



**ETUDES TECHNICO-ÉCONOMIQUES DES
TRAVAUX DE VOIRIES ET
D'ASSAINISSEMENT DU PROJET
D'AMÉNAGEMENT DE LA SECTION
URBAINE DE LA RN4/RN3 À
OUAGADOUGOU**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE
DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL / ROUTES ET OUVRAGES D'ART**

Présenté et soutenu publiquement le 02 Novembre 2016 par

DIANDA RACHID CHRISTIAN

Travaux dirigés par :

Dr Adamah MESSAN
Enseignant-chercheur à 2iE

Ayouba SEBRE
Directeur des Travaux – COGEB SA

Jury d'évaluation du mémoire

Président : **A. BOUREIMA**

Membres : **A. MESSAN**
M. MBENGUE
C. HEMA

PROMOTION 2015/2016



Dédicace

A mon papa rappelé à Dieu, qu'il repose éternellement en paix

A ma maman pour son amour et ses innombrables et inestimables sacrifices pour mon bien-être et ma formation.

A mon oncle Issa DIANDA et à Mr OUEDRAOGO, pour leur soutien permanent et combien précieux consenti à mon endroit.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'entreprise COGEB International SA, tout particulièrement M. Moctar MANDO, pour m'avoir accueilli au sein de son équipe. Cette expérience est venue concrétiser l'enseignement que j'ai reçu à 2iE (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement).

Pour leurs précieux conseils et leurs encouragements, je remercie :

Monsieur MESSAN Adamah, mon directeur de mémoire et enseignant-chercheur à 2iE

Monsieur SEBRE Ayouba, mon maître de stage, Conducteur principal des travaux du projet et Directeur Technique adjoint de COGEB SA.

Monsieur BASSAN Bayon, géotechnicien et chef du laboratoire de COGEB SA

Monsieur TALL Abdel Aziz, Ingénieur Etudes à COGEB SA

Madame KAMBIRE Audrey, Environnementaliste à COGEB SA

Monsieur OUEDRAOGO Grégoire, Ingénieur Projeteur à COGEB SA

Mes camarades promotionnaires Imer DEGBEY, Philémon BALIMA et Sayouba TIONO

RESUME

Le projet d'aménagement s'inscrit dans un programme global de réaménagement et de restructuration des voiries de la ville de Ouagadougou. Le projet est long de 4.4km et comporte un passage supérieur ; il permettra la fluidification de la circulation et le désenclavement de certains quartiers périphériques.

Le présent rapport s'attèlera à l'étude d'un tronçon (pk1+000 au pk2+250) du projet et comprendra les principaux éléments ci-dessus :

Une étude géotechnique a permis d'identifier les matériaux de notre sol support qui s'est révélé être de classe S4 et avec une classe de trafic T3 nous avons pu dimensionner la structure de chaussée : 05 cm de béton bitumineux, 10 cm de grave bitume en couche de base et 26 cm de lithostabilisation en couche de fondation.

L'étude topographique et géométrique a servi tout d'abord à numériser le profil topographique de la zone du projet pour ensuite concevoir la route dans les conditions de confort et de sécurité c'est-à-dire la réalisation du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers type.

Une étude hydrologique après avoir identifié les bassins versants et modéliser le système de drainage, a permis de déterminer les débits de projet (crue quinquennale) à utiliser pour dimensionner les ouvrages hydrauliques

Le calcul hydraulique vise à déterminer des sections d'ouvrages qui puissent évacuer les eaux dans des conditions hydrauliques favorables (fonctionnement en sortie libre). Le caniveau sera de section 180x160 et le dalot aura une section de 200x140.

Par la suite nous avons calculé les armatures nécessaires à la mise en œuvre de ces ouvrages et établi les plans d'exécution.

Une étude d'impact environnemental et social a été mise en œuvre et un rapport succinct sera présenté dans ce dossier. Une identification des impacts potentiels, suivi des mesures d'atténuation et de bonification et enfin un plan de réinstallation

Pour finir, une estimation du prix d'exécution du tronçon de voirie et des ouvrages hydrauliques sera effectuée. Pour cela, nous avons effectué des calculs de déboursés secs directs.

Le montant du marché de base est estimé à 19 122 333 468 FCFA HT et 24 322 912 596 FCFA TTC. Le projet est financé à hauteur de 94,99% par la BOAD et 5,01% par le budget de l'Etat Burkinabè.

Mots-clés :

Aménagement routier, structure de chaussée, sécurité routière, assainissement, déboursé direct.

ABSTRACT

The development project is part of an overall redevelopment program and restructuring of roads in the city of Ouagadougou. The project is 4.4km long and has an overpass; it will allow the thinning traffic and the opening of some suburbs.

This report will strive to study a section (pk1 + 000 to 250 + pk2) project and will include the key elements above:

A geotechnical study has identified the materials of our ground support which has proved S4 class with a traffic class T3 we could scale the pavement structure: 05 cm asphalt concrete, 10 cm bitumen serious base layer and 26 cm lithostabilisation foundation layer.

The survey and geometric served first scanning the geotechnical profile of the project area and then design the road in terms of comfort and safety that is to say the realization of the horizontal alignment, the longitudinal section and cross section types.

A hydrological study determined the rates (five-year flood) project to use for sizing hydraulic structures, having identified watersheds and model the drainage system.

The hydraulic calculation is to determine the sections of books that can evacuate the water under favorable water conditions. The gutter section will be 180x160 and 200x140 will scupper section.

Thereafter we will calculate the reinforcements necessary for the implementation of these works including the implementation plans

An environmental and social impact assessment has been implemented and a summary report will be presented in this case. Identification of potential impacts, monitoring of mitigation and enhancement measures and finally a relocation plan.

Finally, an estimate of the execution price of road section and hydraulic structures will be performed. For this, we performed calculations of direct dry disbursed.

The amount of the base market is estimated at 19,122,333,468 FCFA HT and 322 912 596 FCFA 24 TTC. The project is funded to the tune of 94.99% by BOAD and 5.01% from the budget of the Burkinabe State.

Keywords:

Road development, road structure, road safety, sanitation, direct disbursement.

LISTE DES ABBREVIATIONS ET SIGLES

COGEB : Construction Générale du Burkina
AGEIM IC : Agence d'Etude d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre – Ingénieurs Conseils
BOAD : Banque Ouest Africaine de Développement
2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie
DGIR : Direction Générale des Infrastructures Routières
APD : Avant-Projet Définitif
DAO : Dossier d'appel d'offres
CBR : California Bearing Ratio
WL : Indice de liquidité
IP : Indice de Plasticité
DGER : Direction Générale de l'entretien routier
CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières
TPC : Terre-plein central
BB : béton bitumineux
TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel
PL : Poids Lourd
LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France)
IGB : Institut Géographique du Burkina
ICTAVRU : Instructions sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines
SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
WGS 84 : World Geodetic System 1984
CIEH : Comité Inter africain d'Etudes Hydrauliques
BV : bassin versant
CD : caniveau droit
CG : caniveau gauche
DG : dalot gauche
DD : dalot droit
BAEL 91 : Béton Armé aux Etats limites, édition 1991
HA : haute adhérence
ELU : Etat limite ultime
ELS : Etat limite de service
CNRST : Centre National de Recherches Scientifiques et Technologiques
PGES : Plan de Gestion environnementale et sociale
PAP : Personne Affectée par le Projet
IST : Infections sexuellement transmissibles

SOMMAIRE

DEDICACE.....	2
REMERCIEMENTS.....	3
RESUME.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTES DES ABREVIATIONS ET SIGLES.....	6
SOMMAIRE.....	7
LISTE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES FIGURES.....	11
I. INTRODUCTION GENERALE	
II. PRESENTATION DU GROUPE ET DU PROJET	
1. PRESENTATION DU GROUPE COGEB INTERNATIONAL SA.....	13
2. PRESENTATION DU PROJET D'AMENAGEMENT.....	14
2.1. Localisation et présentation.....	14
2.2. Les acteurs et intervenants du projet.....	14
2.3. Contexte, justification et objectifs du projet.....	15
2.4. Description des travaux.....	15
III. DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE	
1. Sondages et essais d'identification du sol d'emprise.....	17
2. Le matériau d'emprunt.....	18
3. Le trafic.....	18
4. Calcul de la structure de chaussée.....	19
4.1. Composition de la structure de chaussée.....	19
4.2. Vérification des sollicitations.....	20
IV. ETUDES TOPOGRAPHIQUES ET GEOMETRIQUES	
1. Levés topographiques.....	25
2. La conception géométrique.....	25
2.1. Le tracé en plan.....	26
2.2. Le profil en long.....	26
2.3. Les profils en travers.....	26

2.4. Les cubatures : Terrassement et chaussée	27
2.5. Distance d'arrêt et visibilité.....	27
V. SECURITE ROUTIERE	
1. La signalisation routière : horizontale	28
2. La signalisation routière : verticale	29
3. Réseau d'éclairage public projeté.....	29
4. Calcul de l'éclairage.....	30
VI. ETUDE HYDROLOGIQUE	
1. Objectifs et méthodes de l'étude	33
2. Caractéristiques physiques de la zone d'étude	33
3. Principe de conception du réseau d'assainissement	34
4. Caractérisation des bassins versants.....	34
5. Détermination des débits de projet	36
5.1. Débits issus des bassins versants et de la chaussée	36
5.2. Le système de drainage	39
5.3. Résultats des débits de projet	41
VII. CALCULS HYDRAULIQUES ET PREDIMENSIONNEMENT	
1. Prédimensionnement du caniveau en Béton armé.....	42
1.1. Les hypothèses	42
1.2. Vérifications	42
2. Prédimensionnements des dalots.....	44
2.1. Hypothèses	44
2.2. Vérifications d'une section en sortie libre.....	44
2.3. Vérification d'une section en sortie noyée	45
VIII. CALCULS STRUCTURELS	
1. Normes et hypothèses.....	47
2. Calcul du caniveau CG12 180x160.....	48
2.1. Méthode de calculs	48
2.2. Les résultats des calculs.....	49

3. Calculs du dalot DG9 1x200x140	50
3.1. Méthode de dimensionnement.....	50
3.2. Résultats des calculs.....	51

IX. ETUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

1. Analyse de l'Etat environnemental d'avant-projet et des impacts potentiels.....	54
1.1. Etat des lieux	54
1.1. Politique environnementale du Burkina Faso.....	55
1.2. Politique environnementale de la BOAD	55
2. Plan de gestion environnementale et sociale du projet.....	55
2.1. Les mesures d'atténuation et de bonification	55
2.2. Surveillance et suivi	55
2.3. Planning et coûts des activités de mises en œuvre	56
3. Plan de réinstallation	56
3.1. Objectifs et principe de la réinstallation.....	56
3.2. Recensement des personnes et des biens.....	56
3.3. Evaluation des indemnisations et des compensations	57
3.4. Programme de la réinstallation, suivi et évaluation.....	57

X. ETUDE D'ESTIMATION FINANCIERE

1. Les ouvrages : dalot et caniveau – Avant-métrés	58
2. Le tronçon de chaussée.....	62

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 - Coûts des travaux.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 2 - Classification CEBTP des sols</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3 - Résultats des essais à l'emprunt.....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 4 - Structures de chaussée.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 5 - Modules des matériaux</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 6 - Résultats vérification 1 Structures chaussée</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 7 - Résultats vérification 2 Structure de chaussée</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 8 - Donnée profil en long</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 9 - Résultats des cubatures.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 10 - Distance et visibilité.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 11 - Caractéristiques des bassins versants</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 12 - Débit des bassins versants</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 13 - Débits des BV sur les caniveaux</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 14 - Pentés des chaussées</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 15 - Itération pour la section du caniveau</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 16 - Vérification débit capable caniveau</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 17 - Vérification longueur de décharge caniveau.....</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 18 - Formules de calculs hydrauliques dalot.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 19 - Vérification d'une section en sortie noyée</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 20 - Hypothèses sur les matériaux</i>	<i>47</i>
<i>Tableau 21 - Résultats Calculs de Structures du Caniveau.....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 22 - Charges sur le dalot.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 23 - Sollicitations du dalot</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 24 - Résultats calculs des structures du dalot.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 25 - Recensement des PAP.....</i>	<i>56</i>
<i>Tableau 26 - Avant-métré béton des ouvrages.....</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 27 - Aciers des ouvrages</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 28 - Hypothèses des prix des matériaux.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 29 - Hypothèses des prix du matériel.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 30 - Déboursé sec du caniveau</i>	<i>60</i>
<i>Tableau 31 - Déboursé sec du dalot.....</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 32 - Coûts travaux du tronçon de voirie</i>	<i>62</i>

LISTES DES FIGURES

<i>Figure 1 - Localisation du projet</i>	14
<i>Figure 2 – Résultats 1 ALIZE LCPC</i>	22
<i>Figure 3 - Résultats 2 ALIZE LCPC</i>	23
<i>Figure 4 - Les bassins versants</i>	35
<i>Figure 5 - Modélisation du système de drainage</i>	40
<i>Figure 6 - Section du caniveau 180x160</i>	48
<i>Figure 7 - Schémas de principe de calcul du caniveau</i>	49
<i>Figure 8 - Module du dalot 200x140</i>	50

I. INTRODUCTION GENERALE

Le réseau routier est l'un des principaux moteurs du développement économique. Il est d'autant plus essentiel pour les pays comme le Burkina Faso qui, étant enclavé, sert de zone de transit dans l'espace CEDEAO et de l'UEMOA. De plus chaque année la population de Ouagadougou croît de 7.6% environ. Elle est passée de 59 126 habitants en 1962 à 1.5 millions en 2006 et en 2011 elle était de 2 millions d'habitants (source : INSD). Cette croissance démographique affecte défavorablement le trafic urbain. Nous notons donc un besoin urgent en matière de fluidification du trafic routier et de désenclavement de certains quartiers périphériques.

C'est ainsi que dans le cadre du programme global de réaménagement de la ville de Ouagadougou, financé par l'Etat Burkinabè et la BOAD, ce projet a été lancé et l'exécution attribuée à l'entreprise COGEB avec AGEIM Ingénieurs Conseils, le maître d'œuvre.

Ce projet permettra à terme d'améliorer significativement le trafic urbain dans la zone du projet ce qui contribuera à diminuer les cas d'accidents. Le transit venant des villes et des pays voisins de l'Est et du Nord se trouve de plus faciliter.

C'est dans ce cadre que j'ai pu effectuer cette étude au sein de l'entreprise. Notre thème aborde l'aspect technique parce que nous effectuerons le détail de dimensionnement de la chaussée et des ouvrages. L'aspect « économique » est énoncé car étant en entreprise, nous allons estimer avec plus de détails les coûts des travaux à travers les calculs de déboursés directs.

Ce rapport sera structuré ainsi :

Dans le deuxième chapitre après l'introduction générale, nous ferons la présentation de l'entreprise attributaire et du projet.

Le dimensionnement du corps de chaussée sera fait au chapitre 3.

Le chapitre 4 traitera de l'étude hydrologique

Au chapitre 5 nous effectuerons les calculs hydrauliques et les prédimensionnements tandis que le chapitre 6 traitera des calculs de structures.

Au chapitre 7 nous présenterons le rapport d'études d'impact environnemental et social et nous terminerons par une étude d'estimation financière au chapitre 8.

II. PRESENTATION DU GROUPE ET DU PROJET

1. PRESENTATION DU GROUPE COGEB INTERNATIONAL SA

Le Groupe COGEB INTERNATIONAL est une Société Anonyme au capital de 500 millions FCFA créé en 1993 par l'actuel Administrateur Général monsieur Moctar MANDO. Le Groupe est inscrit au registre de commerce de la ville de Ouagadougou sous le n° BF-OUA-2004-B-2405.

Domaines d'activités :

Le groupe intervient dans divers domaines du génie civil et de l'eau tels que les routes, les bâtiments et travaux publics, les ouvrages hydrauliques, les aménagements hydro-agricoles et la production industrielle de granulats.

Le groupe possède des filiales que sont :

AFRIC IMMO : s'occupant principalement des constructions en bâtiment

AFRIC FORAGE: réalisation des forages

AFRIC CARRIERES: production et commercialisation de granulats industriels

AFRIC BETON: production et commercialisation de béton à la demande

La vision du groupe :

« Une Afrique émergente avec et par ses fils »

Les objectifs du groupe :

« L'accompagnement des acteurs au développement dans la conception et l'implémentation de projets d'infrastructures à travers : un savoir-faire acquis sur le terrain, une politique de développement des compétences africaines, une mise à disposition d'équipements et d'outillages industriels performants aux acteurs locaux, un respect scrupuleux des cahiers de charges, un souci permanent de la protection de l'environnement ».

L'Equipe de COGEB International

Le groupe est constitué d'un capital humain riche et varié en compétence. Composée de plusieurs nationalités, l'équipe comprend près de 50 cadres supérieures, 90 cadres moyens et techniciens, une trentaine d'agents de bureau et près de 800 ouvriers, manœuvres et temporaires.

Entreprise : COGEB International SA

Financement : BOAD 94.99%, Budget de l'Etat 5.01%

Délai d'exécution : Dix-huit (18) mois

2.3. Contexte, justification et objectifs du projet

La problématique de la gestion de la circulation dans la ville de Ouagadougou est due à l'urbanisation accélérée, l'accroissement de la population, le développement anarchique des activités économiques aux abords des voies, la dégradation avancée de certaines voies principales.

On note aussi la problématique de la sécurité au niveau de la section urbaine de la RN4 : les embouteillages aux heures de pointe, la recrudescence des accidents de circulation, et l'insécurité et agressions à certains endroits de la voie.

Partant de ces faits, l'objectif de ce projet entre dans le cadre du plan global d'aménagement infrastructurel de la ville de Ouagadougou et ce projet vise donc à désenclaver les zones périphériques de la ville en évitant les embouteillages aux heures de pointe. De plus, le type d'aménagement choisi permettra essentiellement de fluidifier la circulation ce qui diminuera les accidents et de faciliter les transits venant des villes de Fada N'gourma et de Kaya (route de Dori).

2.4. Description des travaux

Les travaux comprennent :

- le terrassement de la voie existante et l'aménagement en lieu et place d'une route bitumée 2x2 (4,4 Km) revêtue de béton bitumineux sur 5 cm d'épaisseur selon les tronçons. On note aussi l'aménagement de voies de contre allées
- L'aménagement de six (06) carrefours pour faciliter les dessertes sur les voies latérales
- La construction à l'intersection avec la RN03 d'un pont dalle en béton armé de 93 m de longueur dont 05 travées, avec des fondations sur pieux (15 m).
- L'aménagement de voies secondaires à l'échangeur.
- La mise en œuvre d'ouvrages d'assainissement comprenant des ouvrages de collecte d'eau (caniveaux), des ouvrages de traversées de chaussées et d'évacuation (dalots).
- Le rallongement d'ouvrages de drainage existant au droit des canaux de Zogona et de Wentenga
- Des aires de stationnement, 02 passerelles,
- Des travaux de signalisation et de sécurité, d'éclairage public et de réservation et confortation des réseaux divers
- Construction d'un laboratoire de chantier et des bureaux de la mission de contrôle.

2.5. Coûts des travaux

Les coûts des travaux s'élèvent comme suit :

DESIGNATIONS	MONTANT
Installation du chantier	1 721 987 486
Préparation du terrain	677 411 691
Terrassements généraux	1 880 958 714
Chaussée	1 787 787 430
Pont au carrefour de l'hôpital	2 362 296 269
Dalots transversaux	828 782 253
Passerelles	363 292 258
Ouvrages d'assainissement	1 902 599 650
Signalisation sécurité	842 942 939
Eclairage public	943 633 258
Déplacement et réservation de réseaux	1 690 291 110
Mesures environnementales et sociales	213 436 500
Montant total HT	19 122 333 468
TVA (18%)	3 710 274 803
MONTANT TOTAL TTC	24 322 912 596

Tableau 1 - Coûts des travaux

La présentation de l'entreprise et du projet faite, nous allons maintenant débiter l'étude de la route (pk 1+000 au pk 2+250) : conception, dimensionnement et sécurité. Ensuite nous étudierons les ouvrages hydrauliques

III. DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

Cette section étudie les matériaux du sol d'emprise et des sites d'emprunt afin de déterminer les caractéristiques et conditions de mise en œuvre : les zones et conditions de purge, les CBR, etc.

Nous étudierons également la structure de chaussée après avoir déterminé le trafic projeté.

1. Sondages et essais d'identification du sol d'emprise

Dans le but de mieux cerner le profil géotechnique et les caractéristiques physiques du sol d'emprise du projet, des études de sondages ont été effectuées par COGEB en tenant compte des recommandations issues des études d'APD menées par le maître d'œuvre (AGEIM).

Aussi, 54 sondages ont été effectués de part et d'autre de l'emprise du projet sur une profondeur de 1m chacun. Les maillages des sondages sont de 150 m avec des resserrements à 75 m en zones d'argiles compressibles. Les essais d'identification du sol qui ont été menés sont : la granulométrie, les limites d'ATTERBERG, la portance CBR, le Proctor modifié ; qui ont permis entre autre la classification du sol et de dresser un profil géotechnique.

Selon les recommandations faites suite à l'obtention des résultats des essais, les zones de CBR inférieure à 15 seront purgées sur une profondeur d'au moins 50 cm et remplacées par du matériau de CBR supérieure à 15. Il y'aura nettoyage des poubelles uniquement sur les zones de CBR supérieure à 15. C'est le cas notamment de de notre tronçon d'étude qui va du pk 1+000 au pk 2+250 (entre le carrefour du passage supérieur jusqu'au canal de Wemtenga, près de la MACO).

Classification du CEBTP

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

Tableau 2 - Classification CEBTP des sols

La classe retenue est donc S4 pour le sol support.

Voir les résultats des essais en annexe 1

2. Le matériau d'emprunt

L'emprunt est situé à Badnogo (après Saaba) à environ 23 km de la zone du projet. D'une superficie de 18 ha, le volume exploitable de l'emprunt est de 68 000 m³. Des extensions sont prévues et sont en études. 13 sondages ont été effectués selon des maillages de 100 m. Après un décapage de la terre végétale sur environ 12 cm de profondeur, les profondeurs de fouilles varient de 30 à 65 cm.

Les résultats des essais sont consignés dans le tableau suivant :

Numéro sondage	Référence Proctor		CBR à 96 heures d'imbibition		Limites plastique		Analyse granulométrique						Destination Possible	
	Densité sèche	Teneur en eau	95%	98%	WL	IP	20	10	5	2	0,5	0,08	PF>15; B>80	CF>30;
Exigence CPT														
1	2,22	9,0	74	102	23,50	9,6	90,5	59	38	30	24	16	fondation	
2	2,25	8,9	60	88	40,60	21,3	96	71	41,5	26,5	21,5	14,5	fondation	
3	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	négatif	
4	2,25	8,9	80	113	17,80	5,6	83	53	34	26,5	22	13	Base	
5	2,27	9,0	64	96	25,50	10,6	93	81,5	55,5	34	28	19,5	fondation	
6	2,28	9,4	56	76	29,30	13,6	88	72	48,5	31	26	20	fondation	
7	2,14	10,9	50	100	33,6	16,2	78	55	35,5	26,5	22,5	16,5	fondation	
8	2,23	9	74	98	20,2	7,4	93	82,5	56	40	30	12,5	fondation	
9	2,15	8,4	52	80	22,3	8,5	90,5	74,5	54	40,5	31	16,5	fondation	
10	2,2	9	76	102	27,8	12	99	91	68	36	27	18	fondation	
11	2,12	10,2	13	17	40,2	21	100	94	72	41	34	27	remblai	
12	2,21	9,2	60	88	33,8	16,9	92	81	55	36	28	18,5	fondation	
13	2,19	7,8	56	85	24	10,2	94	67	43	29	24,5	17	fondation	

Tableau 3 - Résultats des essais à l'emprunt

3. Le trafic

Le trafic utilisé est celui issu d'un comptage effectué en Mai 2014 par la DGER (Direction Générale pour l'Entretien Routier), dans le cadre de ce projet. Le trafic moyen journalier annuel des poids lourds sur la voie principale la plus chargée était de 283 par sens de circulation (Av. Komber Pademda)

Les hypothèses de calcul sont :

Année de mise en service : 2017

Durée de service : 15 ans

Taux de croissance linéaire annuelle 2014-2017 : 6%

Taux de croissance linéaire annuelle 2017-2029 : 4%

Il y'a baisse du taux de croissance du fait du développement d'autres projets similaires dans la zone. Et cela diminuera le trafic sur notre projet.

L'actualisation et le calcul du trafic seront faits en utilisant la formule de la croissance linéaire (tirée du CEBTP).

Actualisation du trafic

Données : i = taux d'accroissement, $n = 2017-2014 = 3$ ans

$$T0 = t0(1 + (n - 1) * i) = 283 * (1 + (3 - 1) * 0.06) = \mathbf{317/jr/sens}$$

Le trafic cumulé

$$Tc = 365 * n * t0 * \left(\frac{2 + (n - 1) * i}{2} \right) = 365 * 15 * 317 * \left(\frac{2 + (15 - 1) * 0.04}{2} \right) \\ = 2,2212557.10E06$$

Nous obtenons un trafic cumulé total des poids lourds de **2,2212557.10^{E05} (trafic de classe T3)** pour les voies principales et 4,3852^{E+04} (classe T1) pour la bretelle d'accès à l'hôpital et les contre allées.

4. Calcul de la structure de chaussée

4.1. Composition de la structure de chaussée

Le choix des matériaux pour la construction du corps de chaussée a été donc fait en fonction de la portance du sol support, du classe de trafic, des caractéristiques requises (décrites dans le CCTP) pour supporter les contraintes et de la disponibilité des emprunts dans les localités environnantes au projet (les emprunts de Saaba et de Yimdi).

La couche de forme sera constituée de graveleux latéritique.

En couche de fondation nous aurons également du graveleux latéritique naturel ou du graveleux latéritique amélioré aux concassés.

La couche de base sera soit en lithostabilisation (graveleux latéritique amélioré aux concassés) soit en grave bitume 0/14.

Le revêtement :

- L'imprégnation sur la couche de base plus la couche d'accrochage
- Couche de liaison d'enrobé bitumineux 0/10 d'une épaisseur de 05 cm
- Enrobé en grave bitume ou béton bitumineux

Revêtement en béton armé au niveau du giratoire de l'échangeur de l'hôpital

Revêtement en pavé pour trottoirs et TPC.

Sol S4 et trafic T3, nous proposons la structure suivante, sous réserve de vérification des contraintes et déformations.

	Proposition de l'APD officielle	Proposition de notre étude
Revêtement	Béton bitumineux 0/10, ép. 05 cm	BB 0/10, 5 cm
Couche de base	Grave bitume (0/14), ép. 10 cm	Grave bitume, 15 cm
Couche de fondation	Graveleux latéritique naturel amélioré a concassé, ép. 25 cm	Graveleux latéritique amélioré au concassé, 15 cm
Couche de forme	Graveleux latéritique naturel	Graveleux latéritique naturel

Tableau 4 - Structures de chaussée

L'indice de portance CBR des matériaux, selon les recommandations du CCTP et des résultats de l'étude de la plate-forme :

- Sol support : CBR = 15
- Couche de fondation : traitée, CBR = 60 et non traitée le CBR sera pris égal à 30.
- Couche de base : traitée au ciment, l'indice CBR sera au moins égal à 160

4.2. Vérification des sollicitations

Nous vérifierons la résistance au poinçonnement de la plate-forme en comparant la contrainte et la déformation verticales σ_z que nous calculerons avec ALIZE LCPC, par les valeurs admissibles σ_{zad} .

Si $\sigma_z > \sigma_{zad}$, nous pouvons changer de variante ou augmenter l'épaisseur de la chaussée.

▪ La contrainte admissible :

Elle est calculée pour les matériaux bitumineux, les matériaux traités aux liants hydrauliques et au ciment (plus de 4%). Ici nous la calculerons pour le béton bitumineux et le grave bitume.

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}; 25\text{Hz}) * \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b * \sqrt{\left(\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}\right)} * kc * kr * ks$$

Pour le grave bitume

Le CCTP recommande une teneur en liant (bitume) de 4.2%, cela correspond à un liant de classe 35/50 et le grave bitume est de classe 3 (GB3), on aura alors les valeurs suivantes :

- $\epsilon_6 \geq 90.10^{-6}$, $E \geq 9000\text{mpa}$, $k \geq 2.8$, $E(10^\circ\text{C}) = 12300$ et la température équivalente au Burkina (zone du centre) étant de 30°C , on a $E(\theta_{eq}) = 2700$.
- $SN = 0.3$, $kc = 1.3$ et $-1/b = 5$, $b = -0.2$

Sh = 0.025 si e ≥ 15 cm

- Notre sol support a un indice CBR = 15 donc le module $E = 5 * CBR = 75$, selon le classement notre sol support est de **classe PF2**, par conséquent **ks = 1/1.1 = 0.91**

- Calcul de k_r :

$$k_r = 10^{-ub\delta},$$

Le risque pour matériaux bitumineux (dans une structure usuelles) et pour un trafic T3 est de 25% et cela correspond à une valeur de $u = -0.674$.

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c * sh}{b}\right)^2} = \sqrt{0.3^2 + \left(\frac{2 * 0.025}{-0.2}\right)^2} = 0.39$$

On a donc **$k_r = 10^{-0.674 * 0.2 * 0.39} = 0.89$**

Le nombre d'essieux équivalent $NE = Tc * CAM = 2,22.10^6 * 0.8 = 1,78.10^6$

$$\text{et, ad} = 90.10^{-06} * \left(\frac{1,78.10E06}{10E06}\right)^{-0.2} * \sqrt{\left(\frac{12300}{2700}\right)} * 1.3 * 0.89 * 0.91 = 180.22 \mu\text{déf}$$

Pour e = 10 cm

Sh = 0.01 m, $\delta = 0.32$ et $k_r = 0.905$

et, ad = 183.26 μ déf

Pour le béton bitumineux

La teneur en bitume dans le BB est de 5.2% :

$$\varepsilon_6 \geq 100.10^{-6}, E(10^\circ C) = 7200, E(\theta_{eq}) = 1300$$

SN = 0.25, Sh = 0.01, b = -0.2, **kc = 1.1, ks = 1/1.1 = 0.91** et $u = -0.674$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c * sh}{b}\right)^2} = \sqrt{0.25^2 + \left(\frac{2 * 0.01}{-0.2}\right)^2} = 0.27$$

$k_r = 10^{-0.674 * 0.2 * 0.27} = 0.92$

$$\text{et, ad} = 100.10^{-06} * \left(\frac{1,78.10E06}{10E06}\right)^{-0.2} * \sqrt{\left(\frac{7200}{1300}\right)} * 1.1 * 1.47 * 0.91 = 193.12 \mu\text{déf}$$

▪ **La déformation verticale admissible**

La déformation est calculée pour les matériaux naturels, ceux améliorés aux concassés et les matériaux améliorés au ciment (2 à 3.5%).

Elle est calculée selon la formule suivante :

Pour un trafic $\leq T3$,

$$\varepsilon_{zad} = 12000 * (NE)^{-0.222} = 12000 * (2,22.10E06 * 1)^{-0.222} = 468 \mu\text{déf}$$

En récapitulatif :

Béton bitumineux : $\epsilon_{t,ad} = 193.12 \mu\text{d}\acute{e}f$

Grave bitume : $\epsilon_{t,ad} = 183.26 \mu\text{d}\acute{e}f$

Matériaux naturels : $\epsilon_{z,ad} = 468 \mu\text{d}\acute{e}f$

Retrouver les tableaux des données pour les calculs en annexe 2

▪ **Calcul des sollicitations normales et vérification sur ALIZE LCPC-SETRA**

ALIZE-LCPC ROUTES est un logiciel qui, conçu par le laboratoire central des ponts et chaussées (France), permet le calcul et la vérification des sollicitations mécaniques afin d'assurer un meilleur dimensionnement des structures de chaussées. Ce logiciel met en œuvre la méthode rationnelle développée par le Lcpc et le Sétra.

Données d'entrée :

Les épaisseurs de chaque couche de matériau

Les modules équivalents de Young

Les coefficients de poisson

La nature des contacts entre les couches de matériaux.

Le coefficient de poisson sera pris : $\nu = 0.35$

Toutes les interfaces entre les matériaux sont collées.

$E = 5 \cdot \text{CBR}$

Matériau	Module E
Grave bitume	1300
Grave latéritique amélioré au concassé	400
Grave latéritique naturel	75

Tableau 5 - Modules des matériaux

▪ **Vérification 1**

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT ($\mu\text{d}\acute{e}f$)	SigmaT (MPa)	EpsZ ($\mu\text{d}\acute{e}f$)	SigmaZ (MPa)
0,050	1300,0	0,350	0,000	96,7	0,303	31,3	0,659
			0,050	82,8	0,260	173,1	0,595
0,100	2700,0	0,350	0,050	82,8	0,522	25,3	0,595
			0,150	-215,9	-0,714	243,1	0,204
0,250	400,0	0,350	0,150	-215,9	-0,016	514,3	0,204
			0,400	-334,5	-0,170	373,1	0,040
infini	50,0	0,350	0,400	-334,5	-0,003	805,8	0,040

Figure 2 – Résultats 1 ALIZE LCPC

		Revêtement en BB, 05 cm	Couche de base grave bitume, 10cm	Couche de fondation amélioré concassé, cm	Couche de GLN au 25	Couche de forme graveleux latéritique naturel
Déformation verticale $\epsilon_{t,ad}$ ($\mu\text{déf}$)	Contrainte normale	-	-	514,3	373,1	
	Contrainte admissible	-	-	468	468	
	Remarque			Non	ok	
Contrainte verticale $\epsilon_{z,ad}$ ($\mu\text{déf}$)	Contrainte normale	82,8	215,9	-	-	
	Contrainte admissible	193,12	183,26	-	-	
	Remarque	ok	Non			

Tableau 6 - Résultats vérification 1 Structures chaussée

La contrainte est vérifiée pour le revêtement mais la déformation et la contrainte ne sont pas vérifiées dans la couche de base et de fondation : les sollicitations admissibles sont inférieures à celles normales.

Nous allons augmenter la couche de fondation et revérifier

▪ Vérification 2

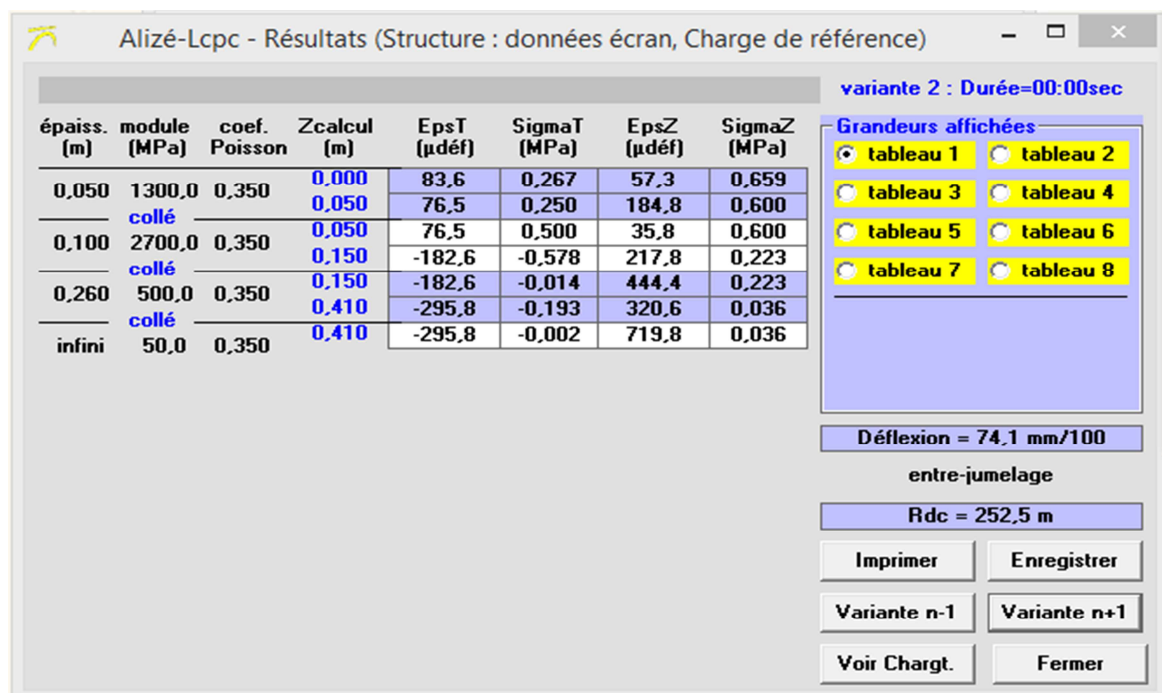


Figure 3 - Résultats 2 ALIZE LCPC

		Revêtement en BB, 05 cm	Couche de base en grave bitume, 15cm	Couche de fondation GLN amélioré au concassé, 25 cm	Couche de forme graveleux latéritique naturel
Déformation verticale $\epsilon_{t,ad}$ (qdéf)	Valeur normale	-	-	444,4	320,6
	Valeur admissible	-	-	468	468
	Remarque			Bon	Bon
Contrainte verticale $\epsilon_{z,ad}$ (qdéf)	Valeur normale	76,5	182,6	-	-
	Valeur admissible	193,12	183,26	-	-
	Remarque	Bon	Bon		

Tableau 7 - Résultats vérification 2 Structure de chaussée

Toutes les déformations et contraintes sont vérifiées, cette structure peut être retenue pour la mise en œuvre.

En somme nous aurons la structure suivante :

Revêtement : **béton bitumineux, épaisseur = 05 cm**

Couche de base : **Grave bitume, épaisseur = 10 cm**

Couche de fondation : **graveleux latéritique amélioré aux concassés, épaisseur = 26 cm**

Avec une déflexion de 74,1mm/100.

Les résultats de calculs sous Alizé Lpc-Setra sont également à retrouver en annexe 2

Cette étude nous a permis de déterminer la composition du corps de chaussée, nous allons maintenant passer à la conception géométrique de la route.

IV. ETUDES TOPOGRAPHIQUES ET GEOMETRIQUES

Dans cette partie, nous allons numériser les levés topographiques afin de réaliser la conception géométrique à savoir faire le tracé en plan et réaliser les profils en long et profils en travers type qui permettront d'exécuter les travaux de la voirie.

1. Levés topographiques

L'étude topographique est la première étape dans la conception d'une route. Les levés ont permis de numériser la zone du projet, et par la suite on a pu éditer le tracé en plan, le profil en long et les profils en travers.

Les levés fourniront tout d'abord d'avoir une représentation réelle des routes existantes sur le projet, de matérialiser le terrain naturel et les ouvrages concernés. Par la suite, cela permettra le calage et l'implantation de la ligne de projet et des ouvrages.

Les concepts de levés sont :

- Implantation d'une polygonale de base rattachée aux bornes de l'IGB.
- Le levé de chaque voie d'un profil en long à tous les 12,5 m en alignement droit et dans les courbes de raccordement.
- Les levés des profils en travers à l'ordre de 1/2000 et 1/1000 aux niveaux des courbes.
- Les levés tiendront compte des détails suivants : routes, pistes, carrefours existants, concessions, arbres, bas-fonds, plans d'eau, affleurements rocheux, dalots, caniveaux, fossés, élévations, bornes, panneaux, poteaux des réseaux et regards.

Les grands canaux : ils sont levés de part et d'autres suivant les points singuliers du profil en travers type sur une longueur d'environ 300 m.

Les caniveaux et fossés : des points caractéristiques seront pris. Un point sur le fil d'eau ou sur le radier de caniveau et deux points sur chaque bord de fossés ou sur les piédroits. Les levés seront effectués à l'échelle 1/500 avec une équidistance de 25 m ou à chaque variation de section de caniveau.

2. La conception géométrique

La géométrie d'une route est conçue en fonction de sa catégorie (notamment sa vitesse de référence) et du niveau de confort et de sécurité que l'on veut offrir aux usagers.

La norme utilisée pour les caractéristiques géométriques est l'ICTAVRU (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines, édition 2009). L'ARP (Aménagement des Routes Principales) sera aussi utilisé en complément.

Nous avons pu réaliser la conception à l'aide des logiciels **COVADIS 8** et **PISTE 5**. Il s'agit concrètement de numériser le semis des points et de réaliser les tracés et profils en fonction des caractéristiques de conception qui dépendent de la catégorie de voirie adoptée à savoir une vitesse de référence de 60 km/h.

La géométrie standard d'aménagement qui a été retenue :

- La chaussée : 2x10.5 m
- Les pistes cyclables : 3.5 m de part et d'autre de la chaussée
- Les trottoirs : 2 à 3m en moyenne de part et d'autre de la chaussée
- Le terre-plein central : 0.6 à 2.9 m
- Dalots cadres et caniveaux de sections rectangulaires en béton armé

2.1. Le tracé en plan

C'est la représentation dans un plan horizontal de l'axe de la route selon les coordonnées X, Y. ce tracé est une succession d'alignements droits et de courbes selon des distances minimales et des rayons minimaux.

La vitesse de référence retenue pour cet aménagement routier est de 60 km/h pour les voies principales. Par conséquent, nous avons un rayon minimal normal de 120 m et un rayon non déversé de 200 m. Pour les bretelles et contre allées, nous avons une vitesse de référence de 40 km/h. Le devers maximal est de 5% et en alignement droit 2.5%. Ce qui nous donne un rayon minimal absolu de 40 m et un rayon non déversé de 120 m.

Notre tracé en plan et le listing des profils se trouvent en annexe 3

2.2. Le profil en long

Nous avons les caractéristiques suivantes qui doivent être considérés pour apporter des conditions normales de confort, de sécurité et de visibilité pour une vitesse de référence de 60 km/h :

Pente et rampe moyenne	6%
Rayon normal en angle saillant	2500 m
Rayon minimal en angle saillant	1500 m
Rayon normal en angle rentrant	1500 m
Rayon minimal en angle rentrant	800 m

Tableau 8 - Donnée profil en long

La pente en profil en long est de 4.5%

Retrouver aussi le profil en long de notre tronçon (pk1+000 au pk 2+250) en annexe 3

2.3. Les profils en travers

Ce sont des coupes transversales de la chaussée faites en des points donnés (points de tabulation), présentant les dimensions, la structure de la chaussée, le calage des ouvrages et les dispositifs de sécurité.

Ces profils ont permis entre autre l'évaluation des cubatures.
Le devers normal est de 2.5% avec un maximal admissible en courbes à 5%.

Les profils en travers de notre tronçon sont en annexe 4

2.4. Les cubatures : Terrassement et chaussée

A la suite de la conception géométrique à travers laquelle nous avons pu déterminer les différents tracé et profils, nous avons fait ressortir les volumes de terrassement (remblais et déblais) et les quantités des différentes couches de chaussée de notre tronçon. Nous récapitulons les résultats dans le tableau ci-après :

	Remblais	Déblais	Fondation	Base	Roulement
PK 1+000	23 987,73	844,00	3 698,37	1 476,34	832,15
PK 2+250	55 375,91	2 499,22	10 260,93	4 082,08	2 135,02
Volume (m3)	31 388,18	1 655,22	6 562,56	2 605,74	1 302,87

Tableau 9 - Résultats des cubatures

Les détails des cubatures sont à retrouver aussi en annexe 4

2.5. Distance d'arrêt et visibilité

Nous donnons ici quelques valeurs pour assurer la sécurité des usagers. Ces valeurs sont données dans le document du SETRA en fonction des caractéristiques géométriques d'une route.

Dmd : distance de visibilité permettant au véhicule qui dépasse d'abandonner en freinant ou en poursuivant une manœuvre de dépassement amorcée, dans l'hypothèse où le véhicule adverse freine.

Rmd : rayon minimal en angle saillant permettant d'assurer une bonne visibilité lors d'une manœuvre de dépassement.

Distance d'arrêt	
Vitesse V	60 km/h
Longueur de freinage d0	35 m
Distance d'arrêt d	70 m
Distance d'arrêt sur sol ds	55 m
Visibilité de dépassement	
Distance de visibilité de dépassement	250 m
<i>Dmd</i>	120 m
Rayon en angle saillant de dépassement	6 500 m
<i>Rmd</i>	1 600 m

Tableau 10 - Distance et visibilité

Nous avons pu déterminer dans cette section, les caractéristiques géométriques pour mettre en œuvre la route. Dans la partie qui suit, il s'agira de préciser les conditions physiques pour assurer la sécurité et le confort des usagers.

V. SECURITE ROUTIERE

La finalité d'une route est de pouvoir assurer la sécurité et le confort des usagers. Et cela passe par l'ensemble du système de signalisation routière et de l'éclairage public que nous allons concevoir dans cette partie de l'étude.

1. La signalisation routière : horizontale

Elle constitue l'ensemble des marquages au sol, servant à indiquer soit les sens de circulation, soit à séparer les catégories d'usagers. Nous pouvons distinguer :

- Les marquages longitudinaux : axes, limites des chaussées
- Les marquages transversaux : qui sont en complément des panneaux
- Les marquages pour passages piétons.

Les types de lignes :

Désignation des lignes	Modulation (m)		Epaisseur (m)
	Long du trait	Long du vide	
Lignes continues			
Axial ou délimitation des voies	-	-	-
Axial ou délimitation à l'approche d'un îlot	-	-	-
Délimitation du TPC/îlot	-	-	-
Lignes discontinues			
Axial ou délimitation des voies T'1	1,5	5	12
Axial ou délimitation à l'approche d'un îlot T3	3	1,33	18
Rive hors carrefour T2	3	3,5	18
Rive dans carrefour T'3	20	6	18
Délimitation dans la bande cyclable	3	3,5	18
Délimitation des voies d'entrée/sortie ou entrecroisement T2	3	3,5	30
Lignes transversales			
ligne "STOP"	-	-	60
Passage pour piéton	0.5	0.5	250
ligne "CEDEZ LE PASSAGE" T'2	0,5	0,5	30

2. La signalisation routière : verticale

Ce mode de signalisation est constitué de panneaux :

- Panneaux de danger de type A : virages dangereux, limitations de vitesse, traversées de piétons
- Panneaux de renseignement de type B : obligations, zone de stationnement
- Les panneaux d'intersection et de priorité de type AB : arrêt obligatoire, cédez le passage.
- D'indication de type C : parking, stationnement autocars
- De direction et de localisation de type D : aux points d'échanges
- Balises de type J5 : aux principaux carrefours

3. Réseau d'éclairage public projeté

Cette étude consiste à réaliser un éclairage adéquat et suffisant des voies et la disposition des accessoires indispensables. L'objectif est de réduire les risques d'accidents, valoriser les espaces publics, diminuer l'éblouissement dû aux phares des véhicules.

Le réseau sera constitué de candélabres de 10 à 12 m équipés de luminaires type LED.

Standard des candélabres

	Voies principales	Bretelles
Disposition	1 ligne candélabres double foyers au TPC	Unilatéral de candélabres simple foyer
Type candélabres	<ul style="list-style-type: none"> • Luxe LICORNE ALICANTE de PETIT JEAN ou équivalents • CASSIOPE, BOREAL de VALMONT ou équivalents 	<ul style="list-style-type: none"> • Luxe LICORNE ALICANTE de PETIT JEAN ou équivalents • CASSIOPE, BOREAL de VALMONT ou équivalents
Hauteur candélabre	10 à 12 m	9 à 10 m
Type de luminaire	Oracle, Riviera, Marianne de THORN ou équivalents	Oracle, Riviera, Marianne de THORN ou équivalents
Type de lampe	LED	LED
Espacement de moyen	35 à 50 m	35 à 40 m
Luminance moyenne	2 candélas par m ²	2 candélas par m ²
Eclairement moyen	20 à 30 lux	20 à 30 lux

4. Calcul de l'éclairage

La méthode utilisée est donnée dans le « Guide pratique pour la conception géométrique des route et des autoroutes ». Ce calcul considère :

- Les caractéristiques géométriques de la voie à éclairer
- Le type de couche de roulement
- La disposition des candélabres
- Le type de luminaires
- Autres hypothèses :

Désignation	Valeur
Hauteur des candélabres (h)	10 – 12m
Espacement maximal des candélabres (e)	50
Disposition	Axial en présence de TPC Unilatéral ou bilatéral en absence de TPC et en fonction de la largeur de la chaussée
Facteur de luminance R (enrobé sombre)	25
Coefficient de vieillissement lampe (Vla)	0.83
Coefficient de vieillissement luminaire (Vlu)	0.95
Facteur d'utilisation (fu)	0.79
Luminance moyenne (Lm)	2cd/m ²
Protection de la lampe	oui

La formule du flux lumineux : nous la calculons pour une voie (3*3.5 = 10.5 m)

$$\Phi = \frac{R * l * e * L_m}{V_{la} * V_{lu} * f_u}$$

Avec l = largeur de la chaussée

$$\text{A. N: } \Phi = \frac{25 * 10.5 * 40 * 2}{0.83 * 0.95 * 0.79} = \mathbf{16\ 856.23\ lm}$$

Pour harmoniser, toutes les lampes seront des lampes DIFELIO STREET LIGHT PRO 6

Désignation	Valeur
Catégorie	LED
Modèle	DIFELIO STREET LIGHT PRO 6
Puissance LED	200W
Flux lumineux	18 000 Lm
Température de couleur	4000 K Blanc neutre
Indice de rendu de couleurs	Supérieure à 70
Angle de diffusion	130° batwing
Durée de vie	50 000h
Alimentation	100 – 240VAC
Puissance consommée	220W
Cos (phi)	Supérieure à 0.95
Température de fonctionnement	-40 / +55°C

Les candélabres seront en acier galvanisé à chaud et seront fixés en fondation en béton armé dosé à 350kg/m³.

Les candélabres simples crosses sont disposés sur les trottoirs et ceux à double ou triple croise sont implantés sur les TPC et latéraux et îlots directionnels.

Récapitulatif du dispositif sécuritaire sur notre tronçon d'étude:

PK	Proposition du DAO	Proposition de notre étude
1+025	<ul style="list-style-type: none"> Carrefour à sens giratoire Renseignant 	<ul style="list-style-type: none"> Carrefour à sens giratoire Renseignant
1+250	Cédez le passage	Cédez le passage
1+400		Sortie de véhicules
1+525		STOP
1+600	<ul style="list-style-type: none"> Contournement obligatoire STOP 	<ul style="list-style-type: none"> Contournement obligatoire STOP
1+625	<ul style="list-style-type: none"> Sens interdit 	<ul style="list-style-type: none"> Sens interdit
1+650	<ul style="list-style-type: none"> Renseignant 	<ul style="list-style-type: none"> Renseignant Station de pompage
1+675	STOP	STOP
1+700	<ul style="list-style-type: none"> Bande cyclable (CD) Fin de bande cyclable (CG) 	<ul style="list-style-type: none"> Bande cyclable (CD) Fin de bande cyclable (CG)
1+800	Arrêt pour autobus	Arrêt pour autobus
1+825	STOP	STOP
1+950	02 bandes cyclables	<ul style="list-style-type: none"> STOP 02 bandes cyclables
2+075	Arrêt pour autobus	Arrêt pour autobus
2+175	<ul style="list-style-type: none"> Fin de bande cyclable Bande cyclable 	<ul style="list-style-type: none"> Fin de bande cyclable Bande cyclable
2+220	Renseignant	Renseignant
Total	17 panneaux	21 panneaux

Tableau 11 - Dispositif sécuritaire

Les marquages sur le tronçon (passages pour piétons, limitations de voies, etc.) ont été comptabilisés à 3125 m

L'éclairage sur ce tronçon sera assuré par des candélabres double foyers sur les TPC et espacés de 50 m. Nous aurons donc 25 candélabres en tout sur ce tronçon.

Ici prend fin l'étude de la route, nous avons pu déterminer les différents paramètres pour la conception et la mise en œuvre des travaux de notre voirie. Nous entamons maintenant l'étude des ouvrages hydrauliques : conception, dimensionnement et plans d'exécution

VI. ETUDES HYDROLOGIQUES

Il s'agira ici de caractériser les bassins versants et de déterminer les débits de crue pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

1. Objectifs et méthodes de l'étude

L'étude hydrologique en matière de projet routier se résume principalement en l'étude des bassins versants pour mieux cerner les mouvements d'eau qui influera sur la voirie. Théoriquement, cela permettra le calcul des débits de projet en vue de la conception des différents ouvrages d'assainissement que sont généralement les caniveaux, dalots et cunettes. Le travail dans cette partie consistera tout d'abord à caractériser les bassins versants (superficie, périmètre, pente moyenne, longueur de l'écoulement maximal, les altitudes minimales et maximales). Ensuite, utiliser les méthodes appropriées pour déterminer les débits de projet issus de ces bassins versants et de la future chaussée.

2. Caractéristiques physiques de la zone d'étude

Relief et géologie

Le projet s'étend sur une pénéplaine et l'altitude de sa zone d'influence varie entre 280 et 310 m. on observe dans la région quelques point hauts constitués par des collines ou d'affleurements de roches nues.

Nature des sols

On distingue 04 types de sols rencontrés au niveau des plaines alluviales qui bordent le réseau hydrographique du Massili et ses affluents. D'abord les sols ferrugineux tropicaux à concrétion, ensuite on note les sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires (sables grossier avec de nombreuses concrétions). On observe également des sols bruns eutrophesvertiques (en faibles quantités). Et enfin les sols hydromorphes minéraux à pseudogley sur matériaux à textures variées qui sont des sols engorgés en surface ou sur l'ensemble du profil.

Végétation

Les écosystèmes de la zone sont : agraire (92%), arborée (2%), arbustive (2%), arbustive dégradée et bas fond (2%). On note aussi de la savane boisée.

Température

Elle varie entre 16 et 26 °C en période fraîche (Novembre – février) et 33 à 39°C pour la période chaude (mars, avril et Mai). L'évaporation moyenne à Ouagadougou est de 3029 mm/an. Les moyennes oscillent entre 7 et 8 mm/j pendant la saison sèche et chaude et entre 5 et 6 mm/j en saison fraîche. L'humidité relative varie entre 94% (saison pluvieuse) et 10% (saison sèche).

Vents

Le régime est fonction de la position du Front Inter tropical. Les vents du Sud-Ouest à Sud (vents de mousson relativement faibles) dominent en saison pluvieuse. En saison sèche les vents secs (harmattan) du Nord-Ouest à Est prédominent.

Hydrographie

La zone du projet est située dans le sous bassin du Massili. Ce réseau est densément composé de bas-fonds et d'affluents à régime pluvial tropical périodique et dépendant fortement des précipitations.

3. Principe de conception du réseau d'assainissement

L'hygiène et l'élimination des nuisances liées à l'eau sont les fonctions premières des réseaux d'assainissement. Par conséquent l'objectif du présent projet est d'évacuer les eaux pluviales de la zone d'aménagement et de mettre hors eaux les futures voies de circulation. Le principe consiste donc à concevoir un réseau linéaire permettant de drainer les eaux jusqu'aux exutoires (canaux ou dalots transversaux par exemple). Les caniveaux sont constitués de tronçons délimités par des nœuds amont et aval. Ces tronçons sont différenciés par leurs sections qui sont fonction des débits selon le nombre de sous bassin versants drainés (en série ou en parallèle).

Le système d'évacuation des eaux est conçu avec un réseau à écoulement à surface libre et totalement gravitaire. Les crues seront évacuées par des canaux à ciel ouvert

4. Caractérisation des bassins versants

Nous avons pu déterminer les bassins versants grâce à deux outils informatiques.

Google Earth : grâce à cette application de Google, nous avons pu récupérer le tracé routier du projet.

Global Mapper (pour la délimitation des bassins versants), nous avons les étapes de mise en œuvre ci-après :

- Charger le tracé routier que nous projetons en coordonnées UTM et le datum (modèle de données) est le WGS84.
- Charger les caractéristiques topographiques de la zone du projet
- Générer les courbes de niveaux de la zone correspondante : nous retenons un intervalle d'altitude de 03 m
- Générer les bassins versants : sont à considérer les bassins de superficies supérieures à 01 ha étant donné que nous sommes en relief plat, les filets d'eau supérieurs à 05 m. Et la dépression maximale en un point est de 05 m. le logiciel fait ressortir les filets d'eau correspondant à notre zone de projet et trace en fonction de ceux-ci les sous bassins versants. Il nous revient de délimiter les bassins versants en fonction des exutoires du projet.

Ci-après, les bassins versants obtenus et leurs caractéristiques :

Bassins Versants	Superficie (km ²)	Superficie (ha)	Périmètre (km)	COTE MAX (m)	COTE MIN (m)	Pente (%)	Chemin hydraulique (m)
BV1	0,0495	5,0	2,236	300	293	1,72	516,99
BV2	0,1242	12,4	3,828	303	290	2,02	1040
BV3	0,2520	25,2	5,896	303	287	1,75	1438
BV4	0,1238	12,4	4,752	301	289	1,53	1174
BV5	0,2940	29,4	4,395	301	290	1,20	1281
BV6	0,1307	13,1	1,842	296	292	1,11	341,26
BV7	0,0610	6,1	1,499	293	288	2,02	64,231
BV8	1,2800	128,0	6,615	296	285	0,97	2,07
BV9	0,0307	3,1	784,62	298	291	3,99	5
BV10	0,7720	77,2	5,326	298	284	1,59	1224
BV11	0,0480	4,8	1,331	298	292	2,74	5
BV12	0,0378	3,8	1,094	299	292	2,79	83,381
BV13	0,0502	5,0	1,518	297	294	1,34	5
BV14	0,2063	20,6	2,314	298	287	2,42	534,58
BV15	0,0334	3,3	828,61	293	283	5,47	198,92
BV16	0,0145	1,4	594,59	293	288	4,16	5
BV17	0,0056	0,56	0,67	296,76	287,59	12,25	257,36

Tableau 12 - Caractéristiques des bassins versants

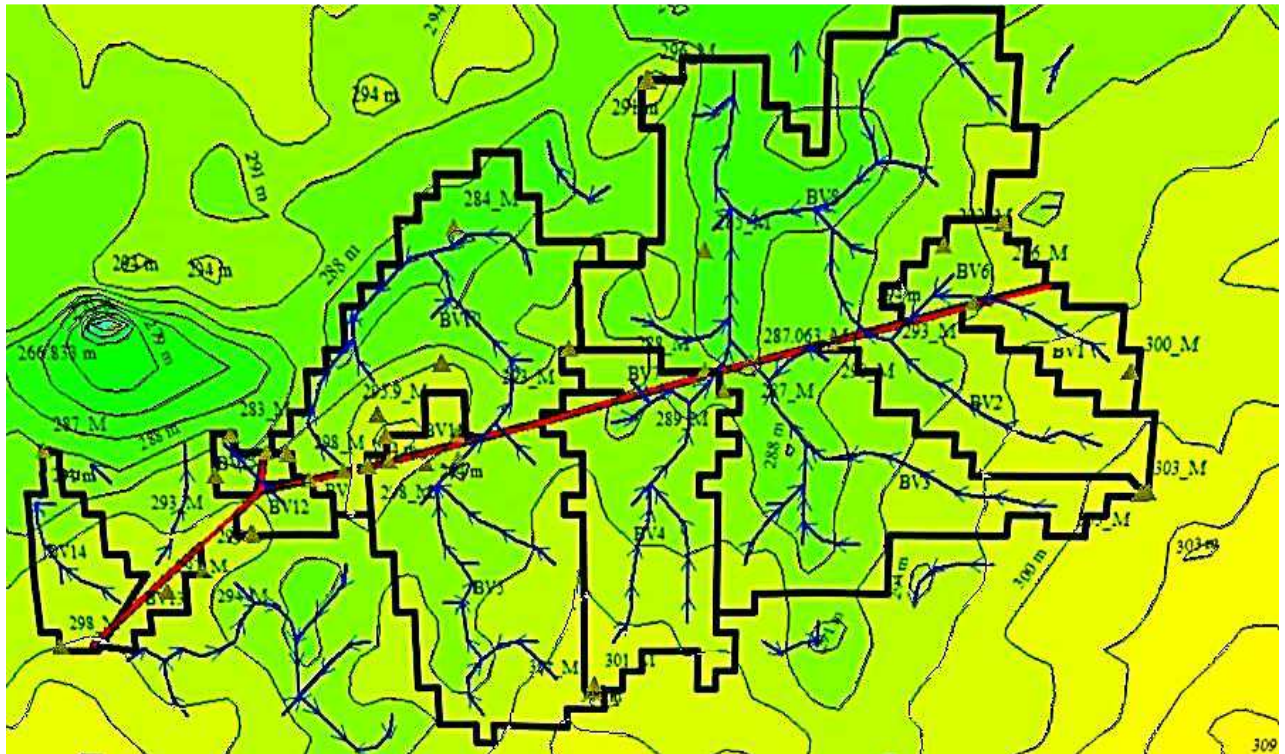


Figure 4 - Les bassins versants

5. Détermination des débits de projet

Nous calculerons dans un premier temps les débits issus des bassins versants environnants. Par la suite nous déterminerons les débits issus des chaussées. Vue le profil topographique de la zone du projet, nous constatons que les caniveaux gauches (du côté gauche de la chaussée existante) ne drainent que les eaux de la chaussée gauche tandis que les caniveaux droits drainent et les eaux des bassins versants et les eaux des chaussées droites. Par la suite, nous déterminerons les débits de calcul des ouvrages d'assainissement en fonction de la disposition (parallèle ou en série) des sections des ouvrages

5.1. Débits issus des bassins versants et de la chaussée

La formule de Caquot a été recommandée par le « schéma directeur d'assainissement pluvial de la ville de Ouagadougou » et a été retenue pour l'évaluation du débit de crue. Cette formule dérive de la méthode rationnelle qui a été adaptée aux données de la ville de Ouagadougou avec des coefficients propres.

Les conditions d'application sont : des bassins versants avec des superficies d'au plus 400 ha (4 km²) et des pentes comprises entre 0,2 et 5%.

La formule a été adaptées aux conditions régionales par le CIEH et les coefficients de Montana ont été considérés pour une durée inférieure à 1h pour l'ensemble du réseau.

On a l'expression finale pour une durée de retour de 5 ans qui a été obtenue par interpolation des formules pour des temps de retour de 1 et 10ans :

$$Q_5 = 2.03 * I^{0.23} * A^{0.82} * C^{1.16}$$

C : coefficient de ruissellement

I : pente moyenne du réseau sur le plus long chemin hydraulique (m/m)

A : superficie du bassin versant (ha)

Choix de la période de retour

La fréquence des débits de crue choisie pour protéger les ouvrages est de 5 ans. Ce choix est lié essentiellement à des raisons économiques : le coût de la mise en œuvre et d'entretien est à comparer au risque économique que pourrait représenter un débordement du réseau. Par conséquent les caniveaux qui sont de classe secondaires de même que les ouvrages de franchissement sont conçus avec des périodes de retour de 5 ans. Ce choix fera l'objet d'une critique dans notre partie des recommandations

Le coefficient de ruissellement

Compte tenu de la taille des sous bassins versants et du fait que l'on soit en milieu urbain, ce coefficient pris égal à 0.66 et tient compte du standing de la zone après aménagement définitif

et a été recommandé par le « Schéma directeur d'assainissement pluvial de la ville de Ouagadougou ».

Pour les chaussées revêtues le coefficient retenu est de 0,8. Il est de 0,85 pour les surfaces pavées (trottoirs) et de 0,15 pour les zones terreuses (reprofilages).

Les pentes

Au niveau des voiries, la pente de la chaussée principale, des contre allées et bandes cyclables est de 2,5%. Et pour les trottoirs et zones de reprofilage on a une pente de 1% (Cf. Plans Profils types)

Tableau : Débit des bassins versants

BV	Superficie (ha)	Pente (m/m)	Débit de crue (m3/s)
BV1	5,0	0,017	1,829
BV2	12,4	0,020	4,032
BV3	29,4	0,017	7,904
BV4	12,4	0,015	3,770
BV5	29,4	0,012	7,252
BV6	13,1	0,011	3,661
BV7	6,1	0,020	2,252
BV8	128,0	0,010	23,082
BV9	3,1	0,040	1,501
BV10	77,2	0,016	17,082
BV11	4,8	0,027	1,984
BV12	3,8	0,028	1,637
BV13	5,0	0,013	1,745
BV14	20,6	0,024	6,374
BV15	3,3	0,055	1,727
BV16	1,4	0,042	0,816
BV17	0,56	0,123	0,481

Tableau 13 - Débit des bassins versants

Par la suite on a réparti les débits des bassins versants pour les caniveaux qui drainent les eaux de ces bassins. Les caniveaux étant disposés le long des bassins, le calcul sera fait selon l'hypothèse que les débits sont proportionnels à longueur de chaque caniveau. Cela nous a permis d'avoir le tableau suivant :

Bassins versants			Caniveaux (Droits, CD)			
Désignation	Débits (m3/s)	Superficies (m ²)	Caniveaux	Longueur (m)	Superficies BV correspondant (m ²)	Débits (m3/s)
BV13	1,745	50200,0	CD1	118,00	13386,36	0,465
			CD2	72,06	8174,76	0,284
			CD3	23,60	2677,27	0,093
			CD4	17,20	1951,23	0,068
			CD5	211,65	24010,37	0,835
BV12	1,637	37800,0	CD7	307,09	37800,00	1,637
BV9	1,984	30730,0	CD8	149,80	30730,00	1,984
BV5	7,252	294000,0	CD9	244,77	64119,31	1,582
			CD10	30,96	8110,20	0,200
			CD11	39,91	10454,72	0,258
			CD12	227,97	59718,42	1,473
			CD13	289,61	75865,48	1,871
			CD14	242,17	63438,22	1,565
			CD15	46,93	12293,66	0,303
BV4	3,770	123800,0	CD16	156,40	54059,02	1,646
			CD17	201,77	69740,98	2,124
BV3	7,904	252000,0	CD18	19,58	20975,45	0,658
			CD19	127,95	137068,89	4,299
			CD20	87,71	93955,66	2,947
BV2	4,032	124170,0	CD20	87,71	27110,27	0,880
			CD21	146,68	45339,88	1,472
			CD22	167,32	51719,86	1,679
BV1	1,829	49500,0	CD23	130,32	49500,00	1,829
BV17	0,481	5600,0	DD18	64,12	5600,00	0,481

Tableau 14 - Débits des BV sur les caniveaux

Les eaux venant de la chaussée

La détermination de ces écoulements se fait avec la même formule mais en utilisant les pentes de la chaussée (déclivités des profils types) et des coefficients de ruissellement différents.

	Pentes (m/m)	Coefficient de ruissellement
Chaussée principale, contre allées et bandes cyclables	0.025	0.8
Les trottoirs	0.01	0.85
Les zones de reprofilage	0.01	0.15

Tableau 15 - Pentes des chaussées

5.2. Le système de drainage

La plus part des caniveaux sont en série avec des dalots, ceux-ci servant de passage pour emprunter les voies latérales. Et pour permettre l'évacuation dans les exutoires que sont les canaux de Zogona et de Wemtenga, nous avons des traversées de chaussées qui sont en parallèle avec d'autres dalots et caniveaux. La modélisation de ce système de drainage nous a permis de déterminer les débits réels, après tous les calculs précédents, issus des dispositions en parallèles ou en série des ouvrages.

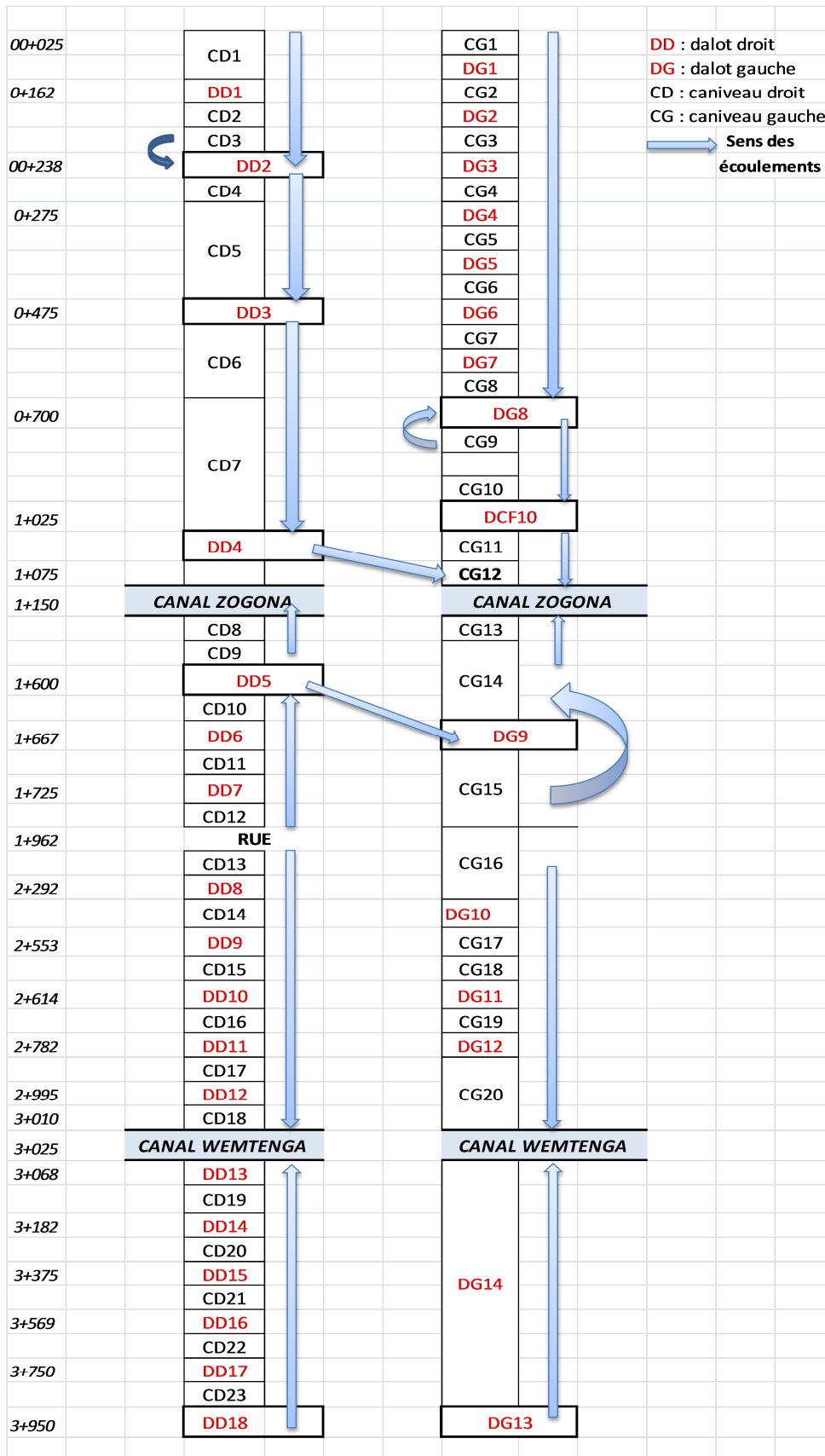


Figure 5 - Modélisation du système de drainage

5.3. Résultats des débits de projet

Ce sont les débits qui seront utilisés pour les dimensionnements des ouvrages :

Caniveaux droits	Débits (m3/s)	Caniveaux gauches	Débits (m3/s)	Dalots Droits	Débits (m3/s)	Dalots Gauches	Débits (m3/s)
CD1	0,6873	CG1	0,199	DD1	0,687	DG1 80x80	0,199
CD2	1,055	CG2	0,338	DD2	1,162	DG2 80x80	0,338
CD3	0,108	CG3	0,388	DD3	2,277	DG3 80x80	0,388
CD4	0,079	CG4	0,448	DD4	6,526	DG4 80x80	0,448
CD5	2,277	CG5	0,526	DD5	4,095	DG5 80x80	0,526
CD6	4,077	CG6	0,734	DD6	3,770	DG6 80x80	0,734
CD7	6,526	CG7	0,983	DD7	2,215	DG7 80x80	0,983
CD8	2,698	CG8	1,360	DD8	1,983	DG8 80x80	1,430
CD9	0,507	CG9	0,070	DD9	2,647	DG9 200x140	4,095
CD10	4,095	CG10	1,550	DD10	4,387	DG10 80x80	0,336
CD11	3,770	CG11	1,591	DD11	6,754	DG11 80x80	0,698
CD12	2,215	CG12	8,556	DD12	7,818	DG12 80x80	0,876
CD13	1,983	CG13	4,846	DD13	10,878	DG13 250x140	1,426
CD14	2,647	CG14	4,726	DD14	7,602	DG14 250x140	3,071
CD15	4,387	CG15	0,355	DD15	6,373		
CD16	6,754	CG16	0,336	DD16	4,599		
CD17	7,818	CG17	0,529	DD17	2,583		
CD18	12,177	CG18	0,698	DD18	0,481		
CD19	10,878	CG19	0,876				
CD20	7,602	CG20	1,319				
CD21	6,373						
CD22	4,599						
CD23	2,583						

Nous avons obtenu dans cette étude, les crues de projet après détermination des bassins versants et modélisation du système de drainage. Ces résultats nous permettront dans la partie suivante de procéder au prédimensionnement des ouvrages.

VII. CALCULS HYDRAULIQUES ET PREDIMENSIONNEMENTS

L'étude hydraulique a pour but de déterminer des sections d'ouvrages adéquates permettant de véhiculer les débits de crues à la vitesse convenable.

1. Prédimensionnement du caniveau en Béton armé

1.1. Les hypothèses

L'étude que nous effectuons ici se repose sur les hypothèses énoncées dans l'Avant-Projet Définitif conçu par le bureau d'étude (AGEIM Ingénieurs Conseils) et le CCTP, conçu par le Maître d'ouvrage délégué.

Ces ouvrages sont conçus à priori en sortie libre. L'écoulement est gravitaire, par conséquent nous utiliserons les pentes du terrain naturel. Les vitesses d'écoulement sont comprises entre 1 m/s et 3.5 m/s du fait de la nature de l'ouvrage (en béton armé) et des faibles pentes ; et aussi pour éviter les dépôts (vitesses faibles) et l'érosion (vitesses très élevées). Le coefficient de Manning Strickler K_s est pris égal à 70 pour ces ouvrages en béton armé.

1.2. Vérifications

Le prédimensionnement débute par les itérations pour trouver des sections favorables. Partant des dimensions retenues par le bureau d'étude notamment la largeur du caniveau, nous utilisons la méthode de la débitance (méthode découlant de la formule de Manning Strickler) pour déterminer les tirants d'eau et donc les hauteurs de caniveau avec la revanche. Cette dimension obtenue, nous vérifions alors la vitesse d'écoulement.

$$Q = K_s * S * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I} \Rightarrow \frac{Q}{\sqrt{I}} = K_s * S * Rh^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{La débitance } D = K_s * S * Rh^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{La revanche } r = 0.2 + 0.15 * Q^{\frac{1}{3}}$$

Itération pour le Caniveau Gauche **CG12 180x160**

$$Q = 8,56 \text{ m}^3/\text{s} \quad I = 0,0039$$

yn	b	Q/vi	D	erreur	V (m/s)
0,9	1,5	137,7	52,0769	85,62317	6,370
0,6	1,5	137,7	30,2872	107,4128	9,555
0,7	1,5	137,7	37,3378	100,3623	8,190
1	1,5	137,7	59,6859	78,0142	5,733
1,1	1,8	137,7	86,7295	50,97059	4,343
1,2	1,5	137,7	75,2505	62,4496	4,777
1,4	1,5	137,7	91,1629	46,53721	4,095
2,1	1,5	137,7	148,491	-10,7906	2,730

Tableau 16 - Itération pour la section du caniveau

Nous pouvons retenir des dimensions de **180x160** avec une **revanche de 50 Cm**.

Nous vérifions maintenant le débit capable $Q_c : Q_c \geq Q_p$

	Qp (m3/s)	penne (m/m)	Sections	b (m)	yn (m)	r (m)	V (m/s)	Qc (m3/s)
CG12	8,559	0,0039	180x160	1,8	1,1	0,5	2,99	8,72

Tableau 17 - Vérification débit capable caniveau

On a donc $Q_c = 8.72 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_p = 8.559 \text{ m}^3/\text{s}$ par conséquent on a bien $Q_c \geq Q_p$

Maintenant nous vérifions le débit à la décharge. Les longueurs de décharge n'ont pas été calculées mais ont été déterminées en fonction des contraintes d'exploitation par les usagers. Par conséquent il nous revient de vérifier que les débits qui seront déchargés n'atteignent pas les limites supportables par les caniveaux. En somme, le débit à la décharge Q_d doit toujours être inférieur au débit Q_c .

$$Q_d = Q(L) = f(L, l, i) = \frac{L * l * i}{3,6.10E^06} = \frac{S * i}{3,6.10E^06}$$

L : longueur de décharge (m), l : largeur de la zone drainée (m), S : surface drainée (m²)

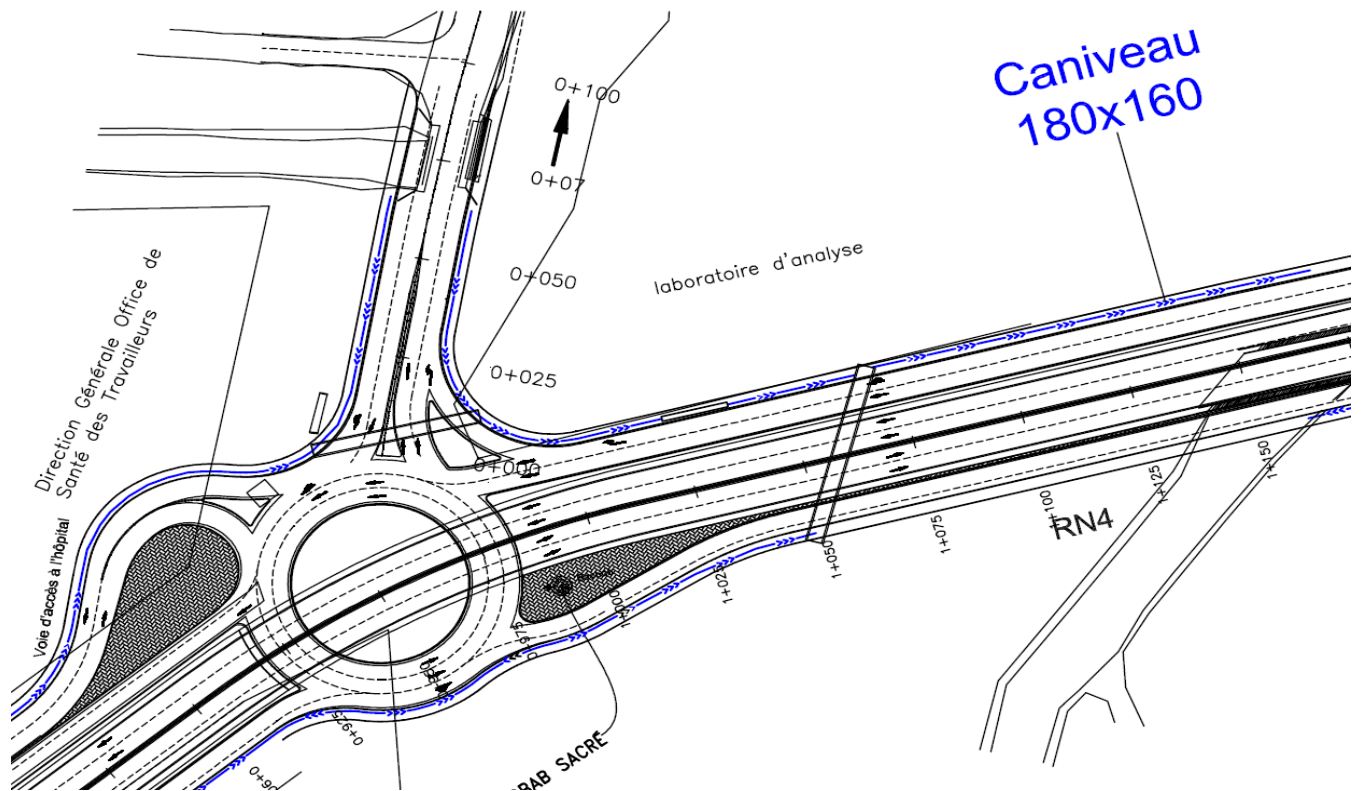
Et i : intensité de pluie = 154,87 mm/h.

	Longueur de décharge (m)	Surfaces (m ²)	Débit à la décharge (m3/s)	la Qd	Débit capable Qc (m3/s)	Vérification Qd ≤ Qc
CG12	100,43	1009,32	0,043		8,72	Bon

Tableau 18 - Vérification longueur de décharge caniveau

En conclusion, ce caniveau gauche **CG12** de dimensions **180x160** pourra évacuer sans encombre son débit de crue Q_p à la vitesse de **2,99 m/s**. toutes les conditions hydrauliques sont vérifiées nous pouvons passer au calcul structurel.

Emplacement du caniveau



2. Prédimensionnements des dalots

2.1. Hypothèses

Pour le mode de fonctionnement, l'hypothèse de départ est que les sections soient en sortie libre ; si elle n'est pas vérifiée, nous vérifions alors l'hypothèse de sortie noyée. Si cette hypothèse ne tient pas non plus, nous modifions les sections pour ensuite revérifier les hypothèses.

Les vitesses d'écoulement sont comprises entre 1 m/s et 3,5 m/s.

2.2. Vérifications d'une section en sortie libre

Partant de cette même hypothèse (sortie libre), nous calculons la profondeur d'eau normale (y_n) pour vérifier qu'elle est bien inférieure à la hauteur h de l'ouvrage (dimension provisoire) et ensuite nous vérifions la vitesse d'écoulement.

Pour ces calculs, nous utiliserons les abaques de la méthode des variables adimensionnelles du BCEOM (cf. Cours Hydraulique Routière, Dr BIAOU, 2iE) pour déterminer la profondeur d'eau normale, la pente critique et la vitesse d'écoulement. Les formules suivantes sont utilisées :

$Q1^* = \frac{Qp}{h * l * \sqrt{2 * g * h}}$	$Q2^* = \frac{Qp}{\sqrt{2 * g * l^5}}$	$Q3^* = \frac{Qp}{Ks * \sqrt{Ic} * l^{8/3}}$
$\Rightarrow h^*$	$\Rightarrow Ic^*$	$\Rightarrow V^*$
$yn = H * h^*$	$Ic = \frac{g * Ic^*}{Ks^2 * \sqrt[3]{l}}$	$V = Ks * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{l} * V^*$

Tableau 19 - Formules de calculs hydrauliques dalot

Calcul avec le Dalot Gauche **DG9 1x200x140**

Le débit de projet est de 4,095 m³/s

La largeur provisoire est de 2 m et la hauteur 1,4 m.

Calcul de la profondeur d'eau normale yn

La variable adimensionnelle : $Q1^* = 0.276$

Avec cette valeur, nous lisons sur l'abaque pour dalots rectangulaires sans mur en aile, la valeur correspondante de la hauteur réduite :

On a $h^* = 0.92$ donc **yn = 1.29 m < h**

Calcul de la pente critique

La deuxième variable adimensionnelle : $Q2^* = 0.229$

Permet d'avoir sur l'abaque la pente réduite : $Ic^* = 2.95$

Ainsi on aura : **Ic = 0,00478 m/m**

Calcul de la vitesse d'écoulement

La troisième variable adimensionnelle : $Q3^* = 0.133$

On a alors avec l'abaque : $V^* = 0.415$

La section mouillée donne : $S = 2 * 1,29 = 2,58$ m² et le périmètre mouillé :

$P = 2 * 1,29 + 2 = 4,58$ m

Et le rayon hydraulique : $Rh = 0,563$ m

On a donc : **V = 1.37 m/s**

2.3. Vérification d'une section en sortie noyée

- Exemple de calcul selon la procédure précédente avec le dalot droit **DD13 150x150**

	Débit m ³ /s	Q1*	Hauteur réduite H*1	Profondeur d'eau (m)	Q2*	Pente réduite Ic*	Pente critique (m/m)	Q3*	Vitesse réduite V*	Vitesse réelle (m/s)
DD13 150x150	10,88	0,883	2,5	3,75	1,248	4,7	0,0084	0,576	0,49	1,98

Tableau 20 - Vérification d'une section en sortie noyée

Nous obtenons bien que :

yn > h, la sortie est bien noyée

- Vérification de la hauteur de revanche

La section étant en sortie noyée, nous allons vérifier si la revanche disponible est assez suffisante pour éviter une submersion de la chaussée par l'eau.

La revanche $r = h_r - (h_{av} + \Delta H)$

Dans la conception adoptée, et après calage, la surface supérieure des ouvrages est confondue avec le terrain naturel. Par conséquent on aura :

La revanche $r = h_r - \Delta H$

La hauteur de remblais $h_r = \text{côte projet} - \text{côte TN} = 287.04 - 286.35 = 0.69 \text{ m}$

La perte de charge entre l'entrée et la sortie de l'ouvrage est:

$$\Delta H = \left(\frac{Q}{2 * g * S^2} \right) * \left(K_e + \frac{2 * g * l}{K_s^2 * R_h^3} + 1 \right)$$

$K_e = 0.2$ (mur de tête à bords chanfreinés) est le coefficient de perte de charge à l'entrée

$K_s = 1$ est le coefficient de perte de charge à la sortie de l'ouvrage.

La surface mouillée $S = 1.5 * 1.5 = 2.25 \text{ m}^2$

Le périmètre mouillé $P = 2 * (1.5 + 1.5) = 6 \text{ m}$

On a donc le rayon hydraulique $R_h = 0.375 \text{ m}$.

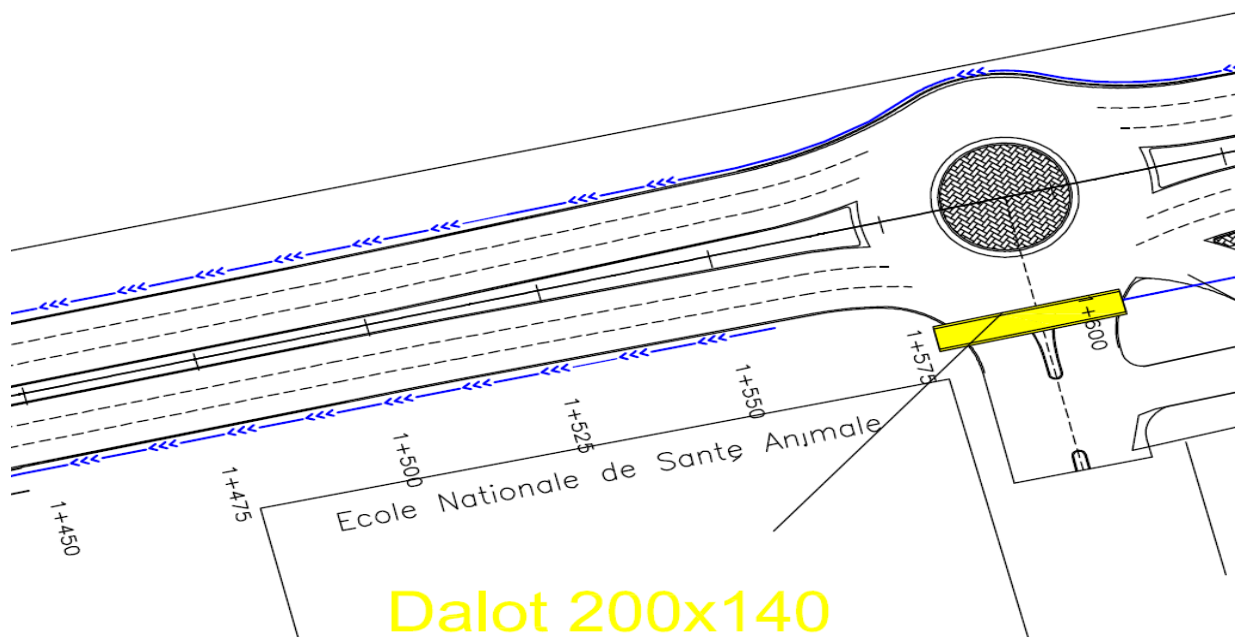
La perte de charge est : $\Delta H = 0.5072 \text{ m}$.

Cela nous donne une revanche $r = 0.183 \text{ m}$

On conclut donc qu'il y a une revanche disponible évitant la submersion de la chaussée.

Les conditions hydrauliques étant remplies, nous pouvons aborder maintenant les calculs structurels pour établir les plans d'exécution.

Emplacement du dalot



VIII. CALCULS STRUCTURELS

Dans cette partie nous allons déterminer les sections d'armatures des ouvrages et établir les plans d'exécution à savoir les plans de ferrailage et de coffrage.

1. Normes et hypothèses

- Etant en présence d'ouvrages hydrauliques, les normes utilisées dans cette étude seront tirées du Fascicule 61 Titre II pour les règles définissant les chargements à considérer.
- Les règles de calcul en béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99.
- Nous considérons que la fissuration est préjudiciable.
- La traverse et le radier sont calculés en flexion simple
- Du fait de poussées de terre et surcharge s'appliquant sur le tablier et piédroits, les piédroits seront dimensionnés en flexion composée
- *Hypothèses sur les matériaux utilisés :*

BETON		ACIER		REMBLAIS	
Résistance en compression fc28 (Mpa)	25	Nuance HA, FeE	400	Poids volumique γ (kN/m3)	20
Dosage minimal en ciment (kg/m3)	350	Contrainte de calcul (Mpa) Fsu = Fe/1.15	347,83	Coefficient de poussée des terres Ka	0,375
Résistance en traction ftj (Mpa) = 0.6+0.06*fc28	2,1	Fissuration	Préjudiciable	Angle de frottement interne (°C)	30
Contrainte limite du béton ELU fbu (Mpa) = (0,85*fc28)/1.5	14,17	Contrainte limite acier ost	201,63	Surcharges sur remblais qo (kN)	10
Contrainte limite du béton ELS, σbc = 0.6*fc28 (Mpa)	15	Enrobage (m)	0,03	Epaisseur d'enrobé	5cm
				Poids volumique enrobé	22 kN/m3
Poids volumique du béton (kN/m3)	25	Masse volumique (kg/m3)	7850	Epaisseur étanchéité	2cm
				Poids volumique étanchéité	24 kN/m3
		Moment réduit de l'acier μl	0,392		

Tableau 21 - Hypothèses sur les matériaux

2. Calcul du caniveau CG12 180x160

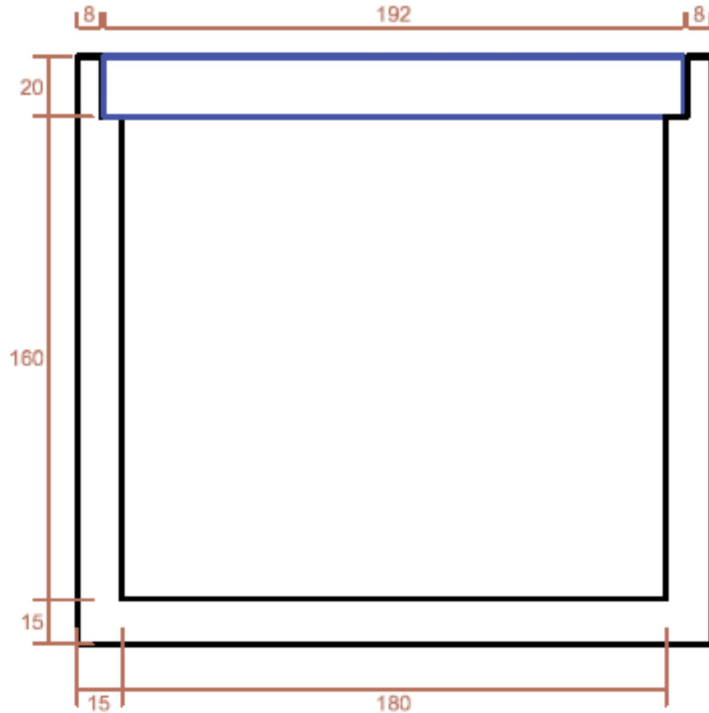


Figure 6 - Section du caniveau 180x160

2.1. Méthode de calculs

La dalette

Elle est calculée sous l'hypothèse d'une charge concentrée d'une roue isolée de 06 tonnes soit 60Kn (CCTP). Les sollicitations et combinaisons de calculs sont donc issues des efforts de la charge d'exploitation qu'est la roue et de la charge permanente qui est le poids propre de la dalette. Les aciers seront calculés à l'ELS et à la rupture et nous retiendrons les sections maximales. Les calculs révèlent qu'il n'y a pas besoin d'aciers comprimés ni d'aciers transversaux (cadres).

Les piédroits

Les sollicitations sont calculées sous 02 hypothèses, et les sections d'aciers maximales sont retenues.

Hypothèse 1 : la dalette est chargée de la roue de 06 tonnes et s'appuie sur les piédroits ; les poussées de terre sont aussi considérées. Les calculs sont faits en flexion simple

Hypothèse 2 : le piédroit du côté de la chaussée supporte les poussées de terre, les poids propres et les surcharges occasionnées par la roue de 06t stationnée sur la chaussée. Les calculs sont conduits en flexion composée.

Le radier

En plus des charges permanentes de la structure, il faut ajouter les efforts de l'hypothèse la plus sollicitée (hypothèse 1) au niveau des piédroits.

2.2. Les résultats des calculs

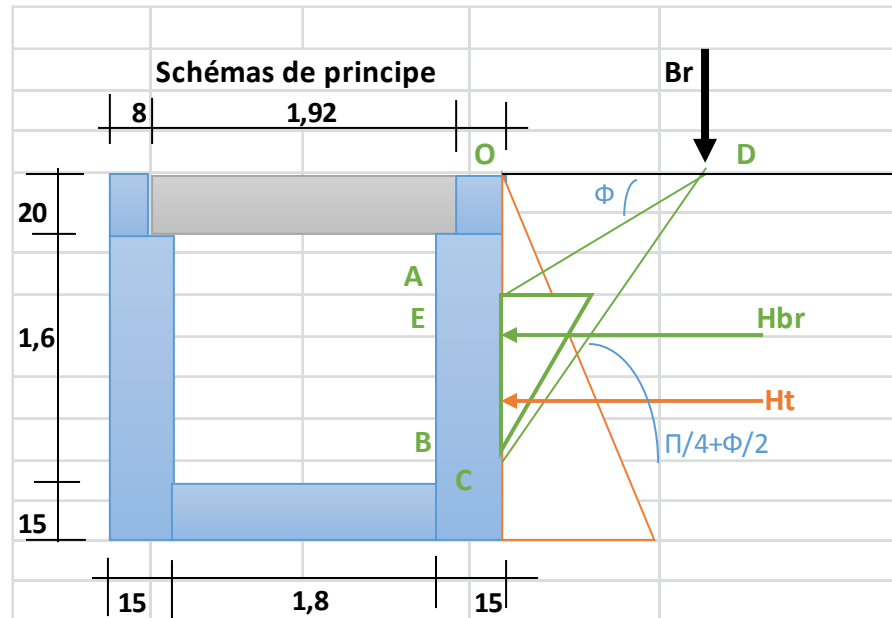


Figure 7 - Schémas de principe de calcul du caniveau

		Dalette	Les piédroits		Radier
			hypothèse 1	hypothèse 2	
Sollicitations kN, kN.m	Moment à ELU	43,61	61,538	37,545	16,558
	Effort à ELU	51,48	19,74	14,625	30,038
	Moment à ELS	29,30	14,63	17,133	12,265
	Effort à ELS	34,80	35	12,990	22,250
Armatures	Section d'aciers tendus (cm ²)	7,82	13,75		6,15
	Section aciers de répartition	5,00	4,583		3,690
	Choix aciers principaux	7HA12 (7.92cm²)	9HA14 (13.85cm²)		9HA10 (7.06 cm²)
	Espacement (cm)	16	12.5		12.5
	Choix aciers de répartition	10HA8 (5.03 cm²)	10HA8 (5.03 cm²)		10HA8 (5.03 cm²)
	Espacement (cm)	20	21		20

Tableau 22 - Résultats Calculs de Structures du Caniveau

Voir la note de calcul du caniveau CG12 en annexe 5

Voir Le plan de coffrage et de ferrailage du CG12 en annexe 6

3. Calculs du dalot DG9 1x200x140

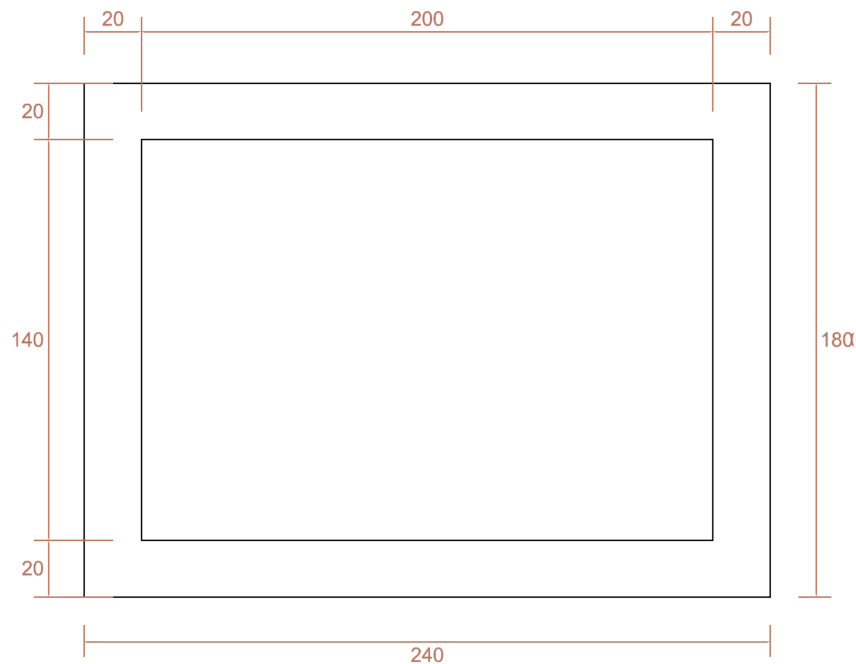


Figure 8 - Module du dalot 200x140

3.1. Méthode de dimensionnement

3.1.1. Calculs des charges et surcharges

C'est l'une des premières étapes pour entamer un calcul structurel. Dans le calcul des charges permanentes, en plus des poids propre des éléments structurels, nous aurons sur la traverse, le poids de l'enrobé, de l'étanchéité, du remblai et des guide roues. Pour les poussées de terre sur les piédroits, on a une répartition trapézoïdale avec des poussées minimum au niveau du tablier et la poussée maximale au niveau du radier ; et la surcharge sur remblais est prise égale à 10kN (CCTP).

Dans le calcul des surcharges (charge d'exploitation), nous avons considéré les systèmes A, Bc, Bt et les surcharges militaires Mc120. La charge issue de ce dernier système s'est révélé être plus sollicitant.

3.1.2. Calculs des sollicitations

Nous avons utilisé la méthode des rotations.

Cette méthode permet de calculer les moments statiques en corrigeant les moments d'encastrement à l'aide des coefficients hyperstatiques (a_i) et des coefficients de rigidité des barres (k_i). Ensuite, après calcul des moments isostatiques, nous déterminons alors les

moments maximum aux appuis et en travées, suivis du calcul des réactions d'appui et des efforts de compression dans les piédroits.

Ce processus se fait d'une part avec les charges permanentes et d'autre part avec les charges d'exploitations et ensuite nous calculons les différents cas de combinaisons comme suit :

Etat limite ultime : $1.35 \cdot G + 1.6 \cdot Q$

Etat limite de service : $G + 1.2 \cdot Q$

Nous calculerons donc les aciers à l'ELS et à la rupture afin d'obtenir les sections maximales.

3.1.3. Calculs des aciers

Le tablier et le radier sont calculés en flexion simple et nous prenons le soin de vérifier qu'il n'y a pas besoin d'aciers comprimés.

Pour le calcul des piédroits, les sollicitations sont corrigées pour la flexion composée et ensuite ramenées au centre de gravité des aciers tendus.

3.2. Résultats des calculs

Résultats des charges

Charges (kN/m)	Tablier	Piédroits	Radier
Charges permanentes	31,992	41,992	46,992
Charges d'exploitation	13,08	13,08	13,08
Poussées latérales	14,82	-	46,02
Surcharges sur remblais	-	12,00	-

Tableau 23 - Charges sur le dalot

Résultats des sollicitations

Eléments structurels	Sollicitations	Parties	Sous charges permanentes	Sous surcharges routières	Combinaisons	
					ELU	ELS
Tablier	Moments (kN.m)	gauche	-10,583	-3,805	-20,4	-15,15
		travée	9,535	3,731	18,8	14,01
		app droit	-2,338	-1,816	-6	-4,52
	Réactions (kN)	gauche	36,114	14,077	71,3	53,01
		droite	27,870	12,088	57	42,38
Radier	Moments (kN.m)	gauche	16,024	4,275	28,5	21,15
		travée	-13,154	-3,781	-23,8	-17,69
		app droit	4,659	1,244	8,28	6,15
	Réactions (kN)	gauche	-52,674	-14,598	-94,5	-70,2
		droite	-41,310	-11,567	-74,3	-55,2
Piédroit gauche	Moments (kN.m)	sup	-10,583	-3,805	-20,4	-15,15
		travée	-4,366	-2,081	-9,22	-6,86
		Inf	-13,054	-3,297	-22,9	-17,01
	Effort normal (kN)		88,789	28,675	166	123,20
Piédroit droit	Moments (kN.m)	sup	-2,101	0,319	-2,33	-1,72
		travée	8,732	2,252	15,4	11,43
		Inf	4,659	1,244	8,28	6,15
	Effort normal (kN)		69,179	23,656	131	97,57

Tableau 24 - Sollicitations du dalot

Résultats des calculs d'aciers

DG9 1x2x1,4		<i>Tablier</i>		<i>Piédroit</i>	<i>Radier</i>	
		<i>Travée</i>	<i>appui</i>		<i>Travée</i>	<i>appui</i>
Sollicitations corrigées	Moment de calcul (MN.m)	0,019	0,02	0,023	0,024	0,028
	Moment ELS (MN.m)	0,014	0,015	0,01515	0,0178	0,0212
Armatures	Section d'aciers (cm²) ELU	3,29	4,44	2,05	4,18	4,7
	Section d'aciers (cm²) ELS	4,96	5,38	2,05	6,27	7,58
	Section d'aciers de répartition	4,30		1,09	5,05	
	Armatures principales	8HA10 e=14 cm		6HA10 e=19 cm	8HA12 e=14 cm	
	Section équivalente (cm ²)	6,28		4,71	9,05	

	Armatures de répartition	10HA8 e=26 cm	7HA8 e=25 cm	11HA8 e=20 cm
	Section équivalente (cm ²)	5,03	3,5	5,53

Tableau 25 - Résultats calculs des structures du dalot

Comparaison avec l'étude officielle :

Sections équivalentes (cm²)	Notre étude	Etude officielle	Ratio par rapport à l'étude officielle
Tablier	6,28	7,40	84,9%
Piédroits	4,71	5,81	81,2%
Radier	9,05	10,71	84,5%

Nous constatons que nos résultats sont en moyenne à 82% des résultats officiels du dossier d'exécution

Voir la note de calcul du dalot DG9 en annexe 7

Voir Le plan de coffrage et de ferrailage du dalot DG9 en annexe 8

Nos plans d'exécution étant réalisés, nous allons à présent présenter un plan de gestion des risques environnemental et social que pourraient occasionner ce projet.

IX. RAPPORT D'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Un projet d'une telle envergure ne peut être réalisé sans impacts sur l'environnement riverain, l'Etat Burkinabè à travers la DGIR a commandé une Etude d'Impact Environnemental et Sociale qui permettra d'analyser les inconvénients et avantages du projet et d'identifier les mesures pour prévenir, minimiser, atténuer et compenser les impacts négatifs et bonifier les effets positifs.

1. Analyse de l'Etat environnemental d'avant-projet et des impacts potentiels

1.1. Etat des lieux

La végétation : Avec l'urbanisation croissante, la végétation est soumise à une dégradation accélérée. Quelques points de végétations sont encore perceptibles au niveau du parc bangr-weoogo, et du CNRST. Les espèces les plus présentes dans la zone du projet sont les baobabs (*Khaya senegalensis*), les eucalyptus, *tectona grandis*, *cassia siamea* et bien d'autres.

La faune : elle est essentiellement localisée dans le parc Bangr-weoogo. Quelques microfaunes et petits reptiles sont visibles le long du tronçon de route.

Du point de vue paysage, on peut apercevoir des constructions, des infrastructures de commerce (hangars, kiosques, etc.), les réseaux de concessionnaires (sonabel, onatel, onea) et des panneaux publicitaires.

Démographie : La ville de Ouagadougou compte plus de 1 915 102 habitants dont 50.4% d'hommes, la majorité demandeurs d'emploi.

Patrimoine culturel : Un site sacré (« *Komber Padamda* ») a été localisé à proximité du site du mini échangeur.

Activités économiques : Un commerce dominé par le secteur informel occupe une partie de la zone du projet ; et il est essentiellement pratiqué autours des marchés, et le long de la voie.

Le projet est un axe routier de transit permettant le transport des personnes et de marchandises venant des villes de l'est et du nord.

La dégradation de l'environnement : elle est très ponctuée. Malgré le système d'assainissement par lagunage, les déchets sont rejetés dans les canaux et cela provoque des nuisances olfactives très significatives.

Les changements climatiques : ils se manifestent par la baisse de la pluviométrie, les effets de serre et toute cause menaçant le développement durable.

1.1. Politique environnementale du Burkina Faso

Tous les programmes et politiques nationaux se concordent sur le principe de la gestion efficace des ressources nationales pour un environnement durable et un cadre de vie sain. On note aussi qu'ils préconisent un développement harmonieux des activités économiques et une prise en compte effective du politique genre. Du point de vue technique, le besoin d'une bonne structuration du réseau routier, la mise en place de systèmes efficaces de drainage et la réhabilitation des ressources naturelles dégradées contribueront au développement durable. En matière de prévention, un plan de gestion des déchets sera mis en place de même qu'un plan d'action pour la prévention des maladies.

1.2. Politique environnementale de la BOAD

Selon la BOAD, ce projet est de catégorie B car les effets négatifs étant moins graves qu'un projet de catégorie A. Les effets de ce projet sont de nature locale et très peu irréversibles. La banque a donc exigé un PGES afin d'examiner les effets et que des mesures d'atténuation et de compensation soient proposées.

2. Plan de gestion environnementale et sociale du projet

2.1. Les mesures d'atténuation et de bonification

Il s'agit là de quelques mesures d'atténuation des effets négatifs :

- L'arrosage systématique des emprises des travaux pour la réduction de la poussière
- Le port des masques anti poussières
- La limitation des vitesses
- Le suivi des bruits pendant les travaux selon le standard de la banque mondiale
- La remise en état des emprunts ou leur valorisation
- La plantation d'arbres : 1200 au parc, 800 au CNRST et 400 le long de la route du projet
- L'indemnisation des PAP et la réhabilitation des services riverains (les clôtures qui seront détruits)
- Une unité de santé pour premiers soins et la sensibilisation des populations contre les IST
- A terme, on aura une facilitation de l'accès à l'hôpital Yalgado
- Pendant les travaux, la main d'œuvre locale sera privilégiée

2.2. Surveillance et suivi

Ce programme vise à s'assurer de la mise en œuvre des mesures d'atténuation et le respect des engagements pris par l'entreprise.

Cette activité relève de la DGIR en collaboration avec la Mission de contrôle et le Bureau National des Evaluations Environnementales. Un comité de surveillance environnementale (CSE) sera mise en place

Les activités consistent concrètement à évaluer et mesurer les impacts du projet après les travaux sur les composantes environnementales et sociales et à mettre des mesures correctives si nécessaire.

C'est ainsi que des visites régulières sur chantier seront effectuées, des réunions périodiques, des établissements des états des lieux et des rapports.

2.3. Planning et coûts des activités de mises en œuvre

La durée globale du projet est de 04 ans. Les 03 dernières années seront consacrées aux activités de suivi environnemental.

Les activités et les mesures prévues ont un coût estimé à environ 410 134 000 FCFA. Cela prend en compte les différentes activités, les missions de surveillance et suivi, et aussi le fonctionnement des différents comités de suivi.

3. Plan de réinstallation

3.1. Objectifs et principe de la réinstallation

L'objectif est de minimiser le déplacement des populations et de s'assurer que les déplacés retrouvent un niveau de vie similaire sinon meilleur en s'assurant de l'équité des indemnités en fonction des impacts subits.

Le principe de la réinstallation est d'éviter que le projet n'affecte négativement les populations locales puisque la détérioration des conditions de vie d'une partie de la population ne contribue ni à la réduction de la pauvreté ni au développement de l'ensemble des citoyens.

3.2. Recensement des personnes et des biens

Au terme de l'enquête, on a pu recenser tout au long du tronçon, 690 PAP dont 650 propriétaires et 40 exploitants. On peut citer entre autres : 09 boutiques, 268 hangars, 110 kiosques, 126 terrasses, 46 étalages, 136 tabliers, 01 puits, 01 borne fontaine, 144 panneaux, 189 poteaux électriques de la sonabel, 50 poteaux de l'onatel et 38 sites de pépinières.

La répartition par arrondissement :

Arrondissements	Propriétaires	Exploitants	Total
Arrondissement 5	484	20	504
Arrondissement 1	85	6	91
Arrondissement 2	81	14	95
Total	650	40	690

Tableau 26 - Recensement des PAP

3.3. Evaluation des indemnisations et des compensations

Les terrains appartenant à l'Etat seront cédés gratuitement.

Vu la nature des biens affectés, l'indemnisation en espèces sera privilégiée.

A défaut de l'indemnisation, des mesures d'accompagnement devront être trouvées pour l'aménagement de sites d'accueil pour ceux qui ne voudront pas l'indemnisation.

Au compte de l'arrondissement 5, l'évaluation des PAP est estimée à 132 286 795 FCFA. Le montant d'indemnisation de l'arrondissement 1 s'élève à 23 164 250 FCFA ; et celui de l'arrondissement 2 est de 18 954 250 FCFA.

3.4. Programme de la réinstallation, suivi et évaluation

Le budget prévisionnel du plan de réinstallation est estimé à 221 600 000 FCFA et sera financé par l'Etat Burkinabè.

Les activités seront mise en œuvre dans un temps indicatif de 12 semaines à partir de la date de démarrage de la mission. Les activités sont entre autres : la planification, la mise en place des comités, la sensibilisation, la mobilisation des fonds, le paiement, l'évaluation d'exécution et les rapports finaux.

A la suite de toutes ces études techniques, nous allons réaliser une étude économique. Il s'agit essentiellement d'estimer les travaux de voirie et d'assainissement que nous avons étudié plus haut.

X. ETUDES D'ESTIMATION FINANCIERE

Nous estimons ici les coûts des ouvrages et du tronçon de chaussée étudiés. Les prix sont ceux du marché de soumission et ceux pratiqués habituellement par l'entreprise.

1. Les ouvrages : dalot et caniveau – Avant-métrés

Nous allons estimer à partir de nos plans d'exécution, les coûts de ces ouvrages au mètre linéaire. Et ensuite estimer pour toute la longueur des ouvrages.

1.1. Résultats avant-métré béton

	Nbre de parties	Dimensions			Unités	Surfaces, volumes	
		Longueur	Largeur	Epaisseur		Partiel	Total
Caniveau							
Fouilles	1	1	2,2	2	m3	4,4	4,40
Béton de propreté	1	1	2,2	0,05	m3	0,11	0,11
Béton armé pour voiles	2	1	1,95	0,15	m3	0,293	0,59
Béton armé pour radier	1	1	1,8	0,15	m3	0,27	0,27
Béton armé pour dalette	1	1	1,92	0,2	m3	0,384	0,38
Dalot							
Fouilles	1	1	2,5	1,85	m3	4,625	4,63
Béton de propreté	1	1	2,5	0,05	m3	0,125	0,13
Béton armé pour piédroits	2	1	1,6	0,2	m3	0,32	0,64
Béton armé pour radier	1	1	2	0,2	m3	0,4	0,40
Béton armé pour tablier	1	1	2,4	0,2	m3	0,48	0,48

Tableau 27 - Avant-métré béton des ouvrages

1.2. Evaluation de l'acier

Diamètre (mm)	Long. Totale (m)	Poids Aciers (kg)
Caniveau		
14	39,42	47,62
12	15,02	13,34
10	16,02	9,88
8	55,62	21,97
Dalot		
12	34,28	30,44
10	92,04	56,79
8	55,46	21,91

Tableau 28 - Aciers des ouvrages

1.3. Les hypothèses de prix :

Ces prix sont fixés en fonction du cours du marché et pratiqués par l'entreprise pour l'exécution de ces travaux

Les matériaux	Dosage	Prix
Ciment	150 kg/m ³ (BP), 350 kg/m ³ (BA)	120 000 F/tonne
Acier	-	500 F/kg
Sable	463.9 l/m ³	21 500 F/m ³
Concassé	782.7 l/m ³	22 500 F/m ³
Eau	190.5 l/m ³	1 600 F/m ³

Tableau 29 - Hypothèses des prix des matériaux

Matériels et carburant	Production horaire	Prix horaire
Pelle hydraulique	800 m ³ /h	35 400 F/h
Centrale à béton	20 m ³ /h	56 000 F/h
Moule de préfabrication	78 unités/jr	1 000 F/ml
Chargeuse à la centrale	14 m ³ /h	1 935.71 F/m ³
Groupe électrogène	14 m ³ /h	564.29 F/m ³
Camion toupie	3.5 m ³ /h	8 571.43 F/m ³
Camion plateau grue	30 ml en 02 heures	65 000 F/h
Carburant pelle hydraulique	25 l/h	1753 F/l
Carburant centrale	3.75 l/m ³	2 521.57 F/l
Carburant chargeuse	1.79 l/m ³	1 200.71 F/l
Carburant groupe électrogène	1.07 l/m ³	720.43 F/l
Carburant camion toupie	2.3 l/m ³	1 537 F/l
Carburant camion plateau grue	12 l/h	1753 F/l

Tableau 30 - Hypothèses des prix du matériel

Nous utilisons ces prix pour calculer les déboursés sec et les montants des travaux.

1.4. Les déboursés secs

Déboursé direct du caniveau 180x160

Désignations	Unités	Quantités	Prix unitaires	Montant
1. Main d'œuvre				
Opérateur centrale à béton	m3	1,35	214	289
Manœuvres centrale à béton	m3	1,35	229	309
Main d'œuvre ferrailage	kg	92,81	60	5 569
Main d'œuvre coffrage et béton	ml	1	2 500	2 500
Opérateur labo	m3	1,35	429	579
Total 1				9 245
2. Matériel et carburant				
Pelle hydraulique (fouilles)	h	0,006	35 400	195
Centrale à béton	h	0,07	56 000	3 780
Camion toupie	h	0,39	20 500	7 907
Chargeuse à la centrale	h	0,10	25 200	2 430
groupe électrogène	h	0,10	12 400	1 196
Moule de préfabrication	ml	1	1 000	1 000
Camion plateau grue	h	1	4 333	4 333
carburant pelle hydraulique	h	0,15	1 753	263
carburant centrale à béton	l	0,36	2 522	908
carburant toupie	l	0,59	1 537	902
carburant chargeuse	l	0,75	1 201	906
carburant groupe électrogène	l	1,26	720	909
carburant camion plateau grue	l	0,80	1 753	1 402
Total 2				26 131
3. Matériaux				
Ciment	t	0,45	120 000	54 018
Graviers	m3	0,97	22 500	21 820
Sable de carrière	m3	0,63	21 500	13 455
Eau	m3	0,26	1 600	411
Aciers	kg	92,81	500	46 406
Total 3				136 109
TOTAL/m				171 485

Tableau 31 - Déboursé sec du caniveau

Déboursé directs du dalot 200x140

Désignations	Unités	Quantités	Prix unitaires	Montant
1. Main d'œuvre				
Opérateur centrale à béton	m3	1,65	214	354
Manœuvres centrale à béton	m3	1,65	229	377
Main d'œuvre ferrailage	kg	109,14	60	6 548
Main d'œuvre coffrage et béton	ml	1	35 000	35 000
Opérateur labo	m3	1,65	429	707
Total 1				42 986
2. Matériel et carburant				
Pelle hydraulique (fouilles)	h	0,006	35 400	206
Centrale à béton	h	0,08	56 000	4 620
Camion toupie	h	0,47	20 500	9 664
Chargeuse à la centrale	h	0,12	25 200	2 970
groupe électrogène	h	0,12	12 400	1 461
Moule de préfabrication	ml	1	1 000	1 000
Camion plateau grue	ml	1	4 333	4 333
carburant pelle hydraulique	l	0,15	1 753	263
carburant centrale à béton	l	0,44	2 522	1 109
carburant toupie	l	0,72	1 537	1 103
carburant chargeuse	l	0,92	1 201	1 107
carburant groupe électrogène	l	1,54	720	1 111
carburant camion plateau grue	l	0,80	1 753	1 402
Total 2				30 350
3. Matériaux				
Ciment	t	0,55	120 000	66 090
Graviers	m3	1,19	22 500	26 768
Sable de carrière	m3	0,76	21 500	16 407
Eau	m3	0,31	1 600	501
Aciers	kg	109,14	500	54 568
Total 3				164 335
TOTAL/m				237 671

Tableau 32 - Déboursé sec du dalot

Le **caniveau 180x160** a une longueur de décharge de 100.43m, soit le coût de son exécution s'élève à $171\,485 \times 100.43 = 17.222.239$ F CFA HT.

Le **dalot 1x200x140** a une longueur de 14.53m soit le coût de son exécution s'élève à $237\,671 \times 14.53 = 3.453.360$ F CFA HT.

2. Le tronçon de chaussée

	Désignations	Unités	Quantités	Prix unitaires	Montant
1	Terrassement				
1.1	Débroussaillage	m ²	51000	200	10 200 000
1.2	Décapage	m ³	4650	955	4 440 750
1.3	Déblai	m ³	1655,22	3 600	5 958 792
1.4	Remblai	m ³	31388,18	6 100	191 467 898
2	Chaussée				
2.1	Couche de fondation en GLC	m ³	6562,56	27 068	177 635 374
2.2	Couche de base en GB 10 cm	m ³	2605,74	13 141	34 242 029
3	Revêtement				
3.1	Imprégnation au cut back 0/1	m ²	27500	1 028	28 270 000
3.2	Béton bitumineux 5 cm	m ³	1302,87	111 690	145 517 550
3.3	Pavés, ép = 6 cm	m ²	7375	17 393	128 273 375
4	Signalisation routière				
4.1	Marquage à la peinture blanche	m	3125	4 817	15 053 125
4.2	Panneaux de signalisation	u	21	165 000	3 465 000
4.3	Eclairage public	u	25	2 888 423	72 210 575
5	Divers				
5.1	Bordures T2	m	535	6 769	3 621 415
5.2	Bordures GSS2	m	2500	28 622	71 555 000
	TOTAL				891 910 884

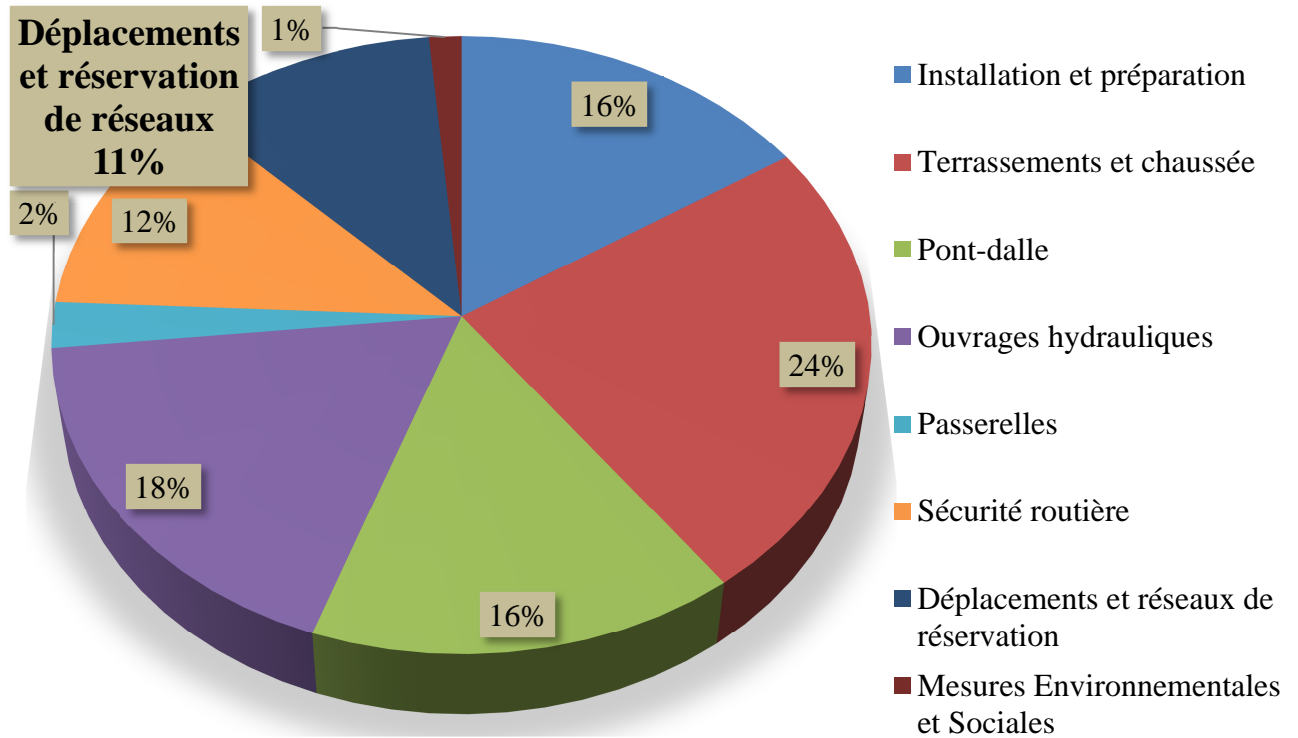
Tableau 33 - Coûts travaux du tronçon de voirie

Le détail de calcul des quantités de la voirie sont à retrouver en **annexe 10**

En conclusion, le coût des travaux de voirie (sans les ouvrages) de notre tronçon d'étude de 1,250 m se s'élève à 831.910.884 FCFA

Répartition des parts des travaux

Le montant de base des travaux étant de 19 122 333 468 FCFA HT. Les coûts des différents travaux sont répartis comme suit :



XI. CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Le présent projet de fin d'étude a consisté en l'étude d'un tronçon de voirie avec des ouvrages d'assainissement situé sur ledit tronçon.

L'étude de la voirie a permis de déterminer une structure de chaussée convenable et capable de supporter le trafic projeté. Les vérifications sur Alizé Lcpc nous ont conduit à une structure avec une couche de fondation en graveleux latéritique amélioré aux concassés d'épaisseur de 26 cm, une couche de base en grave bitume d'épaisseur de 10 cm et un revêtement en béton bitumineux de 5 cm.

Les ouvrages ont été calculés avec des débits de crue quinquennale pour des raisons financières. Le calcul hydraulique a permis de déterminer des sections adéquates et les calculs de structure de déterminer les sections d'armature.

En fin de projet nous avons présenté un plan de gestion environnemental et social pour atténuer les impacts, bonifier les effets positifs et proposer un plan de réinstallation. Une estimation financière a permis d'évaluer à 891.910.884 FCFA la section de voirie étudiée, le dalot a été estimé à 3.453.360 FCFA. Le caniveau a coûté 17.222.239 FCFA.

La présente étude a été menée comparativement à l'étude officielle menée pour établir le dossier d'exécution. C'est ainsi que nous avons tenu compte des hypothèses et recommandations émises dans le CCTP et l'APD.

A l'issue de l'étude, nous formulons plusieurs recommandations :

Sur la base des études d'exécution, nous recommandons qu'un débit Q10 soit utilisé pour dimensionner les ouvrages hydrauliques. Cela contribuerait à prévenir au mieux les inondations qui sont récurrentes dans la ville de Ouagadougou.

Concernant l'étude de la voirie, nous proposons que la durée de vie projetée soit strictement supérieure à 15 ans afin de prévenir les cas de dégradations précoces. Des études géologiques et géotechniques à l'échelle nationale devraient être menées pour actualiser et optimiser les données d'études des marchés.

Un programme d'entretien et de curage réguliers des ouvrages hydrauliques devrait être mis en place pour contribuer à prévenir les inondations. Les populations riveraines doivent être sensibilisées pour que les dépôts des déchets dans les caniveaux soient évités.

XII. BIBLIOGRAPHIE

Nous énumérons ici les ouvrages, cours et documents en lignes qui ont été consultés afin de mener à bien cette étude.

- DR MESSAN, Adamah. *Cours de Béton Armé 3*. Ouagadougou (2iE), 2014, 64 pages.
- DR BIAOU, Angelbert Chabi. *Cours Hydraulique Routière*. Ouagadougou (2iE), 2011.
- DR MESSAN, Adamah. *Cours de Béton Armé 2*. Ouagadougou (2iE), 2013.
- DR BA, Makhaly. *Dimensionnement des Structures de chaussée*.
- CEBTP. *Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*. 1984, 157 pages.
- DR GUEYE, Ismaïla. *Cours de Géotechnique Routière*. Ouagadougou (2iE), 2014.
- COMBERE, Marc. *Cours de voirie : la géométrie routière*, 2013.
- DR MESSAN, Adamah. *Conception et dimensionnement des petits ouvrages de franchissement*. Ouagadougou (2iE), 2012.
- Pr KARAMBIRI, Harouna et Dr Dial NIANG. *Prédétermination des crues et apports*.
- MOUGUN, Jean Pierre. *Béton Armé aux Etats Limites 91 modifiée 99*, Eyrolles, 2000
- BIAOU, Chabi Angelbert. *Cours d'hydraulique à surface libre*. Ouagadougou : 2iE, 2009.
- HIEN, Edwige. *Note de calcul d'un dalot*. Ouagadougou : 2iE.
- Fascicule 61 – Titre II – *Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art – Programme de charges et épreuves des ponts-routes*. 1980, 79 pages.
- ICTARVRU, 2009
- Guide SETRA, 1998
- Cerema ITM. *L'étude d'impact – Projets d'infrastructures linéaires de transport*. (En ligne). Mai 2016. <http://www.dtrf.setra.fr/notice.html?id=Dtrf-0006988> (page consultée le 22 Août 2016)

XIII. LES ANNEXES

- 1- Résultats des sondages et essais d'identification du sol d'emprise
- 2- Données de calcul des sollicitations de la structure de chaussée et résultats de calculs
Alizé Lcpc
- 3- Listing des profils, tracé en plan et profils en long
- 4- Les profils en travers type et les cubatures
- 5- Les panneaux de signalisation
- 6- Note de calcul du caniveau CG12 180x160
- 7- Plan de coffrage et de ferrailage du caniveau CG12
- 8- Note de calcul du dalot DG9 1x200x140
- 9- Plan de coffrage et de ferrailage du dalot DG9
- 10- Estimation des quantités en voirie

ANNEXE 1

RÉSULTATS DES ESSAIS D'IDENTIFICATION DU SOL D'EMPRISE

LES RÉSULTATS DU CÔTÉ GAUCHE DE LA CHAUSSÉE EXISTANTE

Echantillon N°	Profondeur	Nature	ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		Module de plasticité F.IP	PROCTOR		CBR à 96h d'imbibition		Classification HRB	OBSERVATIONS
			f<0.08	2	5	10	20	LL	IP		γopm	w%	95%	98%		
00002	0,01 à 0,4m	GAL	28,0	60,5	77,5	96	100	22,9	9,7	271,6	2,19	7,6	32	56	A - 2 - 4 (0)	
00004	0,01 à 1,20m	"	32,0	55,5	70	86,5	95	34,5	16,7	534	2,16	8,9	19	33	A - 2 - 6 (0)	
00006	0,01 à 1,1m	"	44,5	69	81	92	96	29,2	15,4	685	2,05	9,6	17	24	A - 6	
00007	0,01 à 0,40m	"	31,5	66	79	93,5	96	31	16	504	2,13	7,3	16	34	A - 2 - 6 (2)	
00008	0,40 à 0,8m	"	46,0	87	93	97,5	100	25	13	598	2,08	9,1	18	27	A - 6	
00010	0,20 à 0,60 m	ARG	51,5	74,5	88,5	92	97,5	36,3	18,7	963	2,01	10,4	9	12	A - 6)	Zone de purge au moins 0 m à 0,5m et le substituer par du matériau conforme au CPT
00011	0,60 à 1m	ARG	52,5	75	85	95	98	32,8	15,9	835	2,01	10	5	10	A - 6	
00013	0,01 à 1m	ARG	45,0	71	80	91,5	98	34,6	18,1	815	2	9,4	6	9	A - 6	
00015	0,01 à 1m	ARG	66,5	96	100	100	100	36,3	19,2	1277	1,95	9,6	5	8	A - 6	
00017	0,01 à 1m	ARG	50,0	87,5	92,5	99	100	27,9	12,9	645	2,03	9,1	6	10	A - 6	
00019	0,01 à 1m	ARG	62,5	85	91	96,5	100	39,7	21,1	1319	1,97	10,5	6	9	A - 6	
00021	0,01 à 1m	ARG	62,0	93,5	97,5	99,5	100	39,1	21,2	1314	2	9,8	8	13	A - 6	
00023	0,01 à 1m	GAL	34,5	53	72,5	88,5	96	38,8	21,0	725	2,12	8,2	14	29	A - 2 - 6 (4)	Tolerable
00025	0,01 à 1m	GAL	38,0	72	86,5	94,5	96,5	21,5	8,9	338	2,14	7,3	21	52	A - 4	
00027	0,01 à 0,20m	GAL	35,5	83,5	88	93	96	21,5	7,5	266	2,05	7,8	22	43	A - 4	

00029	0,01 à 1m	ARG	38,0	63,5	74,5	92	99	34,7	17,7	673	2,09	9,4	12	21	A - 6
00031	0,01 à 1m	ARG	60,5	94	97,5	99,5	100	39,9	21,5	1301	1,9	12,4	4	7	A - 6
00033	0,01 à 1m	ARG	55,0	95,5	97,5	99	100	47,1	25,8	1419	2	11,5	9	16	A - 7-5
00035	0,01 à 1m	GAL	23,0	50	60	76,5	89	37,7	19,0	437	2,08	9,6	21	34	A - 2 -6 (3)
00037	0,01 à 1m	GAL	27,0	82	87	91	96	21,2	12,0	9	2,09	8	30	60	A - 2 -6 (0)
00039	0,01 à 1m	Alluvion	33,0	75,5	87	96,5	100	27,5	12,8	422	2,12	9,9	11	18	A - 2 -6 (0)
00041	0,01 à 1m	ARG	42,0	91,5	97	100	100	28,4	13,3	559	2,11	8,8	14	21	A - 6
00043	0,01 à 1m	ARG	39,0	83,5	90,5	96,5	100	26,3	11,9	464	2,04	8,8	10	21	A - 6
00045	0,01 à 1m	ARG	27,5	60,5	75,5	93	99	32,0	15,0	413	2,08	9,8	14	22	A - 2 -6 (1)
00047	0,01 à 1m	GAL	20,0	34,5	53	78	91	26,2	14,5	290	2,18	7,5	26	45	A - 2 -6 (1)
00049	0,01 à 1m	GAL	44,0	71,5	86	95,5	99	31,5	15,5	682	2,24	7,2	18	42	A - 6
00051	0,01 à 0,55m	GAL	30,5	67	82	96	100	19,4	6,9	210	2,24	6,5	40	54	A - 2 -4 (0)
00053	0,01 à 0,55m	GAL	22,5	47,5	65,5	87,5	99	21,0	8,5	191	2,26	7,5	38	60	A - 2 -4 (0)
00055	0,01 à 0,90m	GAL	27,0	54,5	73	89,5	98	34,1	16,5	446	2	9,7	13	21	A - 2 -6 (2)

LES RÉSULTATS DU GÔTÉ DROIT DE LA CHAUSSÉE EXISTANTE

Echantillon N°	Profondeur	Nature	ANALYSE GRANULOMETRIQUE				LIMITES D'ATTERBERG		Module de plasticité F.IP	PROCTOR		CBR à 96h d'imbibition		Classification HRB	OBSERVATIONS	
			f<0.08	2	5	10	20	LL		IP	γopm	w%	95%			98%
00001	0,01 à 1m	GAL	27,0	52	70	84,5	93,5	24,1	13,5	364,5	2,19	8,5	35	60	A - 2 - 6 (0)	
00003	0,01 à 035m	"	24,0	55,5	73	86,5	94	22,6	14,4	346	2,18	7,5	12	19	A - 2 - 4 (0)	decaper la CV
00005	0,01 à 0,80m	"	41,0	69	85,5	96,5	99	23,2	13,2	541	2,14	8	23	34	A - 6	
00009	0,01 à 1m	"	37,5	70	82	95,5	99	27,2	12,6	473	2,16	8,3	17	30	A - 6	
00012	0,05 à 0,6m	ARG	57,0	75	82	91	97	29,0	13,3	758	2,01	9,7	9	17	A - 6	
00014	0,01 à 1m	ARG	69,5	95,5	98	99,5	95,5	40,1	21,7	1508	1,84	9,8	6	10	A - 6	
00016	0,01 à 1m	ARG	53,5	76,5	90,5	99	100	43,4	23,9	1279	2,04	9,3	9	16	A - 7-5	
00018	0,01 à 1m	ARG	61,5	91	96	99	100	35,8	18,1	1113	1,9	10,1	3	7	A - 6	
00020	0,01 à 1m	GAL	36,5	69,5	81	94,5	99,5	26,5	13,9	507	2,13	7,8	15	35	A - 4	
00022	0,01 à 1m	GAL	36,5	59	77,5	91,5	97	29,8	16,1	588	2,21	8	21	32	A - 6	
00024	0,01 à 1m	GAL	25,0	44	62,5	81	91,5	22,7	12,3	308	2,2	8,1	17	32	A - 2 - 6 (0)	
00026	0,01 à 0,70m	GAL	22,0	49,5	68,5	91	99,5	21,8	9,4	207	2,25	8,4	47	75	A - 2 - 4 (0)	
00028	0,01 à 1m	ARG	46,5	85	91	96	98,5	35,2	18,0	837	2,04	10,1	9	11	A - 6	
00030	0,01 à 1m	ARG	32,5	95,5	99	100	100	38,1	20,4	663	2	11,6	9	18	A - 2 - 6 (4)	
00032	0,01 à 1m	ARG	51,5	92	98	99,5	100	46,3	26,0	1339	1,91	13,7	8	9,5	A - 7-5	

00034	0,01 à 1m	ARG	84,0	98	99	100	100	28,2	12,9	1084	1,96	11,4	7	11	A - 6	
00036	0,01 à 1m	Arg-Sablo	43,5	97,5	99,5	100	100	21,9	9,6	418	2,14	7,1	15	28	A - 4	
00038	0,01 à 1m	ARG	54,5	86,5	90	97,5	100	26,8	14,6	796	2,04	10,2	14	19	A - 6	
00040	0,01 à 1m	ARG	47,0	80	88	95,5	99,5	30,0	14,5	682	2,02	8,9	14	20	A - 6	
00042	0,01 à 1m	ARG	45,0	72	84	99,5	100	24,5	10,5	473	2,035	8,8	9	23	A - 6	
00044	0,01 à 1m	ARG	33,0	61	72,5	88,5	98	35,1	18,3	604	2,06	9,5	11	21	A - 2 - 6 (3)	
00046	0,01 à 1m	GAL	38,0	70,5	83	94,5	98	24,8	11,0	418	2,19	7,1	48	74	A - 6	
00048	0,01 à 1m	GAL	22,5	45	56	84	93	21,2	8,4	189	2,21	7,2	31	49	A - 2 - 4 (0)	
00050	0,01 à 0,40m	GAL	30,5	66,5	79	94	100	22,3	8,9	271	2,22	6,3	31	44	A - 2 - 4 (0)	
00052	0,01 à 0,80m	GAL	30,0	54,5	71,5	91,5	97,5	22,0	8,8	264	2,2	6,7	34	41	A - 2 - 4 (0)	
00054	0,01 à 0,90m	GAL	23,5	58	69,5	84,5	96	19,7	7,2	169	2,15	7,9	11	26	A - 2 - 4 (0)	40cm de GAL
00001	0,01 à 0,50m	GAL	24	46	64	86	98	33,1	16,5	546	2,01	10,7	13	18	OK tolérable	
00002	0,50 à 0,80m	GAL	24,5	47,0	56,5	77,5	95,5	19,1	12,3	234,93	2,23	7,10	52	98	OK	50 cm à décaper
00003	0,05 à 0,60m	GAL	33,5	49	63,0	87,5	99	29,9	14,3	427,57	2,04	10	20	40	OK	
00004	0,01 à 0,20m	GAL	31,5	60,5	74,0	89,5	98	24,1	14	337,74	2,13	9,2	15	29	OK	10 cm de poubelle
00004	0,30 à 0,90m	GAL	52	96,0	98,0	100	100	19,8	7,3	144,54	2,06	9,6	32	44		enfouie à décaper
00005	0,01 à 0,50m	GAL	44	81	87,5	95,5	98,5	28	15	420	2,11	9,5	17	28		
00005	0,55 à 0,100m	GAL	32	47,5	62	84	95	23,3	9,5	221,35	2,11	8,7	17	30		
00001	0,01 à 0,55m	GAL	26	48,5	67,5	87	95,5	29,3	13,5	395,55	2,16	8,50	17	24		

00001	0,55 à 0,80m	GAL	32	65,5	81,5	95	99	23,4	9,5	222,30	2,11	8	18	32		
00002	0,15 à 0,50m	GAL	42,0	61,0	78	94,5	99,0	25,7	11,5	295,55	2,05	8,70	8	13	à voir	décaper poubelle+purge
00003	0,01 à 0,70m	GAL	22	37,5	54	83,5	97,5	19,6	7,0	137,20	2,17	8,30	14	19		
00004	0,01à 0,55m	GAL	28,5	47,5	72	90,5	97,5	30,2	14,0	422,80	2,23	8	30	50		
00005	0,01à 0,8m	GAL	33,0	55,5	77,5	94,5	98,5	24,6	10,6	260,76	2,14	7,6	15	24		à revoir

ANNEXE 2

DONNÉES – CALCULS DES CONTRAINTES DE LA COUCHE DE CHAUSSÉE ET RÉSULTATS DES CALCULS ALIZE

MODULES DES MATÉRIAUX TRAITÉS

VALEURS INDICATIVES DE MODULE ET DE COEFFICIENT DE POISSON POUR LE CALCUL

Matériaux bitumineux

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

CARACTÉRISTIQUES EN FATIGUE

VALEURS INDICATIVES POUR LES CALCULS

(voir le guide pour les relations entre résultats d'essais de laboratoire et paramètres de calcul)

Matériaux bitumineux

	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 : $Sh = 0,01$ m si $h \leq 0,10$ m
 $Sh = 0,025$ m si $h \geq 0,15$ m ; $Sh = 0,01 + 0,3^* (h-0,10)$ si $0,10 \leq h \leq 0,15$ m.

PLATE-FORME, SOL ET COUCHE GRANULAIRE

1. PLATE-FORME : MASSIF HOMOGÈNE

Le module de calcul est celui de la limite inférieure de la classe :

Classes	PF1	PF2	PF3	PF4
Limites (MPa)	20	50	120	200

$$\nu = 0,35$$

Règles de sur-classement de portance de la plate-forme : (issues du GTR)

1.1. Surclassement de PFi avec CForme non traitée

ARi	Matériaux de CForme	h CForme	PFi
AR1	B 31, C1B31, C2B31, D21, D31, R21, R41, R61, C1B11*, C2B11* R11*, R42*, R62*	0,80 m**	PF3
AR2		0,50 m	

* sous réserve d'une vérification sur la PF support de chaussée

** -0,10 à 0,15 m si géotextile adapté entre CForme et PST

Classe NE	C1 à C4 : < 3 millions	C5 à C8 : 3 à 100 millions
r	25%	5%
u	-1.645	-0.674

VALEURS DE RISQUE r (%)

		T0	T1	T2	T3
Structures usuelles	MB	2,0	5,0	12,0	25,0
	MTLH	2,5	5,0	7,5	12,0
Structures inverses	MB	2,0	5,0	12,0	25,0
	MTLH	5,0	10,0	15,0	24,0
Structures mixtes	MB	2,0	5,0	12,0	25,0
	MTLH	3,0	10,0	20,0	35,0
Structures en béton	CdBase	2,8	5,0	7,5	11,5
	CdFond sauf BAC et BCg	5,6	10,0	15,0	23,0
	CdFond pour BAC et BCg	50,0	50,0	50,0	50,0

VALEURS DE U ASSOCIÉES AU RISQUE r (loi normale)

r (%)	u	r (%)	u	r (%)	u
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,170	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,8	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0

ANNEXE 3

LISTING DES PROFILS, TRACÉS EN PLAN ET PROFILS EN LONG

LISTING DES PROFILS

N°	ABSCISSE	COTE	COTE	X	Y	ANGLE	DEV	DEV
PROF	CURVILIGN	TN	PROJET	PROFIL	PROFIL	PROFIL	GAU	DRO
92	1000	286,417	295,077	662863,60	1369596,14	319,184g	-2,5	-2,5
93	1012,5	286,237	294,73	662875,59	1369599,66	317,195g	-2,5	-2,5
94	1025	286,252	294,32	662887,69	1369602,81	315,205g	-2,5	-2,5
95	1037,5	285,978	293,848	662899,85	1369605,71	314,868g	-1,46	-2,5
96	1050	285,906	293,348	662912,01	1369608,60	314,868g	-0,21	-2,5
97	1062,5	285,836	292,848	662924,17	1369611,49	314,868g	1,04	-2,5
98	1075	285,75	292,348	662936,33	1369614,38	314,868g	2,29	-2,5
99	1087,5	285,693	291,847	662948,49	1369617,28	314,868g	2,5	-2,5
100	1100	285,801	291,347	662960,65	1369620,17	314,868g	2,5	-2,5
101	1112,5	285,671	290,847	662972,81	1369623,06	314,868g	2,5	-2,5
102	1125	285,939	290,346	662984,97	1369625,95	314,868g	2,5	-2,5
103	1137,5	285,953	289,846	662997,13	1369628,85	314,868g	2,5	-2,5
104	1150	285,926	289,346	663009,29	1369631,74	314,868g	2,5	-2,5
105	1162,5	285,783	288,846	663021,45	1369634,63	314,868g	2,5	-2,5
106	1175	285,741	288,345	663033,61	1369637,54	315,168g	2,5	-2,5
107	1187,5	285,722	287,845	663045,74	1369640,54	315,699g	2,5	-2,5
108	1200	283,841	287,39	663057,85	1369643,64	316,230g	2,5	-2,5
109	1212,5	283,834	287,012	663069,94	1369646,85	316,760g	2,5	-2,5
110	1225	283,882	286,713	663081,99	1369650,15	317,286g	2,5	-2,5
111	1237,5	285,579	286,492	663094,03	1369653,50	317,286g	2,5	-2,5
112	1250	285,604	286,349	663106,07	1369656,86	317,286g	2,5	-2,5
113	1262,5	285,696	286,284	663118,12	1369660,21	317,286g	2,5	-2,5
114	1275	285,54	286,265	663130,16	1369663,56	317,286g	2,5	-2,5
115	1287,5	285,785	286,247	663142,20	1369666,91	317,286g	2,5	-2,5
116	1300	285,805	286,229	663154,24	1369670,27	317,286g	2,5	-2,5
117	1312,5	285,869	286,223	663166,29	1369673,62	317,286g	2,5	-2,5
118	1325	285,904	286,232	663178,33	1369676,97	317,286g	2,5	-2,5
119	1337,5	285,953	286,257	663190,37	1369680,32	317,224g	2,5	-2,5
120	1350	285,993	286,298	663202,42	1369683,65	317,064g	2,5	-2,5
121	1362,5	285,991	286,35	663214,48	1369686,94	316,905g	2,5	-2,5
122	1375	286,127	286,402	663226,54	1369690,21	316,746g	2,5	-2,5
123	1387,5	286,162	286,455	663238,62	1369693,44	316,587g	2,5	-2,5
124	1400	286,202	286,508	663250,70	1369696,65	316,428g	2,5	-2,5
125	1412,5	286,272	286,56	663262,79	1369699,82	316,269g	2,5	-2,5
126	1425	286,287	286,606	663274,88	1369702,98	316,257g	2,5	-2,5
127	1437,5	286,302	286,646	663286,98	1369706,14	316,257g	2,5	-2,5
128	1450	286,358	286,681	663299,07	1369709,29	316,257g	2,5	-2,5
129	1462,5	286,416	286,716	663311,17	1369712,45	316,257g	2,5	-2,5
130	1475	286,463	286,751	663323,26	1369715,61	316,257g	2,5	-2,5
131	1487,5	286,487	286,787	663335,36	1369718,77	316,257g	2,5	-2,5

132	1500	286,365	286,822	663347,45	1369721,92	316,257g	2,5	-2,5
133	1512,5	286,388	286,857	663359,55	1369725,08	316,257g	2,5	-2,5
134	1525	286,443	286,892	663371,64	1369728,24	316,186g	2,5	-2,5
135	1537,5	286,471	286,927	663383,74	1369731,37	316,027g	2,5	-2,5
136	1550	286,544	286,964	663395,85	1369734,46	315,868g	2,5	-2,5
137	1562,5	286,521	287,005	663407,97	1369737,53	315,709g	2,5	-2,5
138	1575	286,44	287,049	663420,10	1369740,57	315,550g	2,5	-2,5
139	1587,5	286,538	287,094	663432,23	1369743,58	315,390g	2,5	-2,5
140	1600	286,606	287,14	663444,37	1369746,56	315,231g	2,5	-2,5
141	1612,5	286,675	287,185	663456,52	1369749,50	315,072g	2,5	-2,5
142	1625	286,643	287,228	663468,67	1369752,42	314,996g	2,5	-2,5
143	1637,5	286,748	287,27	663480,83	1369755,34	314,996g	2,5	-2,5
144	1650	286,862	287,311	663492,98	1369758,26	314,996g	2,5	-2,5
145	1659,958	286,934	287,344	663502,66	1369760,58	314,996g	2,5	-2,5
146	1662,5	286,836	287,352	663505,14	1369761,18	314,996g	2,5	-2,5
147	1675	286,485	287,393	663517,29	1369764,09	314,996g	2,5	-2,5
148	1687,5	286,898	287,434	663529,44	1369767,01	314,996g	2,5	-2,5
149	1700	286,86	287,475	663541,60	1369769,93	314,996g	2,5	-2,5
150	1712,5	286,944	287,516	663553,75	1369772,84	314,996g	2,5	-2,5
151	1725	286,976	287,557	663565,91	1369775,76	314,996g	2,5	-2,5
152	1737,5	286,952	287,598	663578,06	1369778,68	314,996g	2,5	-2,5
153	1750	287,114	287,639	663590,22	1369781,60	314,996g	2,5	-2,5
154	1762,5	287,202	287,68	663602,37	1369784,51	314,996g	2,5	-2,5
155	1775	287,265	287,721	663614,53	1369787,43	314,996g	2,5	-2,5
156	1787,5	287,196	287,762	663626,68	1369790,36	315,131g	2,5	-2,5
157	1800	287,206	287,803	663638,83	1369793,32	315,290g	2,5	-2,5
158	1812,5	287,189	287,844	663650,96	1369796,30	315,348g	2,5	-2,5
159	1825	287,219	287,886	663663,10	1369799,28	315,348g	2,5	-2,5
160	1837,5	287,258	287,927	663675,24	1369802,27	315,348g	2,5	-2,5
161	1850	287,3	287,968	663687,38	1369805,25	315,348g	2,5	-2,5
162	1862,5	287,336	288,009	663699,52	1369808,24	315,348g	2,5	-2,5
163	1875	287,415	288,05	663711,66	1369811,22	315,348g	2,5	-2,5
164	1887,5	287,405	288,092	663723,80	1369814,21	315,348g	2,5	-2,5
165	1900	287,526	288,133	663735,93	1369817,19	315,348g	2,5	-2,5
166	1912,5	287,597	288,175	663748,07	1369820,18	315,348g	2,5	-2,5
167	1925	287,638	288,217	663760,21	1369823,16	315,348g	2,5	-2,5
168	1937,5	287,7	288,26	663772,35	1369826,14	315,348g	2,5	-2,5
169	1950	287,75	288,304	663784,49	1369829,13	315,348g	2,5	-2,5
170	1962,5	287,856	288,349	663796,63	1369832,11	315,348g	2,5	-2,5
171	1975	287,984	288,393	663808,77	1369835,10	315,348g	2,5	-2,5
172	1987,5	287,726	288,435	663820,90	1369838,08	315,348g	2,5	-2,5
173	2000	287,758	288,475	663833,04	1369841,07	315,348g	2,5	-2,5
174	2012,5	287,854	288,512	663845,18	1369844,05	315,348g	2,5	-2,5
175	2025	287,905	288,546	663857,32	1369847,04	315,348g	2,5	-2,5

176	2037,5	287,984	288,579	663869,46	1369850,02	315,348g	2,5	-2,5
177	2050	288,061	288,613	663881,60	1369853,01	315,348g	2,5	-2,5
178	2062,5	288,057	288,646	663893,73	1369855,99	315,348g	2,5	-2,5
179	2075	288,087	288,679	663905,87	1369858,97	315,348g	2,5	-2,5
180	2082,21	288,206	288,696	663912,87	1369860,70	315,348g	2,5	-2,5
181	2087,5	288,171	288,706	663918,01	1369861,96	315,348g	2,5	-2,5
182	2100	288,098	288,72	663930,15	1369864,94	315,348g	2,5	-2,5
183	2112,5	288,117	288,721	663942,29	1369867,93	315,348g	2,5	-2,5
184	2117,656	288,12	288,718	663947,30	1369869,16	315,348g	2,5	-2,5
185	2125	288,016	288,71	663954,43	1369870,91	315,348g	2,5	-2,5
186	2137,5	287,973	288,695	663966,57	1369873,90	315,348g	2,5	-2,5
187	2150	288	288,681	663978,70	1369876,88	315,348g	2,5	-2,5
188	2162,5	287,93	288,666	663990,84	1369879,87	315,348g	2,5	-2,5
189	2175	287,783	288,652	664002,98	1369882,85	315,348g	2,5	-2,5
190	2187,5	287,792	288,635	664015,12	1369885,83	315,348g	2,5	-2,5
191	2200	287,734	288,613	664027,26	1369888,82	315,348g	2,5	-2,5
192	2212,5	287,759	288,589	664039,40	1369891,80	315,348g	2,5	-2,5
193	2225	287,715	288,56	664051,53	1369894,79	315,348g	2,5	-2,5
194	2237,5	287,708	288,529	664063,67	1369897,77	315,348g	2,5	-2,5
195	2250	287,836	288,499	664075,81	1369900,76	315,348g	2,5	-2,5

ANNEXE 4

LE PROFIL EN TRAVERS TYPE

CUBATURES : VOLUME DE TERRASSEMENT ET DE CHAUSSEE

PROFIL	ABSCISSE	LONGUEUR D'APPLIC	REBLAI VOLUME	REBLAI CUMULE	DEBLAI VOLUME	DEBLAI CUMULE	FONDATION VOLUME	FONDATION CUMULE	BASE VOLUME	BASE CUMULE	ROULEMENT VOLUME	ROULEMENT CUMULE
92	1 000,00	8,79	1 597,30	23 987,73	0,00	844,00	42,30	3 698,37	16,80	1 476,34	8,40	832,15
93	1 012,50	12,50	2 222,10	26 209,83	0,00	844,00	60,20	3 758,57	23,90	1 500,24	11,95	844,10
94	1 025,00	12,50	2 124,70	28 334,53	0,00	844,00	60,20	3 818,77	23,90	1 524,14	11,95	856,05
95	1 037,50	12,50	2 025,80	30 360,33	0,00	844,00	60,20	3 878,97	23,90	1 548,04	11,95	868,00
96	1 050,00	12,50	1 870,00	32 230,33	0,00	844,00	60,20	3 939,17	23,90	1 571,94	11,95	879,95
97	1 062,50	12,50	1 753,20	33 983,53	0,00	844,00	60,20	3 999,37	23,90	1 595,84	11,95	891,90
98	1 075,00	12,50	1 612,20	35 595,73	0,00	844,00	60,20	4 059,57	23,90	1 619,74	11,95	903,85
99	1 087,50	12,50	1 493,80	37 089,53	0,00	844,00	60,20	4 119,77	23,90	1 643,64	11,95	915,80
100	1 100,00	12,50	1 359,60	38 449,13	0,00	844,00	60,20	4 179,97	23,90	1 667,54	11,95	927,75
101	1 112,50	12,50	1 232,30	39 681,43	0,00	844,00	60,20	4 240,17	23,90	1 691,44	11,95	939,70
102	1 125,00	12,50	994,40	40 675,83	0,00	844,00	60,20	4 300,37	23,90	1 715,34	11,95	951,65
103	1 137,50	12,50	852,10	41 527,93	0,00	844,00	60,20	4 360,57	23,90	1 739,24	11,95	963,60
104	1 150,00	12,50	725,80	42 253,73	0,00	844,00	60,20	4 420,77	23,90	1 763,14	11,95	975,55
105	1 162,50	12,50	675,90	42 929,63	0,00	844,00	60,20	4 480,97	23,90	1 787,04	11,95	987,50
106	1 175,00	12,50	552,70	43 482,33	0,00	844,00	60,20	4 541,17	23,90	1 810,94	11,95	999,45
107	1 187,50	12,50	440,80	43 923,13	0,00	844,00	60,20	4 601,37	23,90	1 834,84	11,95	1 011,40
108	1 200,00	12,50	406,20	44 329,33	0,00	844,00	60,20	4 661,57	23,90	1 858,74	11,95	1 023,35
109	1 212,50	12,50	228,90	44 558,23	0,00	844,00	60,20	4 721,77	23,90	1 882,64	11,95	1 035,30
110	1 225,00	12,50	178,70	44 736,93	0,00	844,00	60,20	4 781,97	23,90	1 906,54	11,95	1 047,25
111	1 237,50	12,50	145,10	44 882,03	0,00	844,00	60,20	4 842,17	23,90	1 930,44	11,95	1 059,20
112	1 250,00	12,50	103,20	44 985,23	3,70	847,70	54,90	4 897,07	21,90	1 952,34	10,95	1 070,15
113	1 262,50	12,50	122,90	45 108,13	0,00	847,70	57,90	4 954,97	23,20	1 975,54	11,60	1 081,75
114	1 275,00	12,50	157,10	45 265,23	0,20	847,90	60,90	5 015,87	24,40	1 999,94	12,20	1 093,95
115	1 287,50	12,50	162,00	45 427,23	0,90	848,80	64,00	5 079,87	25,60	2 025,54	12,80	1 106,75
116	1 300,00	12,50	195,90	45 623,13	2,40	851,20	67,00	5 146,87	26,80	2 052,34	13,40	1 120,15

117	1 312,50	12,50	236,30	45 859,43	5,60	856,80	70,10	5 216,97	28,00	2 080,34	14,00	1 134,15
118	1 325,00	12,50	233,50	46 092,93	9,40	866,20	71,90	5 288,87	28,70	2 109,04	14,35	1 148,50
119	1 337,50	12,50	252,10	46 345,03	12,50	878,70	71,90	5 360,77	28,70	2 137,74	14,35	1 162,85
120	1 350,00	12,50	250,70	46 595,73	12,60	891,30	71,90	5 432,67	28,70	2 166,44	14,35	1 177,20
121	1 362,50	12,50	255,10	46 850,83	10,70	902,00	71,90	5 504,57	28,70	2 195,14	14,35	1 191,55
122	1 375,00	12,50	251,40	47 102,23	12,80	914,80	71,80	5 576,37	28,70	2 223,84	14,35	1 205,90
123	1 387,50	12,50	224,30	47 326,53	12,80	927,60	70,80	5 647,17	28,30	2 252,14	14,15	1 220,05
124	1 400,00	12,50	196,30	47 522,83	22,60	950,20	69,80	5 716,97	27,90	2 280,04	13,95	1 234,00
125	1 412,50	12,50	166,90	47 689,73	22,00	972,20	68,80	5 785,77	27,50	2 307,54	13,75	1 247,75
126	1 425,00	12,50	162,60	47 852,33	16,70	988,90	67,80	5 853,57	27,10	2 334,64	13,55	1 261,30
127	1 437,50	12,50	191,70	48 044,03	15,60	1 004,50	67,20	5 920,77	26,90	2 361,54	13,45	1 274,75
128	1 450,00	12,50	177,80	48 221,83	20,50	1 025,00	67,20	5 987,97	26,90	2 388,44	13,45	1 288,20
129	1 462,50	12,50	152,70	48 374,53	17,70	1 042,70	67,20	6 055,17	26,90	2 415,34	13,45	1 301,65
130	1 475,00	12,50	137,40	48 511,93	23,10	1 065,80	67,20	6 122,37	26,90	2 442,24	13,45	1 315,10
131	1 487,50	12,50	122,80	48 634,73	22,30	1 088,10	67,20	6 189,57	26,90	2 469,14	13,45	1 328,55
132	1 500,00	12,50	153,30	48 788,03	25,60	1 113,70	67,20	6 256,77	26,90	2 496,04	13,45	1 342,00
133	1 512,50	12,50	190,90	48 978,93	27,50	1 141,20	67,20	6 323,97	26,90	2 522,94	13,45	1 355,45
134	1 525,00	12,50	250,10	49 229,03	25,50	1 166,70	67,20	6 391,17	26,90	2 549,84	13,45	1 368,90
135	1 537,50	12,50	258,90	49 487,93	24,40	1 191,10	67,20	6 458,37	26,90	2 576,74	13,45	1 382,35
136	1 550,00	12,50	214,55	49 702,49	18,71	1 209,81	58,49	6 516,86	23,41	2 600,15	11,71	1 394,06
137	1 562,50	12,50		49 702,49		1 209,81		6 516,86		2 600,15	0,00	1 394,06
138	1 575,00	12,50		49 702,49		1 209,81		6 516,86		2 600,15	0,00	1 394,06
139	1 587,50	12,50		49 702,49		1 209,81		6 516,86		2 600,15	0,00	1 394,06
140	1 600,00	12,50	192,68	49 895,16	13,40	1 223,22	51,77	6 568,63	20,72	2 620,88	10,36	1 404,42
141	1 612,50	12,50	212,60	50 107,76	18,30	1 241,52	67,20	6 635,83	26,90	2 647,78	13,45	1 417,87
142	1 625,00	12,50	168,40	50 276,16	19,20	1 260,72	67,20	6 703,03	26,90	2 674,68	13,45	1 431,32
143	1 637,50	12,50	160,40	50 436,56	25,30	1 286,02	68,50	6 771,53	27,10	2 701,78	13,55	1 444,87
144	1 650,00	11,23	133,70	50 570,26	22,20	1 308,22	61,60	6 833,13	24,30	2 726,08	12,15	1 457,02
145	1 659,96	6,25	73,50	50 643,76	12,60	1 320,82	34,30	6 867,43	13,50	2 739,58	6,75	1 463,77

146	1 662,50	7,52	74,90	50 718,66	13,90	1 334,72	41,20	6 908,63	16,30	2 755,88	8,15	1 471,92
147	1 675,00	12,50	142,00	50 860,66	20,80	1 355,52	70,50	6 979,13	27,90	2 783,78	13,95	1 485,87
148	1 687,50	12,50	128,00	50 988,66	21,60	1 377,12	70,80	7 049,93	28,00	2 811,78	14,00	1 499,87
149	1 700,00	12,50	100,20	51 088,86	25,30	1 402,42	70,80	7 120,73	28,00	2 839,78	14,00	1 513,87
150	1 712,50	12,50	133,50	51 222,36	22,90	1 425,32	70,80	7 191,53	28,00	2 867,78	14,00	1 527,87
151	1 725,00	12,50	143,00	51 365,36	16,00	1 441,32	70,80	7 262,33	28,00	2 895,78	14,00	1 541,87
152	1 737,50	12,50	116,80	51 482,16	11,40	1 452,72	70,80	7 333,13	28,00	2 923,78	14,00	1 555,87
153	1 750,00	12,50	75,40	51 557,56	26,10	1 478,82	70,80	7 403,93	28,00	2 951,78	14,00	1 569,87
154	1 762,50	12,50	61,00	51 618,56	26,60	1 505,42	70,80	7 474,73	28,00	2 979,78	14,00	1 583,87
155	1 775,00	12,50	68,50	51 687,06	28,60	1 534,02	73,30	7 548,03	29,00	3 008,78	14,50	1 598,37
156	1 787,50	12,50	96,00	51 783,06	32,10	1 566,12	79,70	7 627,73	31,50	3 040,28	15,75	1 614,12
157	1 800,00	12,50	109,50	51 892,56	32,10	1 598,22	86,00	7 713,73	34,10	3 074,38	17,05	1 631,17
158	1 812,50	12,50	116,70	52 009,26	30,20	1 628,42	87,30	7 801,03	34,60	3 108,98	17,30	1 648,47
159	1 825,00	12,50	119,00	52 128,26	27,30	1 655,72	84,20	7 885,23	33,30	3 142,28	16,65	1 665,12
160	1 837,50	12,50	114,20	52 242,46	28,80	1 684,52	78,30	7 963,53	31,00	3 173,28	15,50	1 680,62
161	1 850,00	12,50	89,30	52 331,76	21,50	1 706,02	72,50	8 036,03	28,60	3 201,88	14,30	1 694,92
162	1 862,50	12,50	99,20	52 430,96	25,80	1 731,82	70,80	8 106,83	28,00	3 229,88	14,00	1 708,92
163	1 875,00	12,50	97,20	52 528,16	26,30	1 758,12	70,80	8 177,63	28,00	3 257,88	14,00	1 722,92
164	1 887,50	12,50	95,30	52 623,46	23,20	1 781,32	70,80	8 248,43	28,00	3 285,88	14,00	1 736,92
165	1 900,00	12,50	92,70	52 716,16	25,00	1 806,32	70,80	8 319,23	28,00	3 313,88	14,00	1 750,92
166	1 912,50	12,50	80,90	52 797,06	25,70	1 832,02	70,80	8 390,03	28,00	3 341,88	14,00	1 764,92
167	1 925,00	12,50	80,30	52 877,36	27,00	1 859,02	70,80	8 460,83	28,00	3 369,88	14,00	1 778,92
168	1 937,50	12,50	74,50	52 951,86	27,30	1 886,32	70,80	8 531,63	28,00	3 397,88	14,00	1 792,92
169	1 950,00	12,50	77,90	53 029,76	31,20	1 917,52	70,80	8 602,43	28,00	3 425,88	14,00	1 806,92
170	1 962,50	12,50	149,40	53 179,16	30,00	1 947,52	70,80	8 673,23	28,00	3 453,88	14,00	1 820,92
171	1 975,00	12,50	69,70	53 248,86	29,60	1 977,12	70,80	8 744,03	28,00	3 481,88	14,00	1 834,92
172	1 987,50	12,50	88,60	53 337,46	27,30	2 004,42	70,80	8 814,83	28,00	3 509,88	14,00	1 848,92
173	2 000,00	12,50	93,20	53 430,66	25,90	2 030,32	70,80	8 885,63	28,00	3 537,88	14,00	1 862,92
174	2 012,50	12,50	86,10	53 516,76	23,30	2 053,62	70,80	8 956,43	28,00	3 565,88	14,00	1 876,92

175	2 025,00	12,50	87,20	53 603,96	24,40	2 078,02	76,30	9 032,73	30,20	3 596,08	15,10	1 892,02
176	2 037,50	12,50	74,70	53 678,66	28,40	2 106,42	83,20	9 115,93	32,90	3 628,98	16,45	1 908,47
177	2 050,00	12,50	69,80	53 748,46	30,80	2 137,22	87,20	9 203,13	34,60	3 663,58	17,30	1 925,77
178	2 062,50	12,50	81,60	53 830,06	32,80	2 170,02	87,20	9 290,33	34,60	3 698,18	17,30	1 943,07
179	2 075,00	9,86	55,90	53 885,96	26,10	2 196,12	64,40	9 354,73	25,50	3 723,68	12,75	1 955,82
180	2 082,21	6,25	30,30	53 916,26	16,50	2 212,62	38,80	9 393,53	15,40	3 739,08	7,70	1 963,52
181	2 087,50	8,89	46,20	53 962,46	20,20	2 232,82	53,20	9 446,73	21,00	3 760,08	10,50	1 974,02
182	2 100,00	12,50	85,70	54 048,16	30,60	2 263,42	70,80	9 517,53	28,00	3 788,08	14,00	1 988,02
183	2 112,50	8,83	57,50	54 105,66	20,70	2 284,12	50,00	9 567,53	19,80	3 807,88	9,90	1 997,92
184	2 117,66	6,25	39,30	54 144,96	14,00	2 298,12	35,40	9 602,93	14,00	3 821,88	7,00	2 004,92
185	2 125,00	9,92	77,00	54 221,96	22,30	2 320,42	56,20	9 659,13	22,20	3 844,08	11,10	2 016,02
186	2 137,50	12,50	101,40	54 323,36	27,70	2 348,12	70,80	9 729,93	28,00	3 872,08	14,00	2 030,02
187	2 150,00	12,50	103,80	54 427,16	30,40	2 378,52	70,80	9 800,73	28,00	3 900,08	14,00	2 044,02
188	2 162,50	12,50	123,10	54 550,26	26,40	2 404,92	70,80	9 871,53	28,00	3 928,08	14,00	2 058,02
189	2 175,00	12,50	132,40	54 682,66	22,80	2 427,72	70,80	9 942,33	28,00	3 956,08	14,00	2 072,02
190	2 187,50	12,50	127,10	54 809,76	21,20	2 448,92	70,80	10 013,13	28,00	3 984,08	14,00	2 086,02
191	2 200,00	12,50	151,20	54 960,96	17,50	2 466,42	70,80	10 083,93	28,00	4 012,08	14,00	2 100,02
192	2 212,50	12,50	154,50	55 115,46	14,40	2 480,82	70,80	10 154,73	28,00	4 040,08	14,00	2 114,02
193	2 225,00	12,50	171,60	55 287,06	12,10	2 492,92	70,80	10 225,53	28,00	4 068,08	14,00	2 128,02
194	2 237,50	12,50	88,85	55 375,91	6,30	2 499,22	35,40	10 260,93	14,00	4 082,08	7,00	2 135,02
195	2 250,00	12,50		55 375,91		2 499,22		10 260,93		4 082,08	0,00	2 135,02

ANNEXE 5

LES PANNEAUX DE SIGNALISATION



Figure 1 - Contournement obligatoire



Figure 2 – Ralentisseur



Figure 3 - Passage pour piéton



Figure 4 – Hôpital



Figure 5 - Arrêt pour autobus



Figure 6 - Contournement obligatoire



Figure 7 - Limitation de vitesse 30km/h



Figure 8 - Carrefour à sens giratoire



Figure 9 - Cédez le passage



Figure 10 - Contournement obligatoire



Figure 11 - Arrêt Obligatoire

Figure 12 - Sens interdit



Figure 13 - Parking

ANNEXE 6

CALCULS STRUCTURELS – NOTE DE CALCUL DU CANIVEAU CG12 180X160

Dimensions : portée = 1.6m ; hauteur = 1.8m

PREDIMENSIONNEMENT

Epaisseur du radier et piédroits

$$e \geq l/15 = 0.1$$

$$e \geq (l/10 - 5) = 0.1$$

Nous adoptons $e = 0.15 = 15 \text{ cm}$

Epaisseur de la dalette

$$e \geq l/15 = 0.105$$

Nous adoptons $e = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$

CALCUL DE LA DALETTE

Elle est calculée sous l'hypothèse d'une charge concentrée d'une roue isolée de 06 tonnes
(60kN)

Efforts et sollicitations

Poids au mL de la dalette = $25 * 0.2 * 1 = 5 \text{ kN/m}$

Moment de flexion dû à la roue = $\frac{60 * 1.6}{4} = 27 \text{ kN.m}$

Moment dû au poids propre = $\frac{5 * 1.92^2}{8} = 2.3 \text{ kN.m}$

Effort tranchant dû à la roue = $60/2 = 30 \text{ kN}$

Effort tranchant dû au poids propre = $\frac{5 * 1.92}{2} = 4.8 \text{ kN}$

Éléments de réduction de calcul

A l'état limite ultime:

$$M_u = 27 * 1.5 + 2.3 * 1.35 = 43.61 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 1.5 * 30 + 1.35 * 4.8 = 51.48 \text{ kN}$$

Etat limite de service:

$$M_s = 27 + 2.3 = 29.3 \text{ kN.m}$$

$$T_s = 30 + 4.8 = 34.8 \text{ kN}$$

Les aciers de flexion à ELU

$$\text{Moment réduit de l'acier } \mu_l = 3440 * 1 * \left(\frac{43.61}{29.3} \right) + \frac{49 * 25}{1} - 3050 = 0.329$$

$$\text{Hauteur utile des aciers } d = 0.02 - 0.03 = 0.17 \text{ m}$$

$$\text{Moment réduit du béton } \mu_u = \frac{M_u}{b * d^2 * F_{bu}} = \frac{0.0436}{1 * 0.17^2 * 14.17} = 0.107$$

On remarque que $\mu_u < \mu_l$ donc il n'y a pas d'aciers comprimés

Le bras de levier des aciers :

$$Z_u = 0.17 * \left(1 - 0.4 * \left(1.25 * \left(1 - \text{racine} \left(1 - 2 * 0.107 \right) \right) \right) \right) = 0,16$$

$$\text{Section d'aciers tendus } A_{st} = \frac{Mu}{(Z_u * \sigma_{st})} = \frac{0.0436}{0.16 * 347.83} * 10000 = 7.82 \text{ Cm}^2$$

$$\text{Section d'acier minimum } A_{min} = 0.23 * b_o * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e} \right) = \frac{0.23 * 1 * 0.17 * 2.1}{400} * 10000 = 2.05 \text{ Cm}^2$$

Les aciers d'effort tranchant

$$\text{La contrainte tangentielle } T_o = \frac{0.0515}{1 * 0.17} = 0.303 \text{ MPa}$$

$$\text{La contrainte tangentielle ultime } T_u = \max \left(\frac{0.2 * 25}{1.5}; 5 \right) = 2.5 \text{ MPa}$$

Choix d'une section: $\Phi 6$ ($A_t = 0.28 \text{ cm}^2$)

Par conséquent,

$$\text{L'écartement initial } S_{to} \leq \frac{0.9 * 400 * 0.35}{(0.303 - 0.3 * 2.1) * 1 * 1.15} = -4.78 \text{ cm}$$

Il n'y a donc pas d'aciers transversaux

Les aciers de flexion à ELS

$$M_{ser} = 29.3 \text{ kN.m}$$

La contrainte limite de compression du béton :

$$\sigma_{bc} = 0.6 * f_{c28} = 0.6 * 25 = 15 \text{ MPa}$$

La contrainte limite de traction des aciers en condition de fissuration préjudiciable :

$$\begin{aligned} \sigma_{st} &= \varphi = \min \left[\left(\frac{2}{3} \right) * f_e ; \max(0.5 * f_e ; 110 * \sqrt{\eta * f_{tj}}) \right] \\ &= \min[266.67 ; \max(200 ; 201.63)] \\ \sigma_{st} &= 201.63 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Les paramètres de déformation :

$$\alpha_{ser} = \frac{n * \sigma_{bc}}{n * \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} = 0.527$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0.527 * 0.17 = 0.095 \text{ m}$$

$$Z_s = d - \frac{y_s}{3} = 0.17 - \frac{0.095}{3} = 0.138 \text{ m}$$

Moment résistant :

$$M_{serb} = 0.5 * b_o * Y_{ser} * \sigma_{bc} * Z_{ser} = 0.5 * 1 * 0.095 * 15 * 0.138 = 98.51 \text{ kN.m}$$

$$M_{ser} = 24.14 \text{ kN.m} < M_{serb} \Rightarrow \text{Il n'y a pas d'aciers comprimés}$$

Section d'aciers :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z * \sigma_{st}} = \frac{0.0293}{0.138 * 201.63} * 10000 = 10.5 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0.23 * b_0 * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e}\right) = 0.23 * 1 * 0.17 * \left(\frac{2.1}{400}\right) * 10000 = 2.17 \text{ cm}^2$$

Nous considérerons alors les aciers à l'état limite de service : **A_{st} = 10.5 cm²**

On a donc les aciers de répartition $A_r = 10.5/3 = 3.5 \text{ cm}^2/\text{m}$, par conséquent pour 1.92m on a

$$A_r = 3.5 * 1.92 = 6.72 \text{ cm}^2$$

LES PIEDROITS

Hypothèse 1: Cas de la dalette chargée s'appuyant sur les piédroits, calcul en flexion composée

Effort dû à la roue $B_r, V_{br} = 60/2 = 30 \text{ kN}$

Effort dû au poids propre de la dalette = $25 * 0.2 * 1 = 5 \text{ kN/m}$

Effort dû au poids propre des piédroits = $25 * 0.15 * 1.6 = 6.75 \text{ kN/m}$

Poussée des terres $H_t = 0.33 * 18 * 1.75 = 14.63 \text{ kN/m}$

Calcul à l'Etat limite ultime

Effort normal = $1.5 * 30 + 1.35 * (5 + 6.75) = 60.86 \text{ kN}$

Poussée des terres transmise au piédroit à ELU $H_{tu} = 1.35 * 14.63 = 19.74 \text{ kN/m}$

Moment d'encastrement dû à $H_{tu}, M_u = (19.74 * (1.6^2))/3 = 21.32 \text{ kN.m}$

Excentricité totale $e = 21.32/60.86 + \max(0.02 ; 1/250) +$

$((2.94 * 1)/10000) * (1 + 21.32/(21.32 + 14.63 * 1.6)) = 0.37 \text{ m}$

Moment au centre de gravité des aciers tendus

$M_{uA} = N_u * (e + 0.4 * h) = 60.86 * (0.37 + 0.4 * 1.6) = 61.54 \text{ kN.m}$

La hauteur utile $d = 0.15 - 0.03 = 0.12 \text{ m}$

Le moment réduit : $\mu_u = \frac{M_{uA}}{b_0 * d^2 * f_{bu}} = \frac{0.061}{1 * 0.12^2 * 14.17} = 0.302$

Le bras de levier :

$$Z_u = d * \left(1 - 0.4 * 1.25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2 * \mu_u}\right)\right)$$

$$= 0.12 * \left(1 - 0.4 * 1.25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2 * 0.302}\right)\right) = 0.098 \text{ m}$$

Section d'aciers tendus :

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u * F_{su}} - \frac{N_u}{\sigma_{st}} = \left(\frac{0.061}{0.098 * 347.83} - \frac{0.061}{201.63}\right) * 10000 = 13.75 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0.23 * b_0 * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e}\right) = 0.23 * 1 * 0.12 * \left(\frac{2.1}{400}\right) = 1.449 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'Etat limite de service

$$\text{Le moment de service } M_{ser} = \frac{14.63 \cdot 1.6^2}{3} = 12.5 \text{ kN.m}$$

$$\text{L'effort normal de compression : } N_{ser} = 30 + (6.75 + 5) = 41.75 \text{ kN}$$

$$\text{La hauteur utile : } d = 0.15 - 0.03 = 0.12 \text{ m}$$

$$\text{L'excentricité totale : } e_A = \frac{M_s}{N_s} + \left(d - \frac{h}{2}\right) = \frac{12.5}{41.75} + \left(0.12 - \frac{0.15}{2}\right) = 0.34 \text{ m}$$

Le moment ramené au centre de gravité des aciers tendus :

$$M_{serA} = N_{ser} * e_A = 41.75 * 0.34 = 14.38 \text{ kN.m}$$

Les paramètres de déformation :

$$\alpha_{ser} = \frac{n * \sigma_{bc}}{n * \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} = 0.527$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0.527 * 0.12 = 0.063 \text{ m}$$

$$Z_s = d - \frac{y_s}{3} = 0.12 - \frac{0.095}{3} = 0.099 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0.5 * b_o * Y_{ser} * \sigma_{bc} * Z_{ser} = 0.5 * 1 * 0.063 * 15 * 0.1 = 46.95 \text{ kN.m}$$

$$M_{ser} = 4.86 \text{ kN.m} < M_{serb} \Rightarrow \text{Il n'y a pas d'aciers comprimés}$$

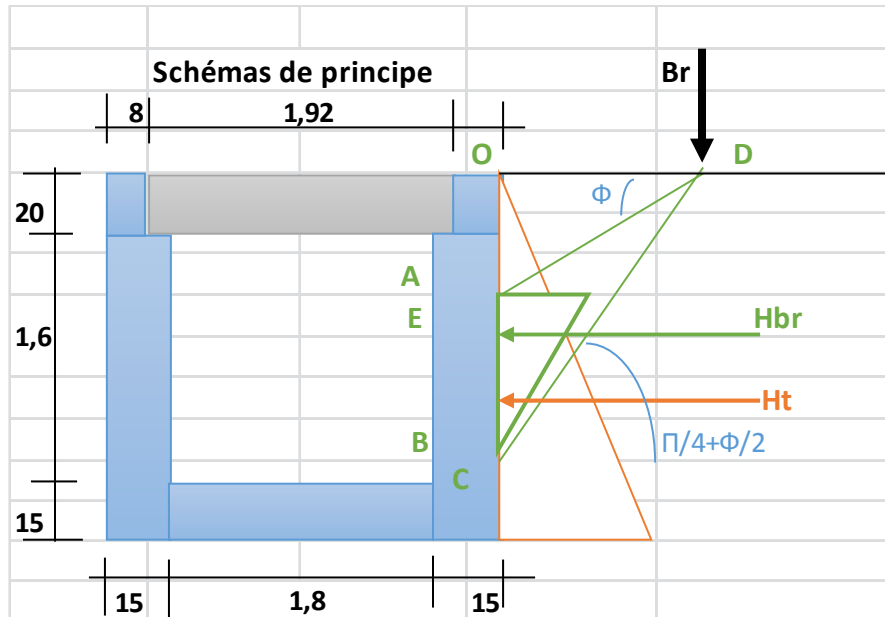
Section d'aciers :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z * \sigma_{st}} - N_u / f_{su} = \left(\frac{0.01438}{0.1 * 201.63} - \frac{0.0417}{201.63} \right) * 10000 = 4.2 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0.23 * b_o * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e} \right) = 0.23 * 1 * 0.12 * \left(\frac{2.1}{400} \right) * 10000 = 1.45 \text{ cm}^2$$

Hypothèses 2: Le piédroit est soumis aux surcharges de la chaussée, calcul en flexion simple



Distance de l'axe d'impact au piédroit (OD) = 0,5 m

L'angle de diffusion longitudinale des charges $\Phi = 30^\circ$

Zone soumise à aucune poussée (OA) = $OD \cdot \tan(\Phi) = 0.5 \cdot \tan(30) = 0,289$ m

$OB = OD \cdot \tan(\pi/4 + \Phi/2) = 0.5 \cdot \tan(60) = 0,866$ m

Zone soumise aux poussées de roues (AB) = $0.866 - 0.289 = 0,577$ m

Bras de levier de la poussée de roue (AE) = $AB/3 = 0.577/3 = 0,192$ m

Point d'application de la poussée de roue par rapport à l'encastrement :

(EC) = $(0.2 + 1.6) - OA - AE = 1.8 - 0.289 - 0.192 = 1,319$ m

Résultante dû à la surcharge roues $H_{br} = K_a \cdot \gamma \cdot AB = 0.33 \cdot 60 \cdot 0.577 = 12.99$ kN/m

Résultante due à la poussée des terres $H_t = 0.33 \cdot 18 \cdot 1.75 = 14.63$ kN/m

Calcul des armatures à l'ELU

Moment d'encastrement $M_{br} = H_{br} \cdot EC = 12.99 \cdot 1.319 = 17.13$ kN.m

Moment d'encastrement $M_t = H_t \cdot (1.6/3) = 14.63 \cdot 0.533 = 8.78$ kN.m

Moment d'encastrement dû à ces poussées à ELU $M_u = 1.5 \cdot 17.13 + 1.35 \cdot 8.78 = 37.55$ kN.m

$\gamma = 37.55 / (17.13 + 8.78) = 1.35$

Moment réduit de l'acier $\mu_l = 3440 \cdot 1 \cdot 1.35 + (49 \cdot 25) / 1 - 3050 = 0.319$

Hauteur utile des aciers $d = 0.15 - 0.03 = 0.12$ m

Moment réduit du béton $\mu_u = 0.01666 / (1 \cdot (0.12^2) \cdot 14.17) = 0.145$

On remarque que $\mu_u < \mu_l$ donc il n'y a pas d'aciers comprimés

Le bras de levier des aciers $Z_u = 0.12 \cdot (1 - 0.4 \cdot (1.25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0.145}))) = 0,124$

Section d'aciers tendus $A_{st} = 0.038 / (0.124 \cdot 347.83) = 8.68$ cm²

Section d'acier minimum $A_{min} = (0.23 \cdot 1 \cdot 0.12 \cdot 2.1) / 400 = 1.45$ cm²

Calcul des armatures à l'ELS

Le moment de service est $M_{ser} = 25.91 \text{ kN.m}$

Les paramètres de déformations :

$$\alpha = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} = 0.527$$

$$y_{ser} = 0.53 * 0.12 = 0.071$$

$$Z_{ser} = 0.12 - \frac{0.071}{3} = 0.096 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0.5 * 1 * 0.071 * 15 * 0.096 = 51.4 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} = 11.1 \text{ kN.m} < M_{serb} \Rightarrow$ Il n'y a pas d'aciers comprimés

$$A_{st} = \frac{0.026}{0.096 * 347.83} * 10000 = 13.35 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0.23 * 1 * 0.12 * \left(\frac{2.1}{400}\right) * 10000 = 1.63 \text{ cm}^2$$

Nous retenons donc les résultats de l'hypothèse 1, donc

$$A_{st} = 13.75 \text{ cm}^2 \text{ et } A_r = 13.75 * 1.75 = 8.02 \text{ cm}^2$$

CALCUL DU RADIER

Charges et sollicitations

Poids propre de la dalette $P_d = 5 \text{ kN/m}$

Poids propre des piédroits $P_p = 2 * 6.75 = 13.5 \text{ kN/m}$

Poids propre du radier $P_r = 25 * 0.15 * 1 = 3.75 \text{ kN/m}$

$P_u = 1.35 * (5 + 13.5 + 3.75) = 30.04 \text{ kN.m}$

$P_{ser} = 5 + 13.5 + 3.75 = 22.25 \text{ kN.m}$

Le moment ELU : $M_u = \frac{P_u * l^2}{8} = \frac{30.04 * 1.8^2}{8} = 16.56 \text{ kN.m}$

Le moment ELS : $M_s = \frac{22.25 * 1.8^2}{8} = 12.256 \text{ kN.m}$

Calcul à l'ELU

La hauteur utile $d = 0.15 - 0.03 = 0.12 \text{ m}$

Le moment réduit : $\mu_u = \frac{M_u}{b * d^2 * f_{bu}} = \frac{0.0165}{1 * 0.12^2 * 14.17} = 0.0812$

Le bras de levier :

$$Z_u = d * \left(1 - 0.4 * 1.25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2 * \mu_u}\right)\right)$$
$$= 0.12 * \left(1 - 0.4 * 1.25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2 * 0.0812}\right)\right) = 0.129 \text{ m}$$

Section d'aciers tendus :

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u * F_{su}} = \frac{0.0165}{0.129 * 347.83} * 10000 = 3.68 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0.23 * b_o * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e}\right) = 0.23 * 1 * 0.12 * \left(\frac{2.1}{400}\right) = 1.449 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELS

$$y_{ser} = \alpha * d = \frac{\eta * \sigma_{bc}}{\eta * \sigma_{bc} + \sigma_{st}} * d = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} * 0.12 = 0.063 \text{ m}$$

$$Z_{ser} = d - \frac{y_{ser}}{3} = 0.12 - \frac{0.063}{3} = 0.1$$

$$A_{st} = \frac{0.022}{0.1 * 347.83} * 10000 = 6.15 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0.23 * 1 * 0.12 * \left(\frac{2.1}{400}\right) * 10000 = 1.45 \text{ cm}^2$$

On retient $A_{st} = 6.15 \text{ cm}^2$

Les aciers de répartition : **$A_r = (6.15/3) * 1.8 = 3.69 \text{ cm}^2$**

RECAPITULATIF CANIVEAU 150x100

		Dalette	Piédroits	Radier
Aciers principaux	Armature	7HA12 (7.92cm ²)	9HA14 (13.85 cm ²)	9HA10 (7.06 cm ²)
	Espacement (cm)	16		
Aciers de répartition	Armature	10HA8 (5.03 cm ²)	10HA8 (5.03 cm ²)	10HA8 (5.03 cm ²)
	Espacement (cm)	21	21	21

Pour les cas de nappe externe, nous utiliserons des aciers forfaitaires HA8

ANNEXE 7

PLAN DE COFFRAGE ET DE FERRAILLAGE DU CANIVEAU CG12

ANNEXE 8

CALCULS STRUCTURELS – NOTE DE CALCULS DU DALOT DG9 1x200x140

PREDIMENSIONNEMENT

Nous déterminons l'épaisseur commune de la traverse, des piédroits et du radier :

$$e \geq \frac{l}{32} + 0.125 = \frac{2}{32} + 0.125 = 0.1875$$

Nous optons pour $e = 0.2 = 20 \text{ cm}$

Les caractéristiques du dalot sont :

Largeur = 2 m

Hauteur = 1.4 m

Largeur roulable = 14.53 m

Guide roues : l = 0.2m et h = 0.3m

Hauteur de remblai sur tablier = 0.66m

CALCUL DES CHARGES PERMANENTES

Les charges permanentes sur le radier

Le revêtement = $22 * 0.05 * (0.2 * 2 + 2) = 2,64 \text{ kN/m}$

L'étanchéité = $24 * 0.02 * 2 = 1,152 \text{ kN/m}$

Poids propre + remblais = $(25 * 0.2 + 20 * 0.66) * 2 = 18,2 \text{ kN/m}$

Guides roues = $2 * (25 * 0.2 * 0.3) = 10 \text{ kN/m}$

Poids G1 = 31,992 kN/m

Les charges permanentes des piédroits

$2 * (25 * 0.2 * 1) = 10 \text{ kN/m}$

Les charges permanentes sur le radier

Poids propre = $25 * 0.2 * 1 = 5 \text{ kN/m}$

$G2 = 31,992 + 10 + 5 = 85.135$

G2 = 47 kN/m

Les poussées latérales

Au niveau de la traverse $P3 = (k * Pt + q0) * (Hr + e/2) = (0.333 * 20 * 10) * (0.69 + 0.2/2) = 14,82 \text{ kN/m}$

Au niveau du radier $P4 = (0.333 * 20 * 10) * (0.69 + 0.2 + 1.4 + 0.2/2) = 46,02 \text{ kN/m}$

Surcharge sur remblais $q = Qs/Lr = 10 \text{ kN}/14.53 \text{ m} = 0.69 \text{ kN/m}$

LES SURCHARGES ROUTIERES

Le nombre de voies = $\text{Ent}(Lc/3.5) = \text{Ent}((14,53-1)/3.5) = 4$

Dalot de classe 1 car la longueur roulable = 14,53m est supérieure à 7 m

Par conséquent le coefficient de dégressivité transversale $a1 = 0,9$

$A(L) * a1 = 0.9 * (2.3 + 360 / (14.5 + 12)) = 14,76$

La densité de charge effective $q(L) = \max(4 - 0.002 * 14.5 ; 14,76) = 14,76 \text{ kN/m}$

Surcharges du système A

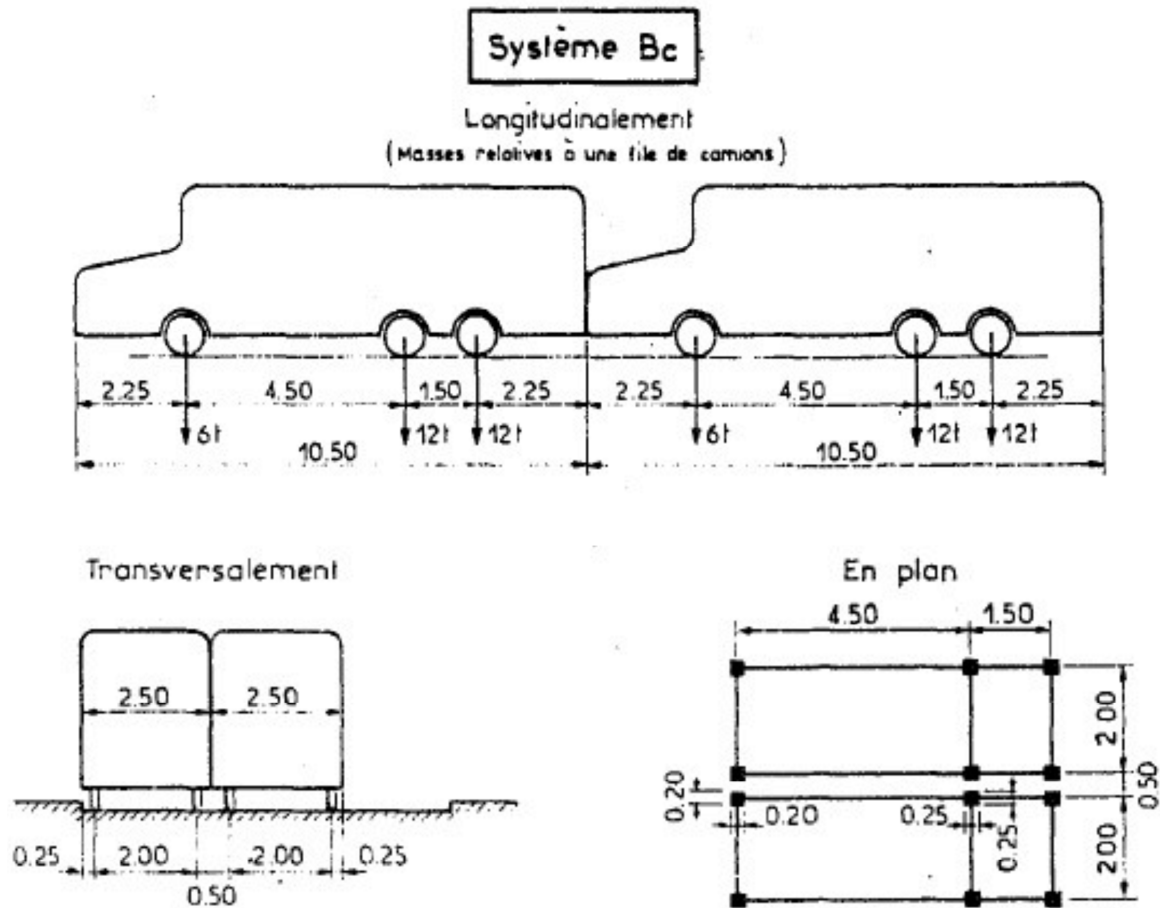
Classe 1, $V_0 = 3.5\text{m}$

$V = 14,53/3 = 4.84\text{m}$

On aura donc $a_2 = 3.5/4.84 = 0,723$

Surcharge Q = $1,61 \cdot 0,72 \cdot 14,76 = 12,8 \text{ kN/m}$

Sous système Bc



La portée du dalot est de 2m, on ne peut avoir que les 2 essieux arrière simultanément sur le dalot. Le nombre de voies est de 4. Par conséquent

$$\text{Poids } S = 4 \cdot (120 + 120) = 960 \text{ kN}$$

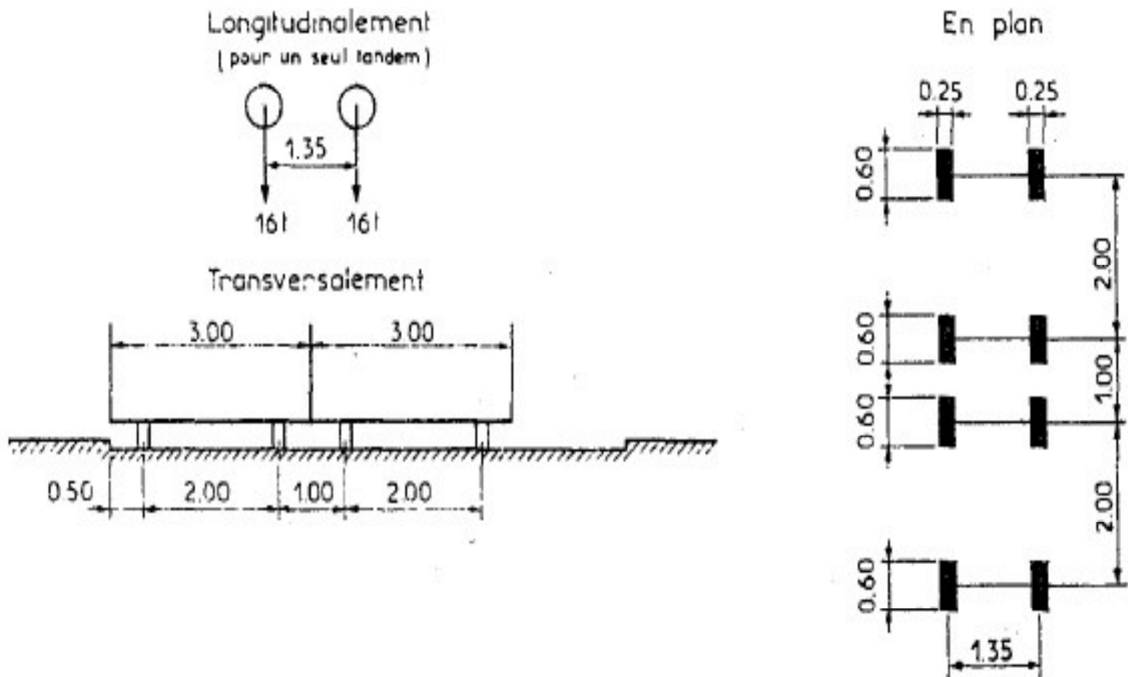
$$\text{Poids } G = G_1 \cdot L_r = 31.992 \cdot 14.53 = 464,84 \text{ kN}$$

Coefficient de majoration dynamique δ_{bc} :

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \cdot 14.53} + \frac{0.6}{1 + \frac{4 \cdot 464.84}{960}} = 1,31$$

$$\text{La surface d'influence} = 9.5 \cdot 1.5 = 14.25\text{m}^2$$

Sous système Bt



Le poids $S = 4 * (2 * 160) = 1280 \text{ kN}$

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 14.53} + \frac{0.6}{1 + \frac{4 * 1280}{960}} = 1,35$$

La surface d'impact = $1.35 * (2+1+2+1+2+1+2) = 14,85\text{m}^2$

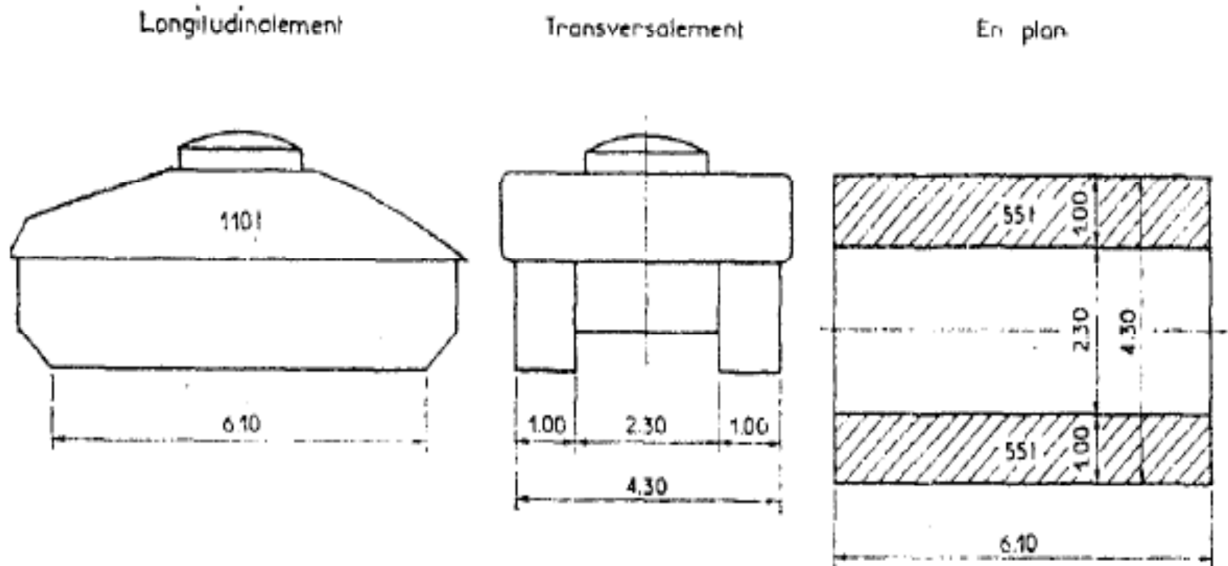
Surcharges du système B

$B_c : Q = 1.2 * 1.35 * 0.8 * (960/14.25) = 87,3 \text{ kN}$

$B_t : 1.2 * 1.35 * 1 * (1280/14.85) = 139,33 \text{ kN}$

Surcharge Q = 139,33kN

Surcharges militaires Mc120



Nombre de voies = Ent (14.53/4.6) = 3

Poids S = 1100*3 = 3300 kN

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 14.53} + \frac{0.6}{1 + \frac{4 * 3300}{960}} = 1,5$$

Surface d'impact = 3*4.3*2 = 25,8m²

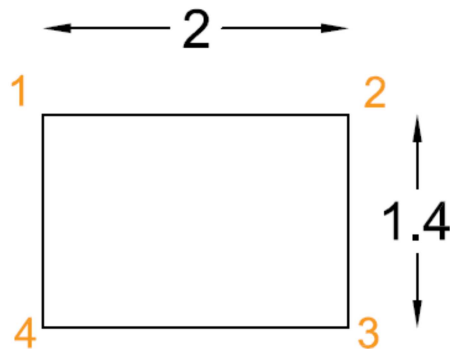
Q = (1.2*3300*1.5)/25,8 = 190,09 kN

Surcharge Q = 190,1 kN

La charge d'exploitation

Q1 = 190,1/14,53 = 13,08 kN/m

CALCULS DES SOLLICITATIONS SOUS CHARGES PERMANENTES



Les moments d'inertie I du tablier, du radier et des piédroits sont égaux. Le module d'élasticité E étant constant on peut le prendre égal à 1.

On a : m_{ij} = moment d'encastrement appliqué au nœud i par la barre ij

On a : a_i = rotation du nœud i

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

Les barres ayant la même épaisseur, le produit d'inertie donne :

$$I = (bh^3)/12 = (1*0.2^3)/12 = 0,000667 \text{ m}^4$$

Les barres ayant la même longueur, le coefficient caractéristique de rigidité des barres transversales ou horizontales (traverse et radier) donne :

$$K1 = (2*E*I)/L = (2*0.000667*1)/2 = 0,00061 \text{ N/m.}$$

Le coefficient $k2$ pour les barres verticales (piédroits) :

$$K2 = 0,00083$$

Calcul des moments d'encastrement m_{ij}

$$\text{On a : } m_{1.2} = -(G1*I^2)/12 = -(32*2^2)/12 = -10,66 \text{ kN.m et } m_{2.1} = -m_{1.2} = 10,66$$

$$\text{On a } m_{4.3} = (G2*I^2)/12 = 15,66 \text{ kN.m et } m_{3.4} = -15,66$$

$$\text{On a : } m_{1.4} = ((P4-P3)*h^2)/30 + (P3*h^2)/12 = 7,52 \text{ kN.m et } m_{4.1} = -7,52$$

$$\text{On aura alors : } m_{2.3} = 7,52 \text{ et } m_{3.2} = -7,52 \text{ kN.m}$$

Calcul des rotations a_i

$$M_{ij} = k*(2a_i + a_j) + m_{ij}$$

Les équilibres aux nœuds sont :

Au nœud 1 par exemple : $M_{1.2} = k1*(2*a1 + a2) + m_{1.2}$ et $M_{1.4} = k2*(2*a1 + a4) + m_{1.4}$ et l'équilibre donne $M_{1.2} + M_{1.4} = 0$.

Les équilibres établis à chaque nœud nous donnent donc 04 équations à 04 inconnues dont la résolution nous donne les résultats suivants :

$$\text{On a : } a1 = 4668,05 \text{ m}^4 ; a2 = -9202,6 \text{ m}^4 ; a3 = 11906,92 \text{ m}^4 \text{ et } a4 = -5656,33 \text{ m}^4$$

Calcul des moments statiques M_{ij}

Exemple du nœud 1 :

$$M_{1.2} = 0.00061 * (2 * 4668,05 - 9202,6) - 10,66 = -10,58 \text{ kN.m}$$

$$M_{1.4} = 0.00083 * (2 * 4668,05 - 5656,3) + 7,52 = 10,58 \text{ kN.m}$$

$$M_{2.3} = 2,1 \text{ et } M_{2.1} = 2,34$$

$$M_{3.4} = -4,66 \text{ et } M_{3.2} = 4,66$$

$$M_{4.1} = -13,05 \text{ et } M_{4.3} = 16,02$$

Les moments isostatiques au milieu des travées

$$\text{Le tablier : } M_o = (g_1 * l^2) / 8 = (32 * 2^2) / 8 = 16 \text{ kN.m}$$

$$\text{Les piédroits : } M_o = (p_3 * h^2) / 8 + ((p_4 - p_3) * h^2) / 16 = 7,45 \text{ kN.m}$$

$$\text{Le radier : } M_o = (g_2 * l^2) / 8 = -23,5 \text{ kN.m}$$

Les moments maximum

Au niveau du tablier :

$$\text{Appui gauche : } M_{ag} = M_{1.2} = -10,58 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui droit : } M_{ad} = M_{2.1} = -10,58 \text{ kN.m}$$

$$\text{Moment en travée } M_t = (M_{ag} + M_{ad}) / 2 + M_o = (-10,58 - 10,58) / 2 + 16 = 9,54 \text{ kN.m}$$

Au niveau du radier

$$\text{Appui gauche} = M_{4.3} = 16,02 \text{ et appui droit} = -M_{3.4} = 16,02$$

$$M_t = (2 * 16,02) / 2 - 23,5 = -13,15 \text{ kN.m}$$

Piédroit gauche

$$\text{Appui inférieur} = M_{4.1} = -13,05 \text{ kN.m et appui supérieur} = -M_{1.4} = -10,6 \text{ kN.m}$$

$$\text{Moment en travée } M_t = (-13,05 - 10,6) / 2 + 7,52 = -4,068 \text{ kN.m}$$

Piédroit droit

$$\text{Appui inférieur} = -4,7 \text{ et appui supérieur} = -2,1$$

$$M_{tt} = 8,73 \text{ kN.m}$$

Les réactions d'appui

Tablier :

$$\text{Appui gauche : } R_{ag} = (M_{ad} - M_{ag}) / L + (g_1 * L) / 2 = 36,1 \text{ kN}$$

$$\text{Appui droit : } R_{ad} = (M_{ag} - M_{ad}) / L + (g_1 * L) / 2 = 36,1 \text{ kN}$$

Radier :

$$\text{Appui gauche} = R_{ag} = (M_{ad} - M_{ag}) / L + (g_2 * L) / 2 = -52,7 \text{ kN}$$

$$\text{Appui droit} = (M_{ag} - M_{ad}) / L + (g_2 * L) / 2 = -52,7 \text{ kN}$$

Efforts de compression dans les piédroits

$$\text{Piédroit gauche } P_g = R_{agt} - R_{agr} = 88,79 \text{ kN}$$

$$\text{Piédroit droit } P_d = R_{adt} - R_{adr} = 29,66 + 51,5 = 69,2 \text{ kN}$$

CALCUL DES SOLLICITATIONS SOUS CHARGES D'EXPLOITATION

Calcul des moments d'encastrement m_{ij}

$$\text{On a : } m_{1.2} = -(Q_1 * l^2) / 12 = -(13,08 * 2^2) / 12 = -4,36 \text{ kN.m et } m_{2.1} = -m_{1.2} = 4,36$$

$$\text{On a } m_{4.3} = (G_2 * l^2) / 12 = 4,36 \text{ kN.m et } m_{3.4} = -4,36$$

$$\text{On a : } m_{1.4} = ((P_4 - P_3) * h^2) / 30 + (P_3 * h^2) / 12 = 1,96 \text{ kN.m et } m_{4.1} = -1,96$$

On aura alors : $m_{2.3} = 1,96$ et $m_{3.2} = -1,96\text{kN.m}$

Calcul des rotations a_i

$$M_{ij} = k \cdot (2a_i + a_j) + m_{ij}$$

Les équilibres aux nœuds sont :

Au nœud 1 par exemple : $M_{1.2} = k_1 \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) + m_{1.2}$ et $M_{1.4} = k_2 \cdot (2 \cdot a_1 + a_4) + m_{1.4}$ et l'équilibre donne $M_{1.2} + M_{1.4} = 0$.

Les équilibres établis à chaque nœud nous donnent donc 04 équations à 04 inconnues dont la résolution nous donne les résultats suivants :

$$\text{On a : } a_1 = 2010,98\text{m}^4, a_2 = -3014,7\text{m}^4, a_3 = 3475,03\text{m}^4 \text{ et } a_4 = -1807,99\text{m}^4$$

Calcul des moments statiques M_{ij}

Exemple du nœud 1 :

$$M_{1.2} = 0.00061 \cdot (2 \cdot 2010,98 - 3014,7) - 4,36 = -3,8\text{kN.m}$$

$$M_{1.4} = 0.00083 \cdot (2 \cdot 2010,98 - 1807,99) - 1,96 = 3,8\text{kN.m}$$

$$M_{2.3} = -0,32 \text{ et } M_{2.1} = 1,82$$

$$M_{3.4} = -1,24 \text{ et } M_{3.2} = 1,24$$

$$M_{4.1} = -3,3 \text{ et } M_{4.3} = 4,28$$

Les moments isostatiques au milieu des travées

$$\text{Le tablier : } M_o = (Q_1 \cdot l^2) / 8 = (13,08 \cdot 2^2) / 8 = 6,54\text{kN.m}$$

$$\text{Les piédroits : } M_o = ((1.106 - 0) \cdot h^2) / 16 = 1,47\text{kN.m}$$

$$\text{Le radier : } M_o = (Q_1 \cdot l^2) / 8 = -6,54\text{kN.m}$$

Les moments maximum

Au niveau du tablier :

$$\text{Appui gauche : } M_{ag} = M_{1.2} = -3,8\text{kN.m}$$

$$\text{Appui droit : } M_{ad} = M_{2.1} = -3,8\text{kN.m}$$

$$\text{Moment en travée } M_t = (M_{ag} + M_{ad}) / 2 + M_o = 3,73\text{kN.m}$$

Au niveau du radier

$$\text{Appui gauche} = M_{4.3} = 4,28 \text{ et appui droit} = -M_{3.4} = 4,28$$

$$M_t = -3,79\text{kN.m}$$

Piédroit gauche

$$\text{Appui inférieur} = M_{4.1} = -3,3\text{kN.m} \text{ et appui supérieur} = -M_{1.4} = -3,8\text{kN.m}$$

$$\text{Moment en travée } M_t = (-3,3 - 3,8) / 2 + 1,47 = -2,08\text{kN.m}$$

Piédroit droit

$$\text{Appui inférieur} = 1,24 \text{ et appui supérieur} = 0,32 \text{ et } M_t = 2,25$$

Les réactions d'appui

Tablier :

$$\text{Appui gauche : } R_{ag} = (M_{ad} - M_{ag}) / L + (Q_1 \cdot L) / 2 = 14,08\text{kN}$$

$$\text{Appui droit : } R_{ad} = (M_{ag} - M_{ad}) / L + (Q_1 \cdot L) / 2 = 14,08\text{kN}$$

Radier :

$$\text{Appui gauche} = R_{ag} = (M_{ad} - M_{ag}) / L + (Q_1 \cdot L) / 2 = -14,6\text{kN}$$

$$\text{Appui droit} = (M_{ag} - M_{ad}) / L + (Q_2 \cdot L) / 2 = -14,6\text{kN}$$

Efforts de compression dans les piédroits
 Piédroit gauche $P_g = R_{agt} - R_{agr} = 23,7\text{kN}$
 Piédroit droit $P_d = R_{adt} - R_{adr} = 23,7\text{kN}$

Les combinaisons
 À l'état limite ultime : $1,35*G + 1,6*Q$
 À l'état limite de service : $G + 1,2*Q$

RECAPITULATIF

Eléments structurels	Sollicitations	Parties	Sous charges permanentes	Sous surcharges routières	Combinaisons	
					ELU	ELS
Tablier	Moments (kN.m)	gauche	-10,583	-3,805	-20,4	-15,15
		travée	9,535	3,731	18,8	14,01
		app droit	-2,338	-1,816	-6	-4,52
	Réactions (kN)	gauche	36,114	14,077	71,3	53,01
		droite	27,870	12,088	57	42,38
Radier	Moments (kN.m)	gauche	16,024	4,275	28,5	21,15
		travée	-13,154	-3,781	-23,8	-17,69
		app droit	4,659	1,244	8,28	6,15
	Réactions (kN)	gauche	-52,674	-14,598	-94,5	-70,2
		droite	-41,310	-11,567	-74,3	-55,2
Piédroit gauche	Moments (kN.m)	sup	-10,583	-3,805	-20,4	-15,15
		travée	-4,366	-2,081	-9,22	-6,86
		Inf	-13,054	-3,297	-22,9	-17,01
	Effort normal (kN)		88,789	28,675	166	123,20
Piédroit droit	Moments (kN.m)	sup	-2,101	0,319	-2,33	-1,72
		travée	8,732	2,252	15,4	11,43
		Inf	4,659	1,244	8,28	6,15
	Effort normal (kN)		69,179	23,656	131	97,57

CALCUL DES ARMATURES

BETON		ACIER		REMBLAIS	
Résistance en compression fc28 (Mpa)	25	Nuance HA, FeE	400	Poids volumique γ (kN/m ³)	20
Dosage en ciment (kg/m ³)	350	Contrainte de calcul (Mpa) Fsu = Fe/1.15	347,83	Coefficient de poussée des terres Ka	0,375
Résistance en traction ftj (Mpa) = 0.6+0.06*fc28	2,1	Fissuration	Préjudiciable	Angle de frottement interne (°C)	30
Contrainte limite du béton ELU fbu (Mpa) = (0,85*fc28)/1.5	14,17	Contrainte limite acier σst	201,63	Surcharges sur remblais qo (kN)	10
Contrainte limite du béton ELS, σbc = 0.6*fc28 (Mpa)	15	Enrobage (m)	0,03	Epaisseur d'enrobé	5cm
				Poids volumique enrobé	22 kN/m ³
Poids volumique du béton (kN/m ³)	25	Masse volumique (kg/m ³)	7850	Epaisseur étanchéité	2cm
				Poids volumique étanchéité	24 kN/m ³
		Moment réduit de l'acier μl	0,392		

Les hypothèses de calculs

- Étant en présence d'ouvrages hydrauliques, les normes utilisées dans cette étude seront tirées du Fascicule 61 Titre II pour les règles définissant les chargements à considérer.
- Les règles de calcul en béton armé sont celles définies dans le BAEL 91 modifié 99.
- Nous considérons que la fissuration est préjudiciable.
- Le tablier et le radier sont calculés en flexion simple tandis que les piédroits sont dimensionnés en flexion composée.

Le calcul des aciers sur appuis se faisant selon la même procédure, les calculs ont été automatisés sur une feuille Excel. Ces résultats seront donc consignés directement.

Les aciers du tablier

- ELU

Le moment ultime $M_u = 0.0188 \text{ mN.m}$

La hauteur utile des aciers $d = 0.2 - 0.03 = 0.17 \text{ m}$

Le moment réduit du béton :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b * d * F_{bu}} = \frac{0.019}{1 * (0.17)^2 * 14.17} = 0.046$$

On remarque que $\mu_u < 0.186 \Rightarrow$ pas d'aciers comprimés

Le bras de levier des aciers

$$Z_u = 0.17 * \left(1 - 0.4 * 1.25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2 * 0.046}\right)\right) = 0.166\text{m}$$

Section d'aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u * \sigma_s} = \frac{0.019}{0.166 * 347.83} = 0.000329\text{m}^2 = \mathbf{3.29\text{cm}^2}$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 * b * d * f_{t28}}{f_e} = \frac{0.23 * 1 * 0.17 * 2.1}{400} = 0.0002053\text{m}^2 = 2.05\text{cm}^2$$

Les aciers d'effort tranchant

$$\text{La contrainte tangentielle } T_o = \frac{T_u}{b_0 * d} = \frac{0.071}{1 * 0.17} = 0.418 \text{ MPa}$$

$$\text{La contrainte tangentielle ultime } T_u = \max\left(\frac{0.2 * 25}{1.5}; 5\right) = 2.5 \text{ MPa}$$

Choix d'une section: $\Phi 6$ ($A_t = 0.28 \text{ cm}^2$)

Par conséquent,

$$\text{L'écartement initial } S_{to} \leq \frac{0.9 * 400 * 0.28}{(0.418 - 0.3 * 2.1) * 1 * 1.15} = -4.13 \text{ cm}$$

Il n'y a donc pas d'aciers transversaux

- ELS

Le moment $M_{ser} = 14.01\text{kN.m}$

Les paramètres de déformation :

$$\alpha_{ser} = \frac{n * \sigma_{bc}}{n * \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} = 0.527$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0.527 * 0.17 = 0.09\text{m}$$

$$Z_s = d - \frac{y_s}{3} = 0.17 - \frac{0.09}{3} = 0.14\text{m}$$

$$M_{serb} = 0.5 * b_0 * Y_{ser} * \sigma_{bc} * Z_{ser} = 0.5 * 1 * 0.09 * 15 * 0.14 = 94.5 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} = 14.01 \text{ kN.m} < M_{serb} \Rightarrow$ Il n'y a pas d'aciers comprimés

Section d'aciers :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z * \sigma_{st}} = \frac{0.014}{0.14 * 201.63} * 10000 = 4.96 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0.23 * b_0 * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e}\right) = 0.23 * 1 * 0.17 * \left(\frac{2.1}{400}\right) * 10000 = 2.05 \text{ cm}^2$$

On retient : $A_{st} = 4.96 \text{ cm}^2$

Les aciers de répartition : $A_r = 4.96/3 = 1.65 \text{ cm}^2/\text{m}$; et comme la largeur fait 2.4m,

On a donc $A_r = 1.65 * 2.4 = \mathbf{3.97 \text{ cm}^2}$

Les aciers du radier

- ELU

Le moment ultime $M_u = 0.0238 \text{ mN.m}$

La hauteur utile des aciers $d = 0.17 \text{ m}$

Le moment réduit du béton :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b * d * F_{bu}} = \frac{0.024}{1 * (0.17)^2 * 14.17} = 0.059$$

On remarque que $\mu_u < 0.186 \Rightarrow$ pas d'aciers comprimés

Le bras de levier des aciers

$$Z_u = 0.17 * \left(1 - 0.4 * 1.25 * \left(1 - \sqrt{1 - 2 * 0.059}\right)\right) = 0.165 \text{ m}$$

Section d'aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u * \sigma_s} = \frac{0.024}{0.165 * 347.83} = 0.000418 \text{ m}^2 = \mathbf{4.18 \text{ cm}^2}$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = \frac{0.23 * b * d * f_{t28}}{f_e} = \frac{0.23 * 1 * 0.17 * 2.1}{400} = 2.05 \text{ cm}^2$$

- ELS

Le moment $M_{ser} = 17.7 \text{ kN.m}$

Les paramètres de déformation :

$$\alpha_{ser} = \frac{n * \sigma_{bc}}{n * \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} = 0.527$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0.527 * 0.17 = 0.09 \text{ m}$$

$$Z_s = d - \frac{y_s}{3} = 0.17 - \frac{0.09}{3} = 0.14 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0.5 * b_o * Y_{ser} * \sigma_{bc} * Z_{ser} = 0.5 * 1 * 0.09 * 15 * 0.14 = 94.5 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} = 17.7 \text{ kN.m} < M_{serb} \Rightarrow$ Il n'y a pas d'aciers comprimés

Section d'aciers :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z * \sigma_{st}} = \frac{0.0177}{0.14 * 201.63} * 10000 = 6.27 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0.23 * b_o * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e}\right) = 0.23 * 1 * 0.17 * \left(\frac{2.1}{400}\right) * 10000 = 2.05 \text{ cm}^2$$

Nous retenons : $A_{st} = 6.27 \text{ cm}^2$

$$\mathbf{A_r = (6.27/3)*2 = 4.18 \text{ cm}^2}$$

Les aciers des piédroits

Moment ultime $M_G = 20.4 \text{ kN.m} = 0,0204 \text{ MN.m}$

Moment de service $M_{ser} = 15.15 \text{ kN.m}$

Effort de compression $N_u = 0.166 \text{ MN}$ et $N_s = 0.123 \text{ MN}$

- Calcul ELU

L'élanement géométrique $L_f = 0.7 * L_o = 0.7 * (1.4) = 0,98 \text{ m}$

Excentricité du premier ordre $e_1 = M_{ug}/N_u = 20,4/166 = 0.12 \text{ m}$

Excentricité additionnelle $e_a = \max(2 \text{ cm} ; 150/250) = \max(0.02 ; 0.006) = 0.02 \text{ m}$

Excentricité du second ordre $e_2 = (6 * 0.98^2) / (10000 * 1.4) * (1 + 20.4 / (20.4 + 15.15)) = 0.00065$

Donc l'excentricité réelle $e = 0.12 + 0.02 + 0.00065 = 0.141 \text{ m}$

Sollicitations corrigées pour la flexion composée :

$N_u = 0.166 \text{ MN}$

$M_u = 0.166 * 0.141 = 0.0233 \text{ MN.m}$

$$\psi_1 = \frac{N_u}{b * h * f_{bc}} = \frac{0.166}{1 * 0.2 * 14.17} = 0.059$$

$$\psi_1 = 0.059 < 0.81 \Rightarrow \zeta = f(\psi_1) = 0.1365 \text{ (abaques Cours BA3)}$$

$$e_{NC} = 0.1365 * 0.2 = 0.0273 \text{ m}$$

On a $e = 0.141 \text{ m} > e_{NC}$, la section est donc partiellement comprimée.

Moment réduit agissant

$$\mu_{uA} = \frac{M_{uA}}{b * d^2 * f_{bu}} = \frac{0.116}{1 * (0.17)^2 * 14.17} = 0.283$$

Sollicitations ramenées au centre de gravité des aciers tendus

$$e_A = e + 0.4 * h = 0.141 + 0.4 * 1.4 = 0.701 \text{ m}$$

$$M_{uf} = 0.166 * 0.701 = 0.116 \text{ MN.m}$$

Les paramètres de déformations :

$$\mu_{uA} = \frac{M_{uA}}{b * d^2 * f_{bu}} = \frac{0.116}{1 * (0.17)^2 * 14.17} = 0.283$$

$$\alpha_u = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 * \alpha}) = 1.25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0.283}) = 0.427$$

Section d'aciers tendus

$$A_{st} = \frac{M_{uA}}{d * (1 - 0.4 * \alpha_u) * \sigma_s} - \frac{N_u}{\sigma_s} = \frac{0.116}{0.17(1 - 0.4 * 0.427) * 347.83} - \frac{0.166}{347.83} = -4.13 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = \max\left(\frac{bh}{1000}; \frac{0.23 * b * d * f_{t28}}{f_e}\right) = \max\left(\frac{1 * 0.2}{1000}; \frac{0.23 * 1 * 0.17 * 2.1}{400}\right) = 2.05 \text{ cm}^2$$

• Calcul ELS

Le moment de service $M_{ser} = 15.15 \text{ kN.m}$

L'effort normal de compression : $N_{ser} = 123.2 \text{ kN}$

La hauteur utile : $d = 0.2 - 0.03 = 0.17 \text{ m}$

L'excentricité totale : $e_A = \frac{M_s}{N_s} + \left(d - \frac{h}{2}\right) = \frac{15.15}{123.2} + \left(0.17 - \frac{0.17}{2}\right) = 0.207 \text{ m}$

Le moment ramené au centre de gravité des aciers tendus :

$M_{serA} = N_{ser} * e_A = 123.2 * 0.207 = 25.5 \text{ kN.m}$

Les paramètres de déformation :

$$\alpha_{ser} = \frac{n * \sigma_{bc}}{n * \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 201.63} = 0.527$$

$$y_{ser} = \alpha_{ser} * d = 0.527 * 0.17 = 0.09 \text{ m}$$

$$Z_s = d - \frac{y_s}{3} = 0.17 - \frac{0.09}{3} = 0.14 \text{ m}$$

$$M_{serb} = 0.5 * b_o * Y_{ser} * \sigma_{bc} * Z_{ser} = 0.5 * 1 * 0.09 * 15 * 0.14 = 94.5 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} = 36 \text{ kN.m} < M_{serb} \Rightarrow$ Il n'y a pas d'aciers comprimés

Section d'aciers :

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{Z * \sigma_{st}} - \frac{N_{ser}}{\sigma_{st}} = \left(\frac{0.0152}{0.14 * 201.63} - \frac{0.123}{347.83} \right) * 10000 = 1.85 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0.23 * b_o * d * \left(\frac{f_{tj}}{f_e}\right) = 0.23 * 1 * 0.17 * \left(\frac{2.1}{400}\right) * 10000 = 2.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = 2.05 \text{ cm}^2$$

Les aciers de répartition seront donc : $A_r = (2.05/3) * 1.6 = 1.09 \text{ cm}^2$

RECAPITULATIF DALOT 1x2x1,4

DG9 1x2x1,4		<i>Tablier</i>		<i>Piédroit</i>	<i>Radier</i>	
		<i>Travée</i>	<i>appui</i>		<i>Travée</i>	<i>appui</i>
Sollicitations corrigées	Moment de calcul (MN.m)	0,019	0,02	0,023	0,024	0,028
	Moment ELS (MN.m)	0,014	0,015	0,01515	0,0178	0,0212
Armatures	Section d'aciers (cm²) ELU	3,29	4,44	2,05	4,18	4,7
	Section d'aciers (cm²) ELS	4,96	5,38	2,05	6,27	7,58
	Section d'aciers de répartition	4,30		1,09	5,05	
	Armatures principales	8HA10 e=14 cm		6HA10 e=19 cm	8HA12 e=14 cm	
	Section équivalente (cm ²)	6,28		4,71	9,05	
	Armatures de répartition	10HA8 e=26 cm		7HA8 e=25 cm	11HA8 e=20 cm	
	Section équivalente (cm ²)	5,03		3,5	5,53	

ANNEXE 9

PLAN DE COFFRAGE ET DE FERRAILLAGE DU DALOT 200X140

ANNEXE 10

ESTIMATION DES TRAVAUX DE VOIRIE

Nous calculons les quantités des matériaux et matériels et autres travaux destinés au tronçon de la voirie

1. Le débroussaillage

Largeur à nettoyer = Largeur d'emprise – largeur chaussée existante

Surface partielle = distance d'application x largeur moyenne

PK	Largeur Emprise (m)	Largeur chaussée existante (m)	largeur à nettoyer (m)	Largeur moyenne (m)	Distance d'application (m)	Surface partielle (m ²)	Surface cumulée (m ²)
25	47,54	12,34	37	37	25	925	925,0
50	40,82	11,03	31	34	25	850	1 775,0
75	39,26	10,44	30	30,5	25	762,5	2 537,5
100	39,15	10,43	30	30	25	750	3 287,5
125	39,87	10,4	31	30,5	25	762,5	4 050,0
150	49,61	10,54	41	36	25	900	4 950,0
175	48,14	10,25	39	40	25	1000	5 950,0
200	46,82	10,17	38	38,5	25	962,5	6 912,5
225	46,07	8,34	39	38,5	25	962,5	7 875,0
250	44,99	8,24	38	38,5	25	962,5	8 837,5
275	43,93	7,77	38	38	25	950	9 787,5
300	42,66	8,5	36	37	25	925	10 712,5
325	42,75	7,87	36	36	25	900	11 612,5
350	42,96	7,87	37	36,5	25	912,5	12 525,0
375	42,76	8,63	36	36,5	25	912,5	13 437,5
400	42,55	7,75	36	36	25	900	14 337,5
425	42,33	7,55	36	36	25	900	15 237,5
450	42,25	7,64	36	36	25	900	16 137,5
475	41,92	7,63	36	36	25	900	17 037,5
500	41,72	6,87	36	36	25	900	17 937,5
525	52,73	7,36	47	41,5	25	1037,5	18 975,0
550	53,45	7,27	48	47,5	25	1187,5	20 162,5
575	53,04	8,04	46	47	25	1175	21 337,5
600	53,19	7,54	47	46,5	25	1162,5	22 500,0
625	53,19	8,7	45	46	25	1150	23 650,0
650	53,19	7,5	46	45,5	25	1137,5	24 787,5
675	53,19	8,25	45	45,5	25	1137,5	25 925,0
700	53,19	7,65	46	45,5	25	1137,5	27 062,5
725	53,19	7,95	46	46	25	1150	28 212,5
750	53,19	9	45	45,5	25	1137,5	29 350,0
775	51,76	7,8	44	44,5	25	1112,5	30 462,5
800	51,76	8,1	44	44	25	1100	31 562,5
825	51,76	7,425	45	44,5	25	1112,5	32 675,0

850	50,97	7,5	44	44,5	25	1112,5	33 787,5
875	51,06	7,455	44	44	25	1100	34 887,5
900	51,14	8,55	43	43,5	25	1087,5	35 975,0
925	50,22	7,8	43	43	25	1075	37 050,0
950	49,98	6,6	44	43,5	25	1087,5	38 137,5
975	49,98	10,95	40	42	25	1050	39 187,5
1000	50,02	7,35	43	41,5	25	1037,5	40 225,0
1025	50,02	7,65	43	43	25	1075	41 300,0
1050	50,34	6,9	44	43,5	25	1087,5	42 387,5
1075	49,92	7,575	43	43,5	25	1087,5	43 475,0
1100	49,94	7,65	43	43	25	1075	44 550,0
1125	49,97	7,8	43	43	25	1075	45 625,0
1150	49,99	7,65	43	43	25	1075	46 700,0
1175	50,02	7,725	43	43	25	1075	47 775,0
1200	50,04	7,65	43	43	25	1075	48 850,0
1225	50,07	7,5	43	43	25	1075	49 925,0
1250	50,09	7,71	43	43	25	1075	51 000,0

2. Le décapage

Du pk 1+000 au pk 2+250, nous avons 1250 m

On a une largeur moyenne d'emprise de 40 m, et une largeur moyenne de chaussée existante de 9 m.

Largeur à décaper = $40 - 9 = 31$ m

Soit une superficie de décapage totale de :

$$S = 31 * 1250 = 38\ 750\ m^2$$

L'épaisseur moyenne de décapage recommandée à l'issue des études géotechniques est de 12 cm (0,12m)

Le volume de décapage sera :

$$Vd = 38\ 750 * 0,12 = 4\ 650\ m^3$$

3. Terrassement et chaussée

Les cubatures trouvées à partir du logiciel Covadis – PISTE donne :

	Remblais	Déblais	Fondation	Base	Roulement
PK 1+000	23 987,73	844,00	3 698,37	1 476,34	832,15
PK 2+250	55 375,91	2 499,22	10 260,93	4 082,08	2 135,02
Volume (m3)	31 388,18	1 655,22	6 562,56	2 605,74	1 302,87

Imprégnation au Cut back 0/1

Ici nous déterminons la surface imprégnée :

$$S = 1250 * 22 = 27\ 500\ m^2$$

4. Surfaces pavées : trottoirs et TPC

$$S = (2*3 - 2*1.2+2.3)*1250 = 7\,375 \text{ m}^2$$

5. La signalisation routière

Les quantités ont déjà été déterminées dans la partie Sécurité Routière. Nous avons les résultats ci-dessus :

Marquage à la peinture : 3125 m

Panneaux de signalisation : 21

Candélabre doubles foyer : 25

6. Les bordures discontinues T2 (limites extérieures de la chaussée)

Nous quantifions le linéaire pour des bordures de 1m espacés de 40 cm :

$$\text{Linéaire} = 2*(1250/1.4 - (1250/1.4)*0.4) = 2*(893-358) = 535 \text{ m}$$

7. Bordures GSS2 (délimitation du TPC)

$$\text{Longueur} = 1250*2 = 2500 \text{ m}$$

FIN

