supportable par le béton N_{bmax}

$$N_{bmax} = b \times h \times f_{bu} = 1 \times 0,35 \times 17 = 5,95 \text{ MN}$$

Calcul du coefficient de remplissage du diagramme de contrainte :

$$\Psi_1 = \frac{Nu}{N_{bmax}} = \frac{0,665}{5,95} = 0,11 < 0,81$$

Calcul de l'excentricité critique relative ζ

$$\Psi_1 < \frac{2}{3} \text{ donc } \zeta = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\Psi_1}}{4(3 + \sqrt{9 - 12\Psi_1})} = 0,16$$

Calcul de e_{NC}

$$\Psi_1 < 0,81 \quad e_{NC} = \zeta \times h = 0,16 \times 0,35 = 0,056 \text{ m}$$

$e > e_{NC}$ on a une section partiellement comprimée

Calcul de Mu_{fictif}

$$Mu_{fictif} = Nu \times e_A \text{ avec } e_A = e + (d - 0,5h) = 0,23 + (0,315 - 0,5 \times 0,35) = 0,37 \text{ m}$$

$$Mu_{fictif} = 0,665 \times 0,37 = 0,24 \text{ MN.m/ml}$$

Calcul de U_u

$$U_u = \frac{0,02}{1 \times (0,9 \times 0,35)^2 \times 17} = 0,116 < U_{AB} \text{ Pas d'aciers comprimés}$$

Aciers théoriques

$$Ast = \frac{Mu_{fictif}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,116}) = 0,15$$

$$Zu = 0,315 \times (1 - 0,4 \times 0,15) = 0,29 \text{ m}$$

$$Ast = \frac{0,24}{0,29 \times 348} \times 10^4 = 23,78 \text{ cm}^2$$

Condition de non-fragilité

$$Amin = \max\left(\frac{bh}{1000}; 0,23bd \times \frac{f_{t28}}{f_e}\right) = 4,34 \text{ cm}^2$$

Calcul des aciers réels

$$As = Ast - \frac{Nu}{\sigma_{su}} = 23,78 - \frac{0,665}{348} = 23,77 \text{ cm}^2$$

Nous choisissons 8HA20 soit une section de 25,13 cm²

Ci-dessous un récapitulatif des sections et armatures trouvées après les calculs :

Parties de l'ouvrage		Armatures		Aciers réels (cm ²)		Espacement (cm)	
		Principaux	Répartiti on	Principaux	Répartiti on	Principaux	Répartiti on
Table r	Travée	8HA20	6HA14	25,13	9,24	12,5	16
	Appuis	2x7HA20	5HA20	43,98	15,71	7	20
Radier	Travée	10HA20	7HA14	31,42	10,47	10	14
	Appuis	2x8HA20	6HA20	50,26	18,85	6,25	16
Pieds droits	Extérieur	8HA20	8HA12	25,13	9,05	12,5	12,5
	Intérieur	6HA16	4HA12	12,06	4,52	16	25

Annexe 8.1 : Vue en plan

Annexe 8.2 : Coupe B-B

Annexe 8.3 : Plan de ferrailage

Annexe 8.4 : Plan de coffrage

ANNEXE 9 : DEVIS ESTIMATIF

N°	Désignation	Unité	Quantité	P.U FCFA	Sous Total
0	INSTALLATION DE CHANTIER				
1	Installation de chantier	ff	1	671 410 500	671410500
Sous total série 000					671410500
100	TRAVAUX PRÉPARATOIRES				
101	Nettoyage de l'emprise et décapage min 15 cm	m2	97889,11	700	68522377
102	Abattage d'arbres circonférence supérieur 1,5 cm	u	808	36 964	29866912
103	Démolition d'ouvrages existants (mur et bâtiment)	Ff	1	1 048 182	1048182
104	Tranchée pour la localisation du réseau existant	ml	3600	6 694	24098400
105	Prévision pour déplacement de réseau ONATEL, ONEA, SONABEL	ff	1	24 180 000	24180000
106	Démolition d'une partie du dalot	m3	161,8	50 989	8250020,2
107	Démolition des caniveaux	m3	16797,5	50 989	856487727,5
Sous total série 100					1012453619
200	TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX				
201	Déblai mis en dépôt	m3	8275,34	4 145	34301284,3
202	Purge des terres impropres et contaminées	m3	29700	5 834	173269800
203	Fourniture et pose de géotextile de renforcement	m2	26550	3 800	100890000
204	Remblai provenant d'emprunt	m3	177426,84	5 775	1024640001
205	Terres végétales pour terreplein central	m3	449,475	4 175	1876558,125
206	Réglage et compactage de l'arase de plateforme de terrassement et de fondation	m2	91288,5	3 143	286919755,5
Sous total série 200					1621897399
300	CHAUSSÉE				
301	Couche de forme	m3	177426,84	7 430	1318281421
302	Fourniture et pose du géogrille	m2	26550	4 195	111377250
303	Couche de fondation en graveleux latéritiques lithostabilisés	m3	24035,98	20000	480719600
304	Couche de base pour chaussée en graveleux latéritique lithostabilisés	m3	1558,27	25000	38956750
305	Couche de base pour chaussée en grave bitume 0/14	m3	8750,06	13 100	114625786
306	Couche d'imprégnation Cut Back 0/1 sur chaussée dosé à 1,1kg/m2	m2	91288,5	4 863	443935975,5
307	Revêtement en Béton Bitumineux 0/10	m2	4894,46	8 580	41994466,8
308	Bordures de type GSS2 continues	ml	7100	26 200	186020000
309	Bordures de type T4 discontinues	ml	4500	14 186	63837000
310	Bordures de type T2 discontinues	ml	7100	13 458	95551800
311	Cunettes CC2	ml	475	18 602	8835950
312	Fourniture et pose revêtements pavés sur TPC et trottoir	m2	1500	10 000	15000000
Sous totale série 300					2919136000
400	OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT				
401	Caniveaux				

401-1	Curage des caniveaux	u	4070	80 000	325600000
401-2	Caniveau de section 150x100	ml	1557	150 000	233550000
401-3	Caniveau de section 100x100	ml	507	130 000	65910000
401-4	Caniveau de section 100x80	ml	1437	115 000	165255000
401-5	Caniveau de 80x80	ml	5441	95 000	516895000
402	Dallettes				
402-1	Dallettes pour caniveau de section 150x100	ml	519	80 000	41520000
402-2	Dallettes pour caniveau de section 100x100	ml	169	40 000	6760000
402-3	Dallettes pour caniveau de section 100x80	ml	479	40 000	19160000
402-4	Dallettes pour caniveau de 80x80	ml	1813	40 000	72520000
403	Dalot de Wemtenga				
403-1	Fouilles sous ouvrages	m3	70,81	3 500	247835
403-2	Béton de propreté dosé à 150kg/m3	m3	7,081	61 719	437032,239
403-3	Béton B30	m3	161,21	131 401	21183155,21
403-4	Aciers pour armatures	kg	150000	1 849	277350000
403-5	Remblai pour ouvrage	m3	130	6 604	858520
403-6	Perré maçonné	m2	15	15 976	239640
403-7	Enrochement	m3	20	14 023	280460
403-8	Garde de corps	ml	38,8	50 000	1940000
Sous totale série 400					1749706642
500	OUVRAGES D'ART				
501	Pont de la RN04				
501-1	Prix généraux				
501-1-1	Installation de chantier	ff	1	159083550	
501-2	Terrassements et fouilles				
501-2-1	Fouilles	m2		5 000	0
501-2-2	Remblaiement des fouilles	m3		8 500	0
501-2-3	Remblais techniques et rampes d'accès	m3	19350	6 000	116100000
501-3	Fondations sur pieux				
501-3-1	Béton B30	m3	1627,77	200 000	325554000
501-3-2	Aciers pour armatures	kg	80500	1849	148844500
501-4	Appuis				
501-4-1	Culées				
501-4-1-1	Béton B30	m3	168	75 000	12600000
501-4-1-2	Aciers pour armatures	kg	250000	1849	462250000
501-4-1-3	Coffrages	m2	210	25 000	5250000
501-4-2	Piles				
501-4-2-1	Béton B30	m3	130	200 000	26000000
501-4-2-2	Aciers pour armatures	kg	180000	1849	332820000
501-4-2-3	Coffrages	m2	280	25 000	7000000
501-5	Tablier				

501-5-1	Béton B30	m3	1312,5	75 000	98437500
501-5-2	Aciers pour armatures	kg	135000	1849	249615000
501-5-3	Armatures de précontraintes	kg	85000	3 500	297500000
501-5-4	Coffrages	m2	2450	30 000	73500000
501-5-5	Cintres et échafaudages	m2		60 000	0
501-6	Superstructures				
501-6-1	BN4	ml	70	360 000	25200000
501-6-2	Bordures de trottoir	ml	140	15 000	2100000
501-6-3	Corniches	ml	140	120 000	16800000
501-6-4	DBA	ml	70	60 000	4200000
501-6-5	Chape d'étanchéité	m2	1050	20 000	21000000
501-6-6	Joints de chaussée	ml	140	35 000	4900000
501-6-7	Dalle de transition, recueil des eaux, raccordement BN4	ml	2380	400 000	952000000
502	Traversée piétonne				
502-1	Passerelles	u	2	100 000 000	200000000
Sous totale série 500					3381671000
600	SIGNALISATION ET SÉCURITÉ				
601	Marquage au sol	ml	41500	10000	415000000
602	Panneaux				
602-1	Panneaux de type A, B, AB ou J	u	15	100 000	1500000
602-2	Panneaux de signalisation du type D, ou E	u	6	150 000	900000
603	Barrières BN4	ml	38,8	250 000	9700000
604	Glissières de sécurité	ml	124,34	80 000	9947200
605	Feux tricolores	u	60	1 500 000	90000000
Sous totale série 600					527047200
700	ÉCLAIRAGE PUBLIC				
701	Fourniture d'équipement et installation de Candélabre simple cross y compris fileterie et branchement	u	273	1 600 000	436800000
702	Fourniture d'équipement et installation de Candélabre double cross y compris fileterie et branchement	u	130	2 000 000	260000000
703	Fourniture d'équipement et installation de luminaire sous Pont y compris fileterie et branchement	u	5	450 000	2250000
Sous total série 700					699050000
800	RÉSEAUX DES CONCESSIONNAIRES				
801	Réservations, Déplacements et confortations des réseaux d'eau				
801-1	Réservations	ml	4150	100 000	415000000
801-2	Confortations des réseaux d'eau	ff	1	425 000 000	425000000
802	Réservations, Déplacements et confortations des réseaux d'électricité				
802-1	Réservation	ml	4150	100 000	415000000
802-2	Confortations des réseaux d'électricité	ff	1	475 000 000	475000000

803	Réservations, Déplacements et confortations des réseaux de télécommunication				
803-1	Réservation	ml	4150	100 000	415000000
803-2	Confortations des réseaux de télécommunication	ff	1	525 000 000	525000000
Sous total série 800					2670000000
900	MESURES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES				
901	Remise en état des aires de stockage	ff	1	60 000 000	60000000
902	Remise en état des zones d'emprunts et de carrière	ff	1	75 000 000	75000000
903	Mesures d'atténuation des phases travail	ff	1	200 000 000	200000000
904	Mesures de bonification	ff	1	150 000 000	150000000
Sous total série 900					485000000
MONTANT TOTAL HORS TVA EN F CFA					15737372360
TVA EN F CFA 18%					2832727025
MONTANT TOTAL TTC					18570099384
COUT DU KILOMÈTRE					4220477133