



ETUDE TECHNIQUE D'UN AMENAGEMENT ROUTIER DE LA VOIE D'ACCES A LA CIMENTERIE DE KOSSODO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET L'ENVIRONNEMENT
OPTION : .Génie Civil (Route et Ouvrage D'Art)

Présenté et soutenu publiquement le 13/12/2013 par

Seydou GAKOU

Travaux dirigés par : Ismaël GUEYE

Enseignant Docteur au 2IE

Et

Aboulaye RAHIM

Directeur Technique à CAEM

Jury d'évaluation du stage :

Président : Ismaela Gueye

Membres et correcteurs : Ismaela Gueye
Jacques Rémy Minane
Abdoul Lawane

Promotion [2012/2013]

Remerciements :

- ✓ *Toute ma parfaite gratitude, grâce et remerciement à Allah le tout puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté d'arriver à cette étape de ma vie et de pouvoir réaliser ce travail.*
- ✓ *C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mon encadreur Mr. Gueye à sa disponibilité, et aussi à toute l'équipe de CAEM.*
- ✓ *Je remercie également les membres de jury qui me font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.*

Dédicace :

- ✓ *À ceux que j'aime le plus dans le monde : Ma mère et mon père qui sans eux je n'aurais pas aboutie à ce stade de fin de cycle, que Dieu m'aide à les honorer.*
- ✓ *À ceux que j'aime et que j'adore :*

Ma sœur Fatimata Gakou, Mes frères Talibouna et Mohamed Gakou, Mes Oncles et Tantes, Ma grande mère, Mes cousins et cousines.

RESUME:

Ce présent projet, a pour but de faire une conception d'aménagement routier, afin de faciliter la circulation des gros engins sur la voie allant vers la cimenterie de Kossodo. L'étude qui sera faite pour ce projet, consistera à la réalisation d'un avant-projet détaillé.

Notre route a une longueur de 4361,816 m, avec 5 alignements droits et 4 alignements courbes, dont les paramètres ont été adoptés en fonction de la vitesse de référence qui est de 60 km/h. Le type de route choisie est 2x1 voies, la largeur de la chaussée est égale à 8 m.

La portance du sol est de catégorie S3 et le trafic est de type T3.

Le choix des couches de la chaussée est :

- couche de fondation : 20 cm de grave latéritique
- couche de base : 20 cm de grave latéritique
- couche de revêtement : 5 cm de béton bitumeux

L'étude hydraulique nous a amené à prendre comme ouvrages de franchissements dimensionnés avec une période de retour de 10 ans, 2 dalots de 1x1,00x1,50 et 1 dalot de 2x1,00x1,50, et pour le réseau d'assainissement dimensionné avec une période de retour de 5 ans sont des caniveaux de section de 1,50x1,50 .

Une analyse environnementale a été réalisé afin d'avoir une idée sur les différents impacts positifs et négatifs que peut générer ce projet, la prestation environnementale est estimé à 240 956 126 Fcfa et le coût total du projet est de 2 601 453 242 Fcfa.

Mots Clés :

Etude technique, cimenterie de Kossodo, route, ouvrage de franchissement, réseau d'assainissement

ABSTRACT

The present project aims to design a road development to facilitate the movement of heavy machinery on the road going towards the cement Kossodo for . The study will be done for this project is to achieve a detailed design .

Our route has a length of 4361.816 m, with 5 rows and 4 rows rights curves, whose parameters have been adopted according to the reference speed is 60 km / h. Road type chosen is 2x1 lanes , the width of the roadway is 8 m.

Lift the soil category S3 and traffic is T3 .

The choice of pavement layers is :

- Foundation layer : 20 cm severe lateritic
- Base layer : 20 cm severe lateritic
- Coating layer : 5 cm of bituminous concrete

The hydraulic study has led us to take such works crossings sized with a return period of 10 years , 2 scuppers 1x1, 00x1 , 50 and 1 culvert 2x1, 00x1 , 50, and for sewerage dimensioned a return period of 5 years are gutters section 1.50 x1, 50.

An environmental analysis was performed in order to get an idea about the various positive and negative that can generate this project impacts, the environmental benefit is estimated at CFAF 240 956 126 and the total cost of the project is 2,601,453,242 CFA francs.

Key words :

Technical study , cement Kossodo road , drainage , Crossing

LISTE DES ABREVIATIONS:

- **B.A** : Béton Armé.
- **B.A.E.L** : Béton Armé aux Etats Limites.
- **C.A.E.M** : Cabinet Africain d'Etude et Maîtrise d'œuvre.
- **C.P.C** : Cahier des Prescriptions Communes.
- **CIMB** : Cimenterie du Burkina.
- **CCTG** : Cahier de Clause Technique Générale.
- **ELS** : Etat Limite de Service.
- **ELU** : Etat Limite Ultime.
- **HA** : Haute Adhérence.
- **RN** : Route Nationale.
- **SETRA** : Service des Transports et des Autoroutes.

LISTE DES TABLEAUX

<u><i>Tableau 1 : Paramètres cinématiques source est « Projet et construction de routes » extrait de Technique de l'ingénieur.</i></u>	<u><i>18</i></u>
<u><i>Tableau 2 : Paramètres géométriques du tracé en plan source est « Projet et construction de routes » extrait de Technique de l'ingénieur.</i></u>	<u><i>19</i></u>
<u><i>Tableau 3: Paramètres géométriques du profil en long source est « Projet et construction de routes » extrait de Technique de l'ingénieur.</i></u>	<u><i>21</i></u>
<u><i>Tableau 4 : Classification des trafics (source : CEBTP ; Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les pays tropicaux).</i></u>	<u><i>25</i></u>
<u><i>Tableau 5 : Différentes variantes du choix.</i></u>	<u><i>25</i></u>
<u><i>Tableau 6 : Valeurs admissibles.</i></u>	<u><i>26</i></u>
<u><i>Tableau 7 : Valeurs Calculées</i></u>	<u><i>26</i></u>
<u><i>Tableau 8 : Récapitulatifs de calcul de débit</i></u>	<u><i>29</i></u>
<u><i>Tableau 9: Récapitulatifs de calcul de débit pour les caniveaux.</i></u>	<u><i>30</i></u>
<u><i>Tableau 10 : Caractéristiques des ouvrages.</i></u>	<u><i>31</i></u>
<u><i>Tableau 11 : Récapitulatifs des calculs hydrauliques.</i></u>	<u><i>32</i></u>
<u><i>Tableau 12 : Récapitulatifs des calculs hydraulique des caniveaux.</i></u>	<u><i>33</i></u>
<u><i>Tableau 13 : Récapitulatifs des calculs de sollicitations du dalot 1 et 3.</i></u>	<u><i>37</i></u>
<u><i>Tableau 14 : Récapitulatifs de calcul de sollicitations du dalot 1 et 3.</i></u>	<u><i>38</i></u>
<u><i>Tableau 15 : Calcul des armatures du dalot 1 et 3.</i></u>	<u><i>39</i></u>
<u><i>Tableau 16 : Calcul des armatures du dalot 2</i></u>	<u><i>39</i></u>
<u><i>Tableau 17 : Récapitulatif des calculs d'armatures</i></u>	<u><i>41</i></u>
<u><i>Tableau 18 : Caractéristiques de l'éclairage.</i></u>	<u><i>45</i></u>
<u><i>Tableau 19 : Estimations des différentes quantités.</i></u>	<u><i>52</i></u>
<u><i>Tableau 20 : Coût estimatif du projet</i></u>	<u><i>52</i></u>

LISTES DES FIGURES :

Figure 1 : Localisation de la zone.	12
Figure 2 : Carte de situation de la zone.....	13
Figure 3 : Bassin versant de la zone.....	14
Figure 6 : Schémas Dalot type.	35
Figure 7 : Exemple de signalisations verticales.	42
Figure 8 : Exemples de signalisations horizontales.	43
Figure 9 : Extrait du plan de signalisation zone Brakina.....	44

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	11
I. PRESENTATION DU PROJET.....	12
II. ANALYSES ET COLLECTES DES DONNEES.....	15
II.1-ETUDES TOPOGRAPHIQUES :	15
II.2-ANALYSE ET COLLECTES DES DONNEES :	15
III. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE	17
III.1-CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :	17
III.2-TRACE EN PLAN :	19
III.3-PROFIL EN LONG :	20
III.4-PROFIL EN TRAVERS :	21
IV. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE	23
IV.1-ETUDES GEOTECHNIQUES :	23
IV.2-ETUDES DU TRAFFICS :	23
IV.3-LES DIFFERENTES COUCHES DE LA CHAUSSEE ET LES VERIFICATIONS :	25
IV.3.1. Choix des différentes couches :	25
IV.3.2. Vérification du dimensionnement :	25
V. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE ET D'ASSAINISSEMENT : ..	26
V.1.ETUDE HYDROLOGIQUE :	27
V.1.1.Détermination des caractéristiques physiques du bassin versant.	27
V.1.2.Détermination de la crue du projet :	28
V.1.3.Détermination du débit pour les caniveaux:	29
V.2. ETUDE HYDRAULIQUE :	30
V.2.1. Étude hydraulique des dalots.....	31
V.2.2 Étude hydraulique des caniveaux.	32
VI. PREDIMENSIONNEMENTS ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGES ET D'ASSAINISSEMENT :	34
VI.1.Prédimensionnement et dimensionnement du dalot :	34
VI.1.1.Prédimensionnement du dalot :	34
VI.1.2. Note de calcul du dalot :	34
VI.1.3. Calcul des armatures du dalot.	37
VI.2. Dimensionnement des caniveaux :	40
VI.2.1. Pré-dimensionnement des caniveaux :	40
VI.2.2. Note de calculs des caniveaux.	40

VI.2.3. Caractéristiques du béton.....	41
VI.2.4. Calculs des armatures des caniveaux.....	41
VII. SIGNALISATION ET SECURITE ROUTIERE.....	42
VII.1. SIGNALISATION VERTICALE :	42
VII.2. SIGNALISATION HORIZONTALE :	43
VII.3. SIGNALISATION LUMINEUSE :	44
VII.4. EXTRAIT DU PLAN DE SIGNALISATION :	44
VIII. ECLAIRAGE PUBLIC.....	45
IX. ASPECT ENVIRONNEMENTALE	46
VIII.1. ANALYSE DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET :	46
VII.1.1. Impacts négatives :	46
VII.1.2. Impacts positives :	48
VII.2. PRINCIPALES MESURES A PRENDRE :	48
VII.2.1. Mesures en phase travaux :	48
VII.2.2. Mesures en phase exploitation :	49
X. AVANT-PROJET ET ESTIMATION DU COUT DE PROJET :	51
X.I. AVANT-METRE :	51
X.I.1. INSTALLATION DE CHANTIER.....	51
X.I.2. Préparation du chantier et de la chaussée.....	51
X.I.3. Revêtement.....	51
X.I.4. Les ouvrages d’art et l’assainissement.....	51
X.I.5. La sécurité – signalisation.....	51
XI. CONCLUSION :	53

INTRODUCTION.

La route : C'est une voie ou un passage aménagé au sol et qui permet la circulation des biens et des hommes entre deux points A et B. On distingue sur le plan structurel deux types de routes : les routes non revêtues (routes en terre) et les routes revêtues.

La création d'un système de communication routière apparaît comme fondamentale dans la réalisation du développement d'un pays. Le coût de sa réalisation n'est pas à négliger, au Burkina Faso le coût estimatif d'une route est de 100 millions à 2 milliards de Fcfa/Km linéaire. Pour tout ingénieur en route, il est de son devoir de concevoir une route techniquement correcte assurant la sécurité, le confort et l'esthétique. Pour cela plusieurs compétences doivent être conjuguées à savoir la conception géométrique, l'étude géotechnique, l'étude socio-économique, l'étude d'impact environnemental et la mise en œuvre.

L'usine CIM B a confié à C.A.E.M, l'étude technique de l'aménagement routier de la voie d'accès à la cimenterie, il vise à bitumer la route afin d'améliorer les conditions de circulation sur la voie, il s'agira de faire une conception de la route qui assurera non seulement une bonne durabilité de la route, mais aussi une fluidité du trafic et un confort certain.

Objectif général de l'étude : Ce projet vise l'aménagement d'une voie d'accès tout en tenant compte de l'aspect économique, la facilité de son exécution et le respect de l'environnement.

Les objectifs spécifiques sont :

- Effectuer les études préliminaires à savoir : géotechnique, topographique, hydrologique et hydraulique de l'ouvrage.
- Faire une analyse des données recueillies lors des études préliminaires, pour faire ressortir les paramètres nécessaires à l'étude technique.
- Faire une étude d'avant-projet détaillé.
- Faire une étude d'impact environnementale.

I. PRESENTATION DU PROJET.

Ce projet financé par la CIM B, se présente dans le cadre de l'aménagement de la route, à savoir la voie donnant accès à la CIM B (figure 1); la voie doit être revêtue et ses réseaux de drainage doit être réhabilitée à savoir les caniveaux et ouvrages de franchissement sont à revoir. La route à bitumer est empruntée par les véhicules poids légers, et un nombre remarquable de poids lourds. L'aménagement de cette voie permettra de faciliter l'accès à la zone, surtout pour les véhicules de poids lourds.



Figure 1: Localisation de la zone.

Le projet débute à l'intersection de la route nationale 3 avec la rue 25.205 à savoir la voie donnant accès à la zone industrielle, et prend fin devant la clôture de la CIM B, illustré dans la figure 2.

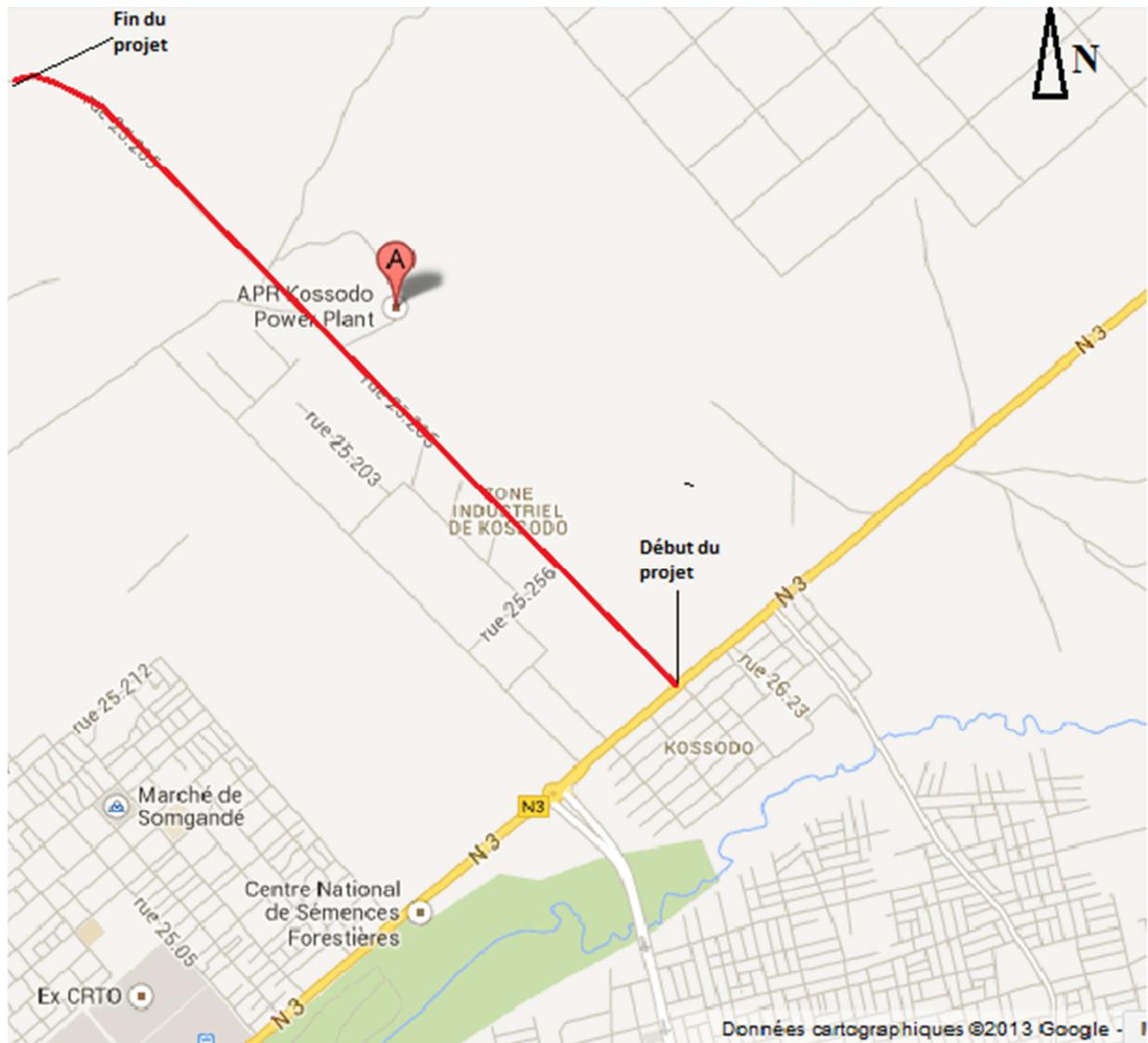


Figure 2 : Carte de situation de la zone.

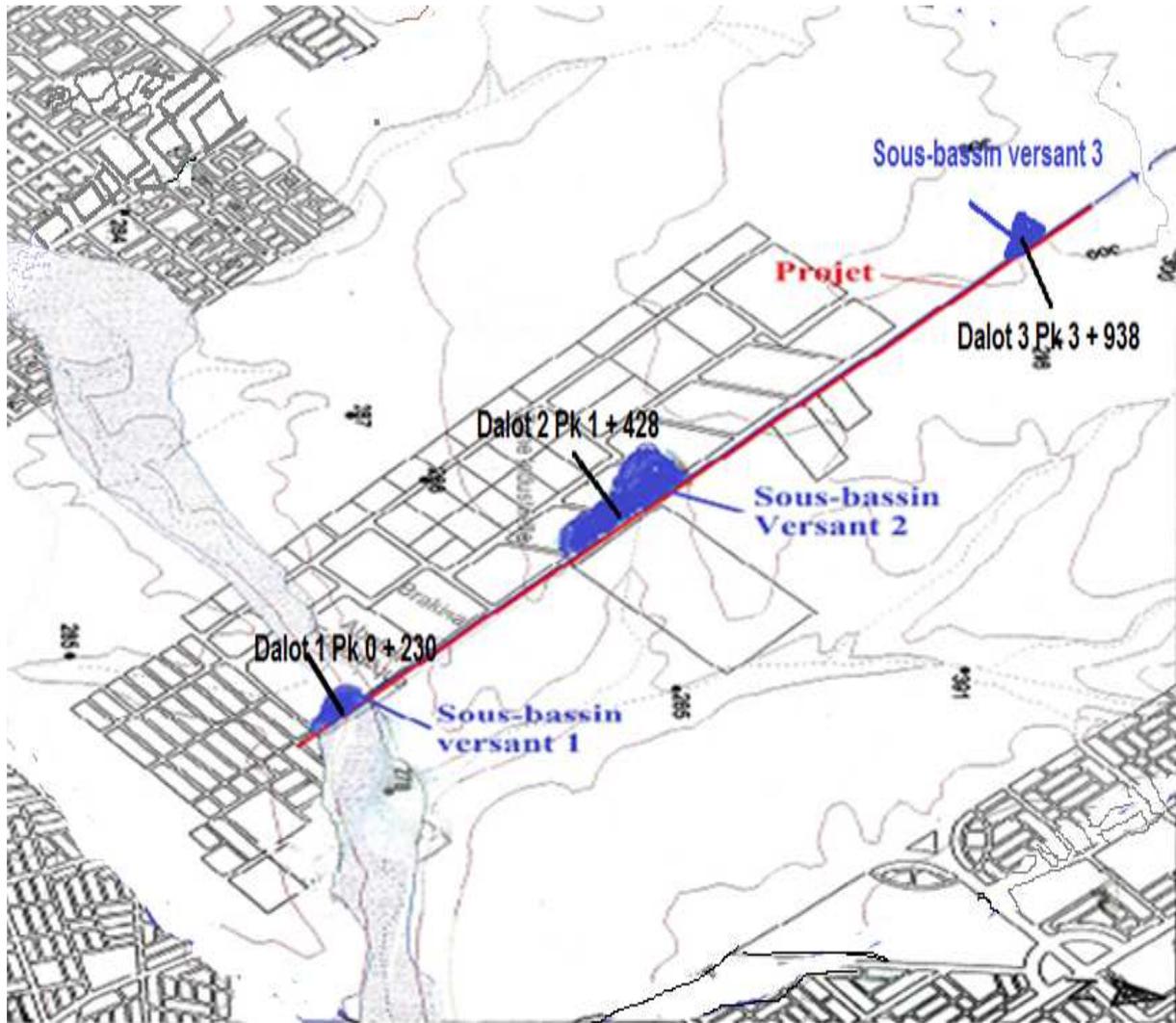


Figure 3 : Bassin versant de la zone

II. ANALYSES ET COLLECTES DES DONNEES.

II.1-ETUDES TOPOGRAPHIQUES :

Les données topographiques sont nécessaires afin de matérialiser le relief de la plateforme, elles permettent aussi d'implanter la polygonale qui se compose uniquement d'alignements droits : c'est l'axe provisoire de la route. L'équipe topographique du bureau d'étude C.A.E.M. a réalisé une étude topographique complète du site de projet, les levés topographiques ont concernés :

- La partie de la RN 3 touchant notre tronçon
- La voie allant à la cimenterie

L'ensemble de ces levés a été effectué en coordonnées X, Y, Z. La reconnaissance du terrain a permis d'implanter la polygonale, de situer de façon précise les zones complémentaires à lever et de repérer les bornes topographiques ou de lotissements existants. Le levé général devant matérialiser le paysage actuel du site comprend un minimum de six (06) points par profil en travers, les levés sont faits à chaque 30 mètres.

Tous les détails rencontrés sur le site du projet et dans son voisinage immédiat ont été levés, à savoir : Supports de réseaux électriques et téléphoniques, limites et seuils d'entrées de concessions, arbres, pistes existantes, caniveaux existants et regards.

L'ensemble des levés a été rattaché au Nivellement Général du Burkina Faso et traité sur l'ordinateur à l'aide des logiciels AUTOCAD et PISTE, ceci nous a permis de constituer le fond de plan qui nous permettra de faire la conception géométrique de la route ; à savoir le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

II.2-ANALYSE ET COLLECTES DES DONNEES :

La collecte des données qui a permis de mener à bien l'étude a été possible grâce au Bureau d'étude C.A.E.M, les données suivantes ont été recueillies:

- les données géotechniques et topographiques du site de projet, permettront de connaître la nature du terrain, la nature du sol et de savoir quelle sera la composition de la chaussée.

- le trafic sur la voie à bitumer, qui permettra le dimensionnement structurale de la chaussée.
- les données hydrologiques du site de projet.

En ce qui concerne la cartographie, une carte topographique de l'IGB au 1/50 000^{ème} a été utilisée pour la localisation de la zone d'étude et la délimitation exacte du bassin versant. Les différentes données recueillies et les visites sur le terrain devront permettre de mieux connaître le site du projet, de caractériser la nature du sol du tracé, le type de trafic ainsi que la nature et les caractéristiques des ouvrages hydrauliques nécessaires.

III. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA ROUTE.

Le tracé routier se définit par la connaissance du tracé de son axe en plan (Tracé en plan), de la position en altitude de ses profils (Profil en long) et de son gabarit (Profil en travers). Ce tracé doit satisfaire certaines conditions de la nature et de l'importance du trafic. Le tracé en plan et le profil en long doivent résoudre les problèmes suivants :

- 1- un véhicule rapide doit pouvoir circuler à grande vitesse ;
- 2- un véhicule lourd doit pouvoir gravir les déclivités ;
- 3- un véhicule long doit pouvoir s'inscrire dans les courbes.

Le profil en travers courant doit pouvoir résoudre quant à lui les problèmes suivants :

1. la largeur de la chaussée doit pouvoir évacuer un débit assez important de trafic dans les conditions de sécurité et de confort;
2. les différents dévers doivent permettre aux véhicules dans une courbe de passer sans dérapage ;
3. l'eau doit s'écouler et l'assainissement doit se faire aussi facilement que possible.

La conception géométrique de la route à savoir, le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers de la route a été effectué sur la base d'un certain nombre de normes. La conception a été faite à l'aide du logiciel PISTE 5.06 du SETRA, pour cela nous disposons comme données d'entrée, des fichiers de levés topographiques et d'un fond topographique sur AUTOCAD.

III.1-CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :

- ✓ Paramètres fondamentaux
 - Vitesse de circulation :

Il existe trois sortes de vitesse :

i) Vitesse de référence (V_r) : elle permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement des points particuliers (les points ayant des caractéristiques géométriques les plus contraignants pour les usagers) d'une route. Par définition, c'est la vitesse qu'un

automobiliste pratique lors de la traversée du point le plus contraignant d'une section de la route en toute sécurité. Elle a un caractère indicatif.

ii) Vitesse à vide (V_0) : C'est la vitesse moyenne que pratique un véhicule isolé en dehors des points particuliers et à leur approche.

iii) Vitesse de groupe ou vitesse pratiquée (V_p) : C'est la vitesse d'un groupe de véhicules sur les voies rapides urbaines qui permet d'effectuer certains mouvements d'entrecroisement et de dépassement. On a dans la plupart des cas :

$$V_p = \frac{3}{4} V_0$$

Pour l'aménagement des points particuliers ou la signalisation horizontale, les valeurs des paramètres sont obtenues à partir des paramètres cinématiques indiqués au tableau 1 :

Tableau 1: Paramètres cinématiques source est « Projet et construction de routes » extrait de Technique de l'ingénieur.

Vitesse du véhicule		V (km/h)	40	60	80	100	120
Longueur de freinage		d_d (m)	15	35	60	105	170
Distance d'arrêt en alignement		d_1 (m)	40	70	105	160	230
Distance d'arrêt en courbe		d_2 (m)	45	80	120	180	280
Distance de visibilité de dépassement	minimale	d_d (m)	150	250	325	400	500
	normale	d_D (m)	250	450	500	625	800
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement		d_{Md} (m)	70	120	200	300	400

Le choix de la vitesse de référence dépend du type de la route, de l'importance et du genre de trafic, de la topographie du terrain, et des conditions économiques d'exécution et d'exploitation. A partir de ces critères, le choix c'est porté pour une vitesse de référence 60 Km/h.

III.2-TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan est composé d'une succession de segments de droites (Alignement droit) raccordés par des courbes. Ces dernières sont soit des clothoïdes (courbes à courbures progressives), soit des cercles.

- Les rayons en plan (RH) :
 - Le rayon minimal absolu (RHm) : C'est le rayon en dessous duquel l'on ne devrait pas descendre. Il correspond à la plus faible valeur à admettre pour un tracé. (On se place à la limite du dérapage avec le dévers maximal qui est de 7%).
 - Le rayon minimal normal (RHN) : C'est le rayon en dessous duquel l'on ne devrait pas descendre dans le cas normal sauf cas particulier. Il assure un confort et une sécurité plus grande et correspond à la vitesse $V_r + 20\text{Km/h}$.
 - Le rayon au dévers minimal (RH'') : C'est le rayon qui permet de déverser la chaussée à une valeur minimale de 2% (chaussée rigide) ou de 2.5% (chaussée souple). Ce rayon correspond au dévers minimal que doit présenter toute chaussée.
 - Le rayon non déversé (RH') : C'est le rayon à partir duquel même en courbe, la chaussée garde son profil en travers comme dans un alignement droit.

La combinaison des alignements droits et courbes doit respecter dans la mesure du possible les contraintes topographiques, politiques, économiques, sécuritaires et de confort. En fonction de la vitesse de référence adoptée, des valeurs minimales des rayons permettant d'atteindre principalement les objectifs de confort et de sécurité sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Paramètres géométriques du tracé en plan source est « Projet et construction de routes » extrait de Technique de l'ingénieur.

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de route					
			4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.	
Vitesse de référence		V_r (km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Devers maximal	δM (%)	7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers δM)	RH_m	40	120	240	425	665
		Minimal normal (dévers)	RH_N ($\delta\%$)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
		Au dévers minimal	RH' (2,5%)	250	450	650	900	1500
		Non déversé	RH_{nd}	400	600	900	1300	1800

Un bon tracé en plan doit :

- Eviter de très longs alignements droits favorables à l'éblouissement par les phares et créent chez les conducteurs une certaine torpeur. Nous avons pris comme longueur maximal en alignement droit de 2000 m, il est recommandé d'alterner les alignements droits et les courbes de grands rayons.
- Minimiser les terrassements afin d'équilibrer les déblais et les remblais.

Les caractéristiques de l'axe en plan sont donnés en Annexe I.I, en résumé l'axe en plan à pour longueur 4361,816 m avec 5 alignements droits et 4 alignements courbes.

III.3-PROFIL EN LONG :

Deux types de profil en long existent : le profil en long du terrain naturel et le profil en long du projet.

- Le profil en long du terrain naturel : C'est la représentation sur un plan vertical des différents points (en X et Z) du terrain naturel suivant l'axe du tracé en plan choisi.
- Le profil en long du projet : C'est la représentation des éléments définissant en altitude de la route suivant le cheminement du tracé en plan. Cette représentation est appelé ligne rouge.

Le profil en long est constitué de succession de rampes (montées) et de pentes (descentes) raccordées par des éléments circulaires ou paraboliques. Les raccordements convexes en point haut sont appelés raccordements en angle saillant ; et les raccordements concaves en point bas sont les raccordements en angle rentrant.

Les pentes et les rampes sont appelées des déclivités. Leurs valeurs sont fonction de la vitesse de référence. La longueur minimale l entre les deux paraboles est 50m.

RV : Rayon en angle saillant

RV' : Rayon à angle rentrant

RV > RV' à cause de la visibilité

Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel notamment, les paramètres géométriques du profil en long doivent respecter les caractéristiques limites résumées dans le tableau ci-dessous.

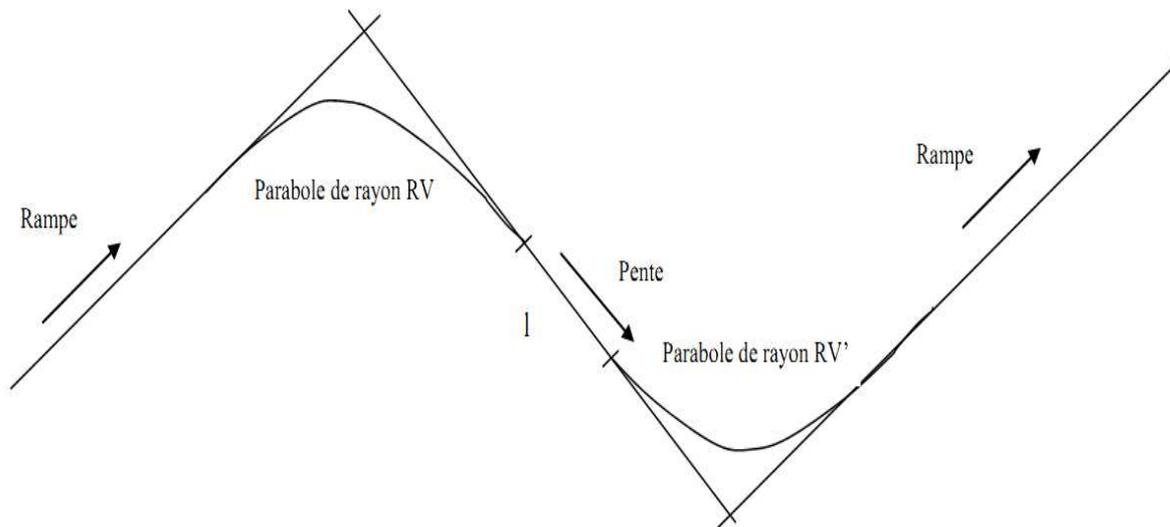


Tableau 3: Paramètres géométriques du profil en long source est « Projet et construction de routes » extrait de Technique de l'ingénieur.

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de route					
			4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.	
Vitesse de référence		V_r (km/h)	40	60	80	100	120	
Profil en long	Déclivité maximal en rampe	πM (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon en angle saillant RV(m)	Minimal absolu	RV_m	500	1500	3000	6000	12000
		Minimal normal	RHN	1500	3000	6000	12000	12000
	Rayon en angle rentrant RV'(m)	Minimal absolu	RV_m'	700	1500	2200	3000	4200
Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000	

Les caractéristiques de l'axe en profil sont données en Annexe I.II, il y'a 19 alignements droits et 18 alignements courbes et les profils en long sont dans l'annexe VI.

III.4-PROFIL EN TRAVERS :

Le profil en travers de la route est représenté par le tracé de la chaussée et du terrain naturel sur un plan vertical orthogonal à l'axe de la route. Pendant la représentation du profil en travers, l'œil de l'observateur est fixé vers l'origine du projet. Il existe deux types de profils en travers : Le profil en travers type et le profil en travers courant.

- Profil en travers type : Les tracés routiers ont chacun leur profil en travers type. C'est un modèle qui sert de guide pour le tracé des profils en travers courants. Il est rare de rencontrer plus d'un profil en travers type sur un tracé mais cela dépend des critères (économique, environnemental, techniques...) qui peuvent amener le technicien à modifier ce profil. En tout état de cause, pour le faire, il faudrait s'assurer que ce changement ne mettra pas en danger les usagers.
- Profil en travers courant : C'est une pièce de base dessinée dans les projets à une distance régulière (10, 25, 50...) qui servent à calculer les cubatures. En général en terrain uniformément accidenté, un profil en travers tous les 30 à 50 m sont établis, en zone urbaine, leur écartement sera au maximum de 25 m, (parce qu'en ville, il faut plus de détails ; il faut souvent en plus des levés de détails). Il existe trois types de profils en travers courants : Le profil en travers en remblai, le profil en travers en déblai et la profil en travers mixte.

Les différents profils en travers sont donnés en Annexe VI.

IV. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE

IV.1-ETUDES GEOTECHNIQUES :

Il est indispensable de disposer d'une bonne assise pour que le corps de chaussée soit mis en place dans des conditions satisfaisantes et pour qu'il conserve, dans le temps, une indéformabilité suffisante. Il faudrait éviter d'avoir un sol de CBR inférieur à 5, il sera préférable de le substituer avec des matériaux de meilleure qualité ou de traiter la plate-forme en place. Le CBR à prendre en compte pour le dimensionnement dépendra de l'épaisseur et de la qualité du matériau de substitution.

La reconnaissance géotechnique du tracé a consisté tout d'abord à réaliser des sondages ou puits manuels à intervalle régulier, ensuite à prélever des échantillons remaniés pour les essais de laboratoire. Les conclusions de l'étude géotechnique indiquent que les sols sont homogènes et sont à dominante graveleux latéritique friable. Le CBR du sol est de 14, ce qui donne comme portance du sol, la classe S3 $10 < \text{CBR} < 15$. Il est recommandé de ne pas mettre de couche de forme étant donné la qualité du sol de support.

La zone d'emprunt est dans la zone de Kossodo et est située à 7,5 km de la zone du projet en allant vers Zinaré. Les résultats géotechniques pour la zone d'emprunt ont classé le sol dans la catégorie de portance S3, le sol est à dominante graveleux latéritique.

IV.2-ETUDES DU TRAFICS :

Les classes de trafic sont obtenues de plusieurs façons en fonction du degré de précision des données disponibles :

- Trafic journalier toutes catégories de véhicules confondues ;
- Trafic cumulé de poids lourds (véhicules définis comme ayant un poids total, en charge, supérieur à 3t)
- Trafic cumulé calculé selon les équivalences d'essieux tirées des essais AASHO par Liddle.

La méthode de trafic cumulé de poids lourds de toutes catégories est utilisée, à l'aide des formules suivantes :

Cas de croissance linéaire :

$$t_n = t_1[1+(n-1)i]$$

$$365 \sum_1^n t_n = 365 n t_1 \left(\frac{2+(n-1)i}{2} \right)$$

Cas de croissance exponentielle :

$$t_n = t_1(1+i)^{n-1}$$

$$365 \sum_1^n t_n = 365 * t_1 \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

t_1 : trafic moyen journalier de la première année ;

t_n : trafic moyen journalier de l'année n ;

n : nombre d'années ;

i : taux d'accroissement annuel du trafic ;

Les hypothèses pour l'étude du trafic sont :

- Durée de vie : 15 ans
- Année de mise en service 2015 :
- Taux d'accroissement annuel du trafic dans la zone UEMOA = 5%
- Estimation de $t_1 = 195$
- Estimation de $t_n = 7,1 * 10^5$

$$t_1 = 195$$

$$t_{2015} = t_1[1+(n-1)i] = 204,1 \text{ UPL/j}$$

$$N = 365 \sum_1^n t_N = 365 * t_{2015} \frac{(1+i)^n - 1}{i} = 1,51.10^6 \text{ UPL}$$

D'après le tableau de classification des trafics, on peut classer notre trafic comme étant, un trafic de classe T_3 , nous avons $1,5.10^6 < T_3 < 4.10^6$

Tableau 4 : Classification des trafics (source : CEBTP ; Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les pays tropicaux).

$T_1 < 5.10^5$
$5.10^5 < T_2 < 1,5.10^6$
$1,5.10^6 < T_3 < 4.10^6$
$4.10^6 < T_4 < 10^7$
$10^7 < T_5 < 2.10^7$

IV.3- LES DIFFERENTES COUCHES DE LA CHAUSSEE ET LES VERIFICATIONS :

IV.3.1. CHOIX DES DIFFERENTES COUCHES :

Le dimensionnement de la structure de chaussée est donné à l'aide des tableaux fournis par le «CEBTP : Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les pays tropicaux». Ce qui a permis d'opter pour plusieurs variantes au niveau du choix des couches :

Tableau 5 : Différentes variantes du choix.

	Couche de revêtement	Couche de base	Couche de fondation
Variante 1	5 cm de béton bitumeux	20 cm de Grave latéritique	20 cm de Grave latéritique
Variante 2	5cm de béton bitumeux	20 cm de grave ciment	25 cm de Grave latéritique

IV.3.2. VERIFICATION DU DIMENSIONNEMENT :

La vérification du dimensionnement de la chaussée a été faite grâce au Logiciel Alizée Lpc, pour cela il faut vérifier si :

- La contrainte verticale σ_t à la surface de la chaussée revêtue support doit être inférieure à la contrainte admissible $\sigma_{t,adm}$: $\sigma_t \leq \sigma_{t,adm}$
- La déformation verticale ε_t à la surface du sol support doit être inférieure à la contrainte admissible $\varepsilon_{t,adm}$: $\varepsilon_t \leq \varepsilon_{t,adm}$.

- La déformation verticale ϵ_z à la surface des autres couches doit être inférieure à la déformation admissible $\epsilon_{z,adm}$: $\epsilon_z \leq \epsilon_{z,adm}$

Les valeurs calculées et les valeurs admissibles sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 6 : Valeurs admissibles.

	$\epsilon_{z,adm}$	$\epsilon_{t,adm}$	$\sigma_{t,adm}$
Valeurs admissibles	679,8	186,0	0,596

Tableau 7 : Valeurs Calculées

	ϵ_z	ϵ_t	σ_t
Variante 1	523,8	-182,2	
Variante 2	164,9	27	-1,209

Les tableaux précédents montrent que les valeurs sont admissibles, la variante choisie et la variante n°1, c'est le choix le plus économique et de plus le matériau est plus accessible, les notes de calcul de la variante choisie sont en annexe V.

V. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE ET D'ASSAINISSEMENT :

V.1. ETUDE HYDROLOGIQUE :

La première phase de l'étude hydrologique consiste à la recherche de documents intéressant le projet et accessibles au consultant. Ces documents sont :

- une carte 1/50 000
- le fond de plan topographique;

Les travaux sur le terrain qui ont aidés à faire l'étude hydrologique sont :

- Une visite de reconnaissance de l'état général de route du point de vue drainage.
- Une identification des crêtes et de l'exutoire.
- La détermination des bassins versants.

V.1.1. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT.

La détermination des paramètres du bassin versant a été faite sur Autocad à l'aide du fond de plan, mais tout d'abord les identifications du bassin versant, et de l'exutoire a été faite grâce à la visite de reconnaissance sur le terrain et grâce à la carte hydrographique de la zone à l'échelle 1/50000.

On classe les bassins versants en général relativement à leur surface :

- Très petit bassin versant $0 < S < 10 \text{ km}^2$
- Petit bassin versant $10 < S < 200 \text{ km}^2$
- Grand bassin versant $200 < S < 2000 \text{ km}^2$
- Très grand bassin versant $S > 2000 \text{ km}^2$

Par les critères de classification des bassins versants, on en déduit que le bassin versant qui est de superficie 0,8435 est classé comme étant un très petit bassin versant. La surface du

bassin versant du dalot 1 est de 0,2831 km², celui du dalot 2 est de 0,0396 km² et enfin celui du dalot 3 est de 0,0422 km².

V.1.2.DETERMINATION DE LA CRUE DU PROJET :

- Choix de la période de retour :

Le choix doit tenir compte du niveau du risque admis, du coût économique et de la durée de vie projetée. La période de retour choisie est de 10 ans.

- Méthode de calcul de la crue du projet :

Les principales méthodes les plus utilisées, de nos jours en Afrique de l'Ouest pour l'estimation de la crue d'un projet sont des méthodes déterministes à savoir : les méthodes ORSTOM, CIEH, et Rationnelle.

- La méthode ORSTOM : plus connue également sous le nom de méthode RODIER-AUDREY pour le calcul du débit de crue décennal, s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines hectares et plus de 1500 km².
- La méthode CIEH : c'est une méthode statistique proposée par Puech et Chabi-Gonni, dont la formulation retenue pour retrouver le débit de pointe Q₁₀ est basé sur un schéma de régression multiple. Cette méthode est applicable aux bassins versants de superficie ≤ 1000 km².
- La méthode Rationnelle : Applicable aux petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km², cette méthode très utilisée pour l'estimation des crues sur des bassins urbains comporte cependant beaucoup de limites.

Les caractéristiques des bassins versants des trois dalots étant inférieur à 4 km², ce qui correspond à la classe du petit bassin versant, permet d'opter pour la méthode rationnelle.

Calcul de la crue du projet par la méthode rationnelle :

Le débit décennal se détermine à l'aide de la formule : $Q = 0,278CIA$

C : le coefficient de ruissellement qu'on suppose uniforme sur le petit bassin considéré et pendant la durée de l'averse.

I : l'intensité de l'averse exprimée en mm/h.

A : la superficie du bassin exprimée en km².

Q : le débit en m³/s.

Pour calculer le débit maximal de la crue de fréquence donnée, il faut déterminer l'intensité de la même fréquence à l'aide de la formule de Montana, dont la durée est égale au temps de concentration. Le temps de concentration est déterminé à l'aide de la formule de Kirpich :

- la Formule de Kirpich :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}}$$

- la Formule de Montana :

$$i = aT_c^{-b}$$

- **i** en mm/mn.
- **T_c** en min.
- **a** et **b** sont les coefficients de Montana.

Tableau 8 : Récapitulatifs de calcul de débit

	A (km²)	T_c (min)	I (mm/h)	Q (m³/s)
Sous-bassin versant 1	0,0396	12,5	52,2	0,46
Sous-bassin versant 2	0,2831	16,97	63,6	4
Sous-bassin versant 3	0,0422	12,8	55,3	0,50

Les détails de calcul de la crue du projet sont mentionnés en Annexe II.

V.1.3.DETERMINATION DU DEBIT POUR LES CANIVEAUX:

Pour le dimensionnement hydrologique des caniveaux on utilisera la formule de Caquot, pour l'évaluation du débit de crue. Elle dérive de la méthode rationnelle. Cette méthode a fait l'objet d'adaptation de la ville de Ouagadougou et donne des coefficients qui lui sont propres. Le domaine d'application de cette méthode est que la superficie du bassin versant doit être inférieure ou égale à 400 ha.

- ✓ **Formule de Caquot** :

$$Q=k*C^m*I^n*A^p$$

Avec :

- **Q** : débit maximal à l'exutoire de fréquence F, (en m³/s) ;
- **C** : coefficient de ruissellement ;
- **I** : pente moyenne du bassin (en m/m) ;
- **A** : superficie du bassin versant en ha ;
- **k, m, n, p** : des coefficients et exposants dépendant des unités choisies et des coefficients de Montana.

Les détails des calculs sont présentés en Annexe II.

Tableau 9:Récapitulatifs de calcul de débit pour les caniveaux.

		C	I	A (hectare)	Q (m³/s)
Caniveau 1	Q5	0,8	0,0071	0,975	0,62
	Q10	0,8	0,0071	0,975	0,73
Caniveau 2	Q5	0,8	0,0018	10,8	5,89
	Q10	0,8	0,0018	10,8	6,89
Caniveau 3	Q5	0,8	0,0061	2,1	2,12
	Q10	0,8	0,0061	2,1	2,48
Caniveau 4	Q5	0,8	0,0045566	2,36	2,40
	Q10	0,8	0,0045566	2,36	2,82

V.2. ETUDE HYDRAULIQUE :

En construction routière, le franchissement des obstacles naturels tels que les falaises, les ravins, les fleuves ou rivières peut se faire à travers différents types d'ouvrages d'art (pont, dalot, buses, etc.). La détermination du type d'ouvrage tient compte de plusieurs facteurs tels que la topographie du terrain, la connaissance du débit issu de la plate-forme à évacuer, l'aspect sécurité, les contraintes techniques, économiques et esthétiques.

L'étude hydrologique a donné un débit égale à 0,46 m³/s pour le dalot 1, 4 m³/s pour le dalot et pour le dalot 3 0,50 m³/s.

Au Pk 0 + 230 : Dalot 1

Au Pk 1 + 428 : Dalot 2

Au Pk 3 + 938 ; Dalot 3

Pour des raisons économiques nous prendrons une période de retour de 10 ans pour les dalots.

V.2.1. ÉTUDE HYDRAULIQUE DES DALOTS.

Les calculs des dalots se font à deux niveaux différents d'approximations successives.

Connaissant Q, une première valeur de la hauteur D admissible pour le dalot est fixé, compte tenu des caractéristiques géométriques du projet au droit de l'ouvrage.

- ✓ On doit déterminer la profondeur amont de l'ouvrage. Tout d'abord il faut fixer D, la hauteur dalot et donner une valeur approchée de la largeur du dalot, en utilisant pour cela la formule de base $Q=S \times V$, dans laquelle l'on déduit S, la section mouillée (avec Q connu et la vitesse, V_{limite})

Tableau 10 : Caractéristiques des ouvrages.

	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s)	D	B	V _{limite} (m/s)
Dalot 1	0,46	1,98	1,00	1,50	3,5
Dalot 2	4	3,75	1,30	1,70	3,5
Dalot 3	0,46	1,98	1,00	1,50	3,5

- ✓ On utilise la formule de :

$Q^* = \frac{Q}{A\sqrt{2gD}}$ pour le dalot, pour calculer le débit réduit. Cette valeur permettra de calculer la valeur réduite H^*1 en utilisant l'abaque de détermination de la hauteur amont, la valeur de $H1$ est ainsi calculée par la relation $H^*1 = H1/D$. Cela permettra de connaître la nature de la sortie de l'ouvrage par la relation : $\frac{H1}{D}$

Il faut que : $D > H1$

- ✓ Calculons la pente critique I_c :

L'ouvrage doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur H1 amont. Pour cela, il faut que la pente longitudinale de l'ouvrage soit au moins égale à la pente critique ($I \geq I_c$). La détermination de la pente critique de l'ouvrage (notée I_c) guidera sur le

choix de la pente longitudinale de l'ouvrage (notée I). Connaissant B et q, on calcule le débit réduit pour la pente critique en fonction de la formule suivante :

$$Q^* = q / \sqrt{gB^5}, \text{ pour le dalot}$$

Connaissant K le coefficient de rugosité, après le calcul de Q*, on lira sur l'abaque de calcul de la pente critique la valeur de la pente I*c qui permet d'avoir Ic pente critique par la formule suivante :

$$I_c^* = I_c / \left(\frac{g}{K^2 B^{1/3}} \right) \Rightarrow I_c = I_c^* g / K^2 B^{1/3}, \text{ pour le dalot}$$

Ensuite, il s'agira de calculer la vitesse d'entrée de l'eau dans l'ouvrage et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite ($V_{\text{limite}} = 3,5 \text{ m/s}$). On calculera le débit réduit Q* à partir des formules proposées par Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue :

$$Q^* = Q / K I^{1/2} B^{8/3}$$

Cette valeur réduite donnera, grâce à l'abaque de calcul de vitesse d'un dalot, la valeur de V* de laquelle on déduira la valeur de la vitesse V recherchée : $V = V^* \times K \times I_c^{1/2} \times B^{2/3}$, pour le dalot.

Tableau 11 : Récapitulatifs des calculs hydrauliques.

	Q ₁ *	H ₁ *	H ₁	Q ₂ *	I _c *	I _c	Q ₃ *	V*	V _{calculé} (m/s)
Dalot 1	0,177	0,6	0,78	0,038	2,71	0,0046	0,024	0,25	1,62
Dalot 2	0,298	0,81	0,81	0,230	2,85	0,0052	0,14	0,36	2,30
Dalot 3	0,177	0,6	0,78	0,038	2,71	0,0046	0,024	0,25	1,62

$V < V_{\text{limite}}$, pour les trois ouvrages, donc les dimensions des ouvrages sont acceptables, les détails des calculs sont mentionnés en Annexe III.

V.2.2 ÉTUDE HYDRAULIQUE DES CANIVEAUX.

Pour le calcul hydraulique des caniveaux nous avons pris comme période de retour 5 ans. Les calculs hydrauliques ont été réalisés essentiellement avec la formule de Manning Strickler pour la détermination des sections des différents caniveaux.

$$Q = K_s^* \sqrt{I^*} \frac{[y(b+my)]^{5/3}}{[b+2y\sqrt{1+m^2}]^{2/3}}$$

Q : débit (m³/s)

Ks : coefficient de Strickler = 70 (caniveau en béton armé)

I : pente du caniveau (m/m)

y : tirant d'eau (m)

b : largeur au plafond du caniveau (m)

S : section mouillée du caniveau (m²)

m : fruit des parois (m= 0 pour une section rectangulaire)

Comme nous avons une section rectangulaire m=0, alors la formule devient :

$$Q = Ks \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{yb^{5/3}}{[b+2y]^{2/3}}$$

On fait une itération à l'aide des paramètres suivants :

- **y_n** : tirant d'eau normal
- **S** : surface mouillée
- **P** : périmètre mouillé
- **Rh = S/P** : Rayon hydraulique
- **D = KsSRh^{2/3}** :débitance
- **Q/√I**

Ces paramètres nous permettront de déterminer le tirant d'eau normal, à l'aide d'une itération suivant y, notre itération est satisfaite lorsque :

$$D = KsSRh^{2/3} \approx Q/\sqrt{I}$$

Tableau 12 : Récapitulatifs des calculs hydraulique des caniveaux.

		Caniveau 1	Caniveau 2	Caniveau 3	Caniveau 4
Débit à évacuer	Q ₅ (m ³ /s)	0,62	5,89	2,12	2,42
Pente	I (%)	5	5	5	5
Largeur	B (m)	1,5	1,5	1,5	1,5
Profondeur normal	Y _n (m)	0,267	1,301	0,5955	0,652
Hauteur	H (m)	1,5	1,5	1,5	1,5
Débit capable	Q (m ³ /s)	7,02	7,02	7,02	7,02
Vitesse de l'eau	V (m/s)	3,12	3,12	3,12	3,12
Section retenue		150x150	150x150	150x150	150x150

Le détail des calculs hydrauliques est présenté en annexe 3.

VI. PREDIMENSIONNEMENTS ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGES ET D' ASSAINISSEMENT :

VI.1.Prédimensionnement et dimensionnement du dalot :

VI.1.1.PREDIMENSIONNEMENT DU DALOT :

Pour notre pré-dimensionnement du dalot, nous avons utilisé le guide du SETRA.

L'élançement des traverses (supérieure et inférieure) est de l'ordre de 1/20 à 1/25. L'épaisseur de la traverse supérieure (E_3) peut être déterminée par la formule suivante, où "l" désigne l'ouverture biaisée de l'ouvrage.

$$E_{31} = \frac{l}{32} + 0,125, \text{ m avec un minimum de } 0,30 \text{ m du dalot 1.}$$

Les ouvrages retenus sont un dalot à deux ouvertures et les deux autres à une ouverture. Les dimensions retenues pour les deux dalots sont :

$$\text{Dalot 1 : } \begin{cases} B = 1,50\text{m} \\ H = 1,00\text{m} \\ L = 8\text{m} \end{cases} \quad \text{Dalot 2 : } \begin{cases} B = 1,50\text{m} \\ H = 1,30\text{m} \\ L = 8\text{m} \end{cases} \quad \text{Dalot 3 : } \begin{cases} B = 1,50\text{m} \\ H = 1,00\text{m} \\ L = 8\text{m} \end{cases}$$

Pour chaque ouverture, avec la formule ci-dessus, les épaisseurs calculées des dalots sont $e = 0,17$ m, les épaisseurs retenues pour les deux dalots sont de 0,30 m, pour le tablier, le radier ainsi que pour les piédroits. Les murs en aile du dalot cadre seront inclinés de 30 degrés. Leur longueur droite sera prise égale à 1,5 fois la hauteur intérieure du cadre fermé soit 3,75 m. L'épaisseur de la base du mur en aile est de 0,25m.

VI.1.2. NOTE DE CALCUL DU DALOT :

Les calculs de ferrailage seront menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91.

Les surcharges routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français régnant en la matière. Les ouvrages seront calculés par rapport au convoi de camions de type Bc de 30 t conformément aux termes de référence du projet.

Pour le calcul des efforts et sollicitations dus aux remblais, nous considérerons une hauteur moyenne de remblai de 50 cm sur le tablier avec un poids spécifique de $2t/m^3$. Le coefficient de poussée des terres sera pris égal à $k = 0,333$.

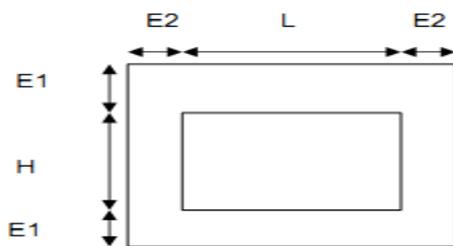


Figure 4 : Schémas Dalot type.

On prendra : $h = H + 2 \times E1$ et $l = L + 2 \times E2$

VI.1.2.1. Normes utilisées pour le calcul.

Les calculs sont établis selon les prescriptions des principaux documents suivants :

- le Guide de conception des Ponts – cadres et Portiques (SETRA)
- le Fascicule 65-A du CCTG et son additif : Exécution des ouvrages en génie civil en béton armé ou précontraint ;
- le Fascicule 62 titre V Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie civil ;
- le Fascicule n° 61 (Titre II) concernant les charges d'exploitation - Conception Calcul et épreuves des ouvrages d'art ;
- le BAEL 91 et additif 99.

VI.1.2.2. Caractéristiques des matériaux et du béton.

- ❖ Acier
 - ✓ Nuance : Acier à Haute Adhérence Fe E 400
 - ✓ Limite d'élasticité garantie $f_e = 400$ Mpa
 - ✓ Contrainte de calcul de l'acier : $\sigma_s = f_e / \gamma_s = 400 / 1.15 = 348$ Mpa avec $\gamma_s = 1.15$
 - ✓ Enrobage = 3 cm
 - ✓ Coefficient de fissuration η : $\eta = 1.6$ pour les HA ;
 - ✓ Coefficient de scellement ψ_s : $\psi_s = 1.5$ pour HA ;
- ❖ Béton
 - ✓ Poids volumique du béton = 2.5 t/m³.
 - ✓ Fissuration peu préjudiciable.
 - ✓ Résistance nominale à 28 j.
 - A la compression $f_{c28} = 27$ Mpa.
 - A la traction $f_{t28} = 0.6 + 0.06 \times f_{c28} = 2.22$ Mpa.
 - ✓ Contrainte de calcul : $f_{bd} = 0.85 \times f_{c28} / \gamma_b = 0.85 \times 27 / 1.50 = 15.3$ Mpa
 - Avec $\gamma_b = 1.50$.
 - ✓ Contrainte limite du béton : $f_{bd} = 0.60 \times f_{c28} = 0.60 \times 27 = 16.20$ Mpa.

VI.1.2.3. Principe de calcul des efforts et sollicitations.

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot. Comme on a un dalot à ouverture multiple, donc les valeurs des efforts, sollicitations et réactions d'appuis seront déterminés à partir des formules dites « équations des trois moments ».

Hypothèses de chargement :

- ❖ Classification du dalot :
 - ✓ Largeur roulable des dalots = longueur du corps de dalot hors guide-roues = 7,00m
 - ✓ Nombre de voies de circulation = 2
 - ✓ Ouvrages à classer en pont de première classe
 - ✓ Coefficient $\beta_c = 1.10$
 - ✓ Coefficient de majoration dynamique :
 $\delta = 1 + 0.40 / (1 + 0.20 * L) + 0.60 / (1 + 4 * G/S)$

Conventions :

- Les moments fléchissant sont positifs quand ils provoquent de la traction dans la partie interne du cadre ;
- N1 = effort normal dans le radier.
- N2 = effort normal dans le piédroit de gauche.
- N2b = effort normal dans le piédroit de droite.
- N3 = effort normal dans le tablier.
- Si $N > 0$, c'est un effort normal de compression.
- Si $N < 0$, c'est un effort normal de traction.

Les récapitulatifs des calculs des sollicitations sont présentés ci-dessous et les détails des notes de calculs des dalots sont présentés en Annexe IV.

Tableau 13 : Récapitulatifs des calculs de sollicitations du dalot 1 et 3.

Parties de l'ouvrage	Sollicitations t.m/ml et t/ml		Sous charges permanentes G	Sous surcharge routière
Tablier	Moment fléchissant	A l'appui intermédiaire	-0,542	-3,620
		A mi-travée	0,303	2,896
Radier	Moment fléchissant	A l'appui intermédiaire	- 0,874	-1,532
		A mi-travée	0,489	1,225
Piédroit central	Effort normal	N	5,143	10,646
Piédroit extérieur	Effort Normal	N	1,543	7,444
	Moment fléchissant	Dû au poussée de terre	0,192	
		dû à la force de freinage		
dû à la surcharge routière de remblai				0,240

Tableau 14 : Récapitulatifs de calcul de sollicitations du dalot 1 et 3.

		MA	M(A-B)	MB	M(B-C)	MC	M(A-D)	MD	N1	N2	N2b	N3
	1	-0,181	-0,174	-0,167	0,375	-0,167	0,361	-0,181	0,000	1,275	1,275	0,000
	2	-0,119	- 0,050	0,019	0,019	0,019	0,136	-0,119	0,115	0,600	0,600	-0,115
	3	- 0,042	0,128	- 0,038	- 0,038	- 0,038	- 0,042	- 0,042	0,563	0,000	0,000	0,396
	4	- 1,415	- 1,415	- 1,415	2,205	- 1,415	2,205	- 1,415	0,000	8,517	8,517	0,000
	5	-0,017	0,043	-0,017	-0,017	-0,017	-0,017	-0,017	0,200	0,000	0,000	0,200
	6	- 1,348	- 1,440	- 1,532	0,000	- 1,532	0,000	- 1,348	2,400	1,803	1,803	2,400
A	1 + 2 + 3	- 0,342	- 0,096	-0,186	0,356	-0,186	0,455	- 0,342	0,678	1,875	1,875	0,281
B	4 + 5 + 6	- 2,780	-2,812	- 2,964	2,188	- 2,964	2,188	- 2,780	2,600	10,320	10,320	2,600

A : Charges permanentes et surcharges routières.

B : Surcharges routières.

VI.1.3. CALCUL DES ARMATURES DU DALOT.

Tableau 15 : Calcul des armatures du dalot 1 et 3.

Section d'armature dalot par ml		Au (cm ² /ml)	As (cm ² /ml)	Amin (cm ² /ml)	Type d'acier
Tablier	A mi- travée	6,37	4,57	2,17	14HA8
	Appui aux extrémités	8,30	6,51	2,17	12HA10
Radier	A mi- travée	6,52	5,15	2,17	10HA10
	Appui aux extrémités	8,06	5,82	2,17	18HA8
Piédroits	Aux pieds	5,95	4,76	2,17	6HA12
	En têtes	6,11	4,90	2,17	8HA10
	A mi travée	5,37	4,35	2,17	6HA12

Tableau 16 : Calcul des armatures du dalot 2

Section d'armature dalot par ml		Au (cm ² /ml)	As (cm ² /ml)	Amin (cm ² /ml)	Type d'acier
Tablier	A mi-travée	9,06	7,09	2,17	20HA8
	Appui intermédiaire	12,02	9,28	2,17	16HA10
	Appui aux extrémités	4,44	3,44	2,17	6HA10
Radier	A mi-travée	4,56	3,58	2,17	10HA8
	Appui intermédiaire	6,40	5,01	2,17	14HA8
Piédroits	Central	9,60	-	-	10HA12
	Extérieur	7,38	5,84	2,17	14HA10

Pour les plans de ferrailage, il est à noter que :

Pour le tablier : les aciers calculés en mi- travée sont les aciers du lit inférieur et ceux calculés aux appuis aux extrémités et à l'appui intermédiaire et C sont les aciers du lit supérieur ;

Pour le radier : les aciers calculés en mi- travée sont les aciers du lit supérieur et ceux calculés aux appuis sont les aciers du lit inférieur ; les aciers calculés sont les aciers à répartir dans le sens de la plus petite portée de la bande ; c'est-à-dire dans le sens de $B = 1,7 \times 2 \text{ m}$; le diamètre des aciers dans le sens de la plus grande portée (ϕ_y) est déduit de celui des aciers calculés dans le sens de la plus petite portée (ϕ_x) par la relation suivante : $\phi_y \geq \phi_x/4$

L'espacement maximal entre les barres est :

- dans le sens x : $e_x = \inf(3h ; 33 \text{ cm }) = 33 \text{ cm}$
- dans le sens y : $e_y = \inf(4h ; 45 \text{ cm }) = 45 \text{ cm}$

Les aciers calculés au niveau des appuis doivent une longueur d'arrêt $l_a \geq 1,5/4 = 0,38$

Soit $l_a \geq 0,38 \text{ m}$

Le schéma de ferrailage obtenu est présenté en annexe V.

VI.2. Dimensionnement des caniveaux :

VI.2.1. PRE-DIMENSIONNEMENT DES CANIVEAUX :

Pour les caniveaux latéraux assurant la collecte et le drainage des eaux de pluies vers l'exutoire, il est prévu des caniveaux de section $150 \times 150 \text{ cm}^2$. Les caniveaux sont en béton armé et de forme rectangulaire. Il y'aura aussi des dalles de traversées au niveau des franchissements des rues. Les épaisseurs retenues sont de 15 cm pour les voiles et le radier, et de 20 cm pour les pièces des dalles de franchissement et pour les dimensions de la dalle de traversée nous prendrons $160 \times 100 \text{ cm}^2$.

VI.2.2. NOTE DE CALCULS DES CANIVEAUX.

Charges permanentes et charges d'exploitation :

- Charges permanentes : poids propre de la structure
- Système de surcharges B ;
- Système Br : 1 roue isolée sur la dalle de traversée.

- Surcharges sur remblai d'accès.

VI.2.3. CARACTERISTIQUES DU BETON.

Les mêmes types de matériaux seront utilisés pour les dalots et les caniveaux à savoir du La résistance du béton $f_{c28} = 25$ MPA, dosé à 350kg/m³ et des aciers à haute adhérence HA 400 et notre enrobage est de 3 cm.

VI.2.4. CALCULS DES ARMATURES DES CANIVEAUX

Tableau 17 : Récapitulatif des calculs d'armatures

	Caniveau 150 x 150	
	Piédroit	Radier
As (section à l'ELS)	1,71 cm ²	0,79 cm ²
Au (section à l'ELU)	0,807 cm ²	3,47 cm ²
Amin (Condition de non fragilité)	1,21 cm ²	1,21 cm ²
Armatures principales	4 HA8	5 HA12
Armatures de répartition	HA6	HA8

Les résultats des sollicitations ainsi que les détails des notes de calculs des caniveaux sont en Annexe IV.

VII. SIGNALISATION ET SECURITE ROUTIERE.

VII.1. SIGNALISATION VERTICALE :

Elle concerne la disposition de panneaux de signalisation notamment ceux de prescriptions et de renseignements.

Il s'agit :

- des panneaux de danger de type A : indiquant les traversées piétonnes ;
- des panneaux d'intersection et de priorité de passage de type AB : Arrêt obligatoire, priorité de passage pour piéton, cédez le passage ;
- des panneaux de prescription de type B : Obligations
- des panneaux d'indication de type C : Parking, passage pour piéton, zone de stationnement d'autocars, voie sans issues ;

L'objectif essentiel de cette signalisation est de fournir conformément au code de la route et aux normes techniques utilisées pour la conception géométrique de la voirie, une lisibilité et une compréhension aisées pour les usagers.

Il y'aura au totale 26 signalisations verticales :

- 10 pour la signalisation de dos d'ânes.
- 10 panneaux de ralentisseur de dos d'ânes.
- 6 panneaux de stop.

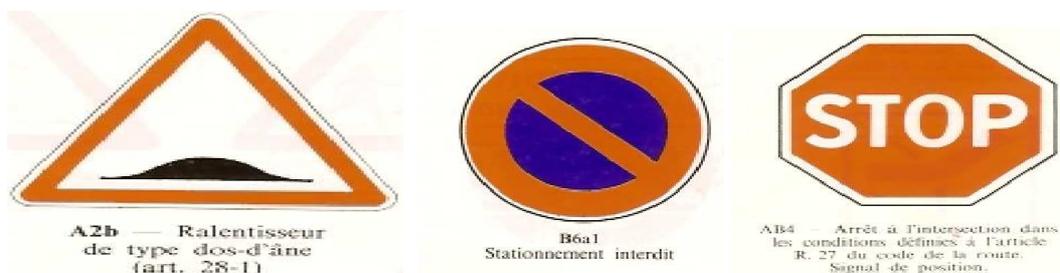


Figure 5 : Exemple de signalisations verticales.

VII.2. SIGNALISATION HORIZONTALE :

Elle consiste au marquage conventionnel de la chaussée de toutes prescriptions et indications nécessaires à la circulation routière. Elle a pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de circulation ou à certaines catégories d'usagers, ainsi que, dans certains cas, la conduite que doivent observer les usagers. C'est la couleur blanche qui est prescrite pour les marquages sur chaussée. Le jaune est utilisé pour interdire l'arrêt ou le stationnement et pour le marquage temporaire. La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unitaire u différente suivant le type de route. On adopte pour valeur de u : 7,5 cm pour les routes à chaussées séparées, 6 cm pour les routes importantes, 5 cm pour les autres types de route.

Il s'agit entre autre :

- ✓ des marquages longitudinaux (lignes d'axe et de rives de chaussée) ;
- ✓ des marquages transversaux (lignes complétant les panneaux "stop" et "cédez le passage" et "lignes d'effet des feux" aux intersections);
- ✓ des marquages des passages cloutés à l'approche des zones d'équipement socio-collectifs (marché, écoles) et aux arrêts de bus ;
- ✓ des marquages des zones de stationnement pour autocars ;
- ✓ les flèches de direction et de sélection.

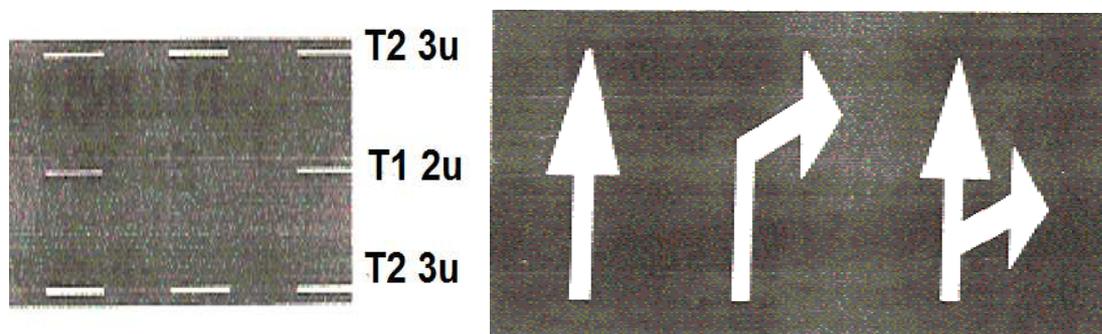


Figure 6 : Exemples de signalisations horizontales.

VII.3. SIGNALISATION LUMINEUSE :

Il s'agit essentiellement des feux tricolores réglementant la circulation qui seront implantés au niveau des intersections avec les voies secondaires et au niveau du giratoire. Dans notre projet nous utiliserons deux feux tricolores, à savoir au début du projet à l'intersection avec la RN.3.

VII.4. EXTRAIT DU PLAN DE SIGNALISATION :

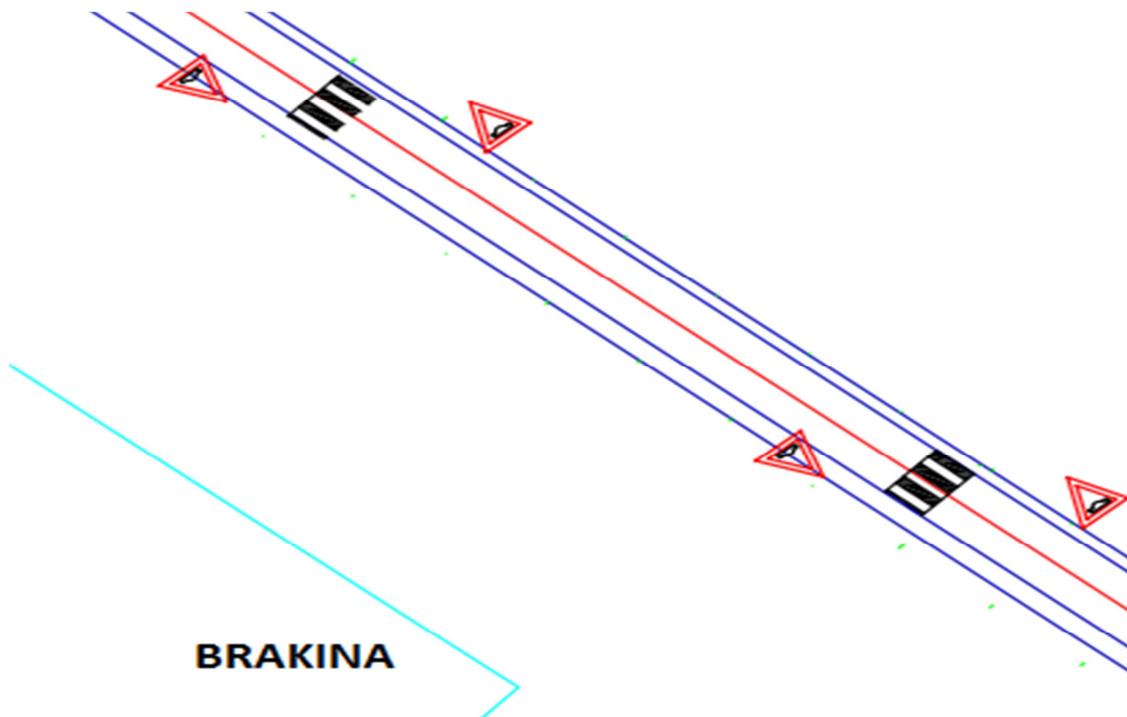


Figure 7 : Extrait du plan de signalisation zone Brakina

VIII. ECLAIRAGE PUBLIC.

L'éclairage des voies urbaines constitue un élément important de sécurité pour les piétons et pour les automobilistes, surtout pour la conduite nocturne. En ville, l'éclairage doit faciliter le déplacement des piétons sur les trottoirs et les rendre visibles par l'automobiliste lorsqu'ils traversent la chaussée. Le dispositif d'éclairage est constitué de candélabres supportant des lampes. Les candélabres doivent être dimensionnés et conçus pour résister aux efforts dus au vent et aux chocs, résister à la corrosion, être relativement légers pour faciliter la manutention, et l'accès aux appareillages. Ils doivent présenter une esthétique adaptée au site sur lequel ils sont implantés.

L'étude de l'éclairage public vise à analyser la réalisation d'un éclairage adéquat et suffisant de notre tronçon.

Le dispositif qui sera utilisé pour l'éclairage à chaque 100 m, des poteaux d'éclairage seront placés à 1m derrière le caniveau; ils seront connectés à des poteaux électriques de basses tensions ; les lampes de vapeur sodium de 150 W et 250 W seront utilisées pour le projet.

Le tableau des caractéristiques de l'éclairage, ci-dessous résume les détails nécessaires pour estimer le coût de l'éclairage.

Tableau 18 : Caractéristiques de l'éclairage.

Lampes	Vapeur de sodium haute pression 150W et 250W ; Luminaire : Classe II, fermé, IP66 ; Équipements : ballast, condensateur, Amorceurs, platines
Implantation	Côté droit de la chaussée à 2,5 m du bord de la chaussée.
Espacement	Espacement entre candélabre : 50m
Hauteur du feu	4 m
Câblage	Avec un câble en cuivre nu de 25 mm ² , câbles d'alimentation connecté au réseau basse tension
Nombre de candélabre	44 soit un candélabre à chaque 100 m

IX. ASPECT ENVIRONNEMENTALE

La protection de l'environnement et de la qualité de la vie est devenue une des préoccupations majeures de la société actuelle. Il est donc intéressant de développer et aménager le réseau routier tout en l'intégrant dans les lieux de vie et les sites naturels. Le présent résumé de l'étude d'impact environnementale concerne le projet d'aménagement routier de la voie d'accès à la cimenterie de CIM B d'une longueur totale de 4412.932 m. Sur la base des résultats de cette étude et des études antérieures, ce résumé fait ressortir les points et les recommandations importantes.

VIII.1. ANALYSE DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET :

VII.1.1. IMPACTS NEGATIVES :

VII.1.1.1. Pendant la phase des travaux :

❖ Impact sur le milieu physique :

Pendant la phase de construction les impacts négatifs sur le milieu naturel sont en premier lieu les impacts classiques d'un chantier de construction de route dont : les émissions de poussières et les pollutions atmosphériques affecteront la qualité de l'air. Les nuisances acoustiques liées à la circulation des engins de chantier. Cette pollution est susceptible de générer des maladies pour les personnes très proches des aires de travaux et de provoquer la fermeture temporaire de lieux de travail ou de commerce.

Les risques de contamination des sols et des ressources hydriques liés aux accidents probables avec des produits dangereux utilisés qui peut être dû à une insuffisance d'entretien et de maintenance des engins et véhicules de travaux induit fréquemment des déversements accidentels d'hydrocarbures. Les risques de pollution de ces milieux due aux rejets d'eaux usées et de déchets solides du chantier (logements et bureaux).

Les risque sur le paysage urbain: L'installation du chantier et les travaux auront un impact négatif mais faible et temporaire sur le paysage. Les travaux entraîneront une modification locale et permanente du paysage. En effet, dans un premier temps, suite au déboisement sur le tracé et dans les zones d'emprunt, on constatera un changement modeste du paysage.

Les bruits engendrés par les camions lors de leur passage pour transporter et déposer les matériaux sur les sites de travaux restent des bruits semi-permanents, tandis que ceux des

engins de terrassement et de compactage sont des bruits continus pendant les travaux. On assistera donc à une augmentation localisé du niveau de bruit qui affectera les habitants.

Les travaux de construction de route sont de grandes consommatrices d'eau. Le risque est de porter atteinte à la qualité des eaux de surface soit à travers l'augmentation de la sédimentation, soit consécutivement à des déversements accidentels d'hydrocarbures.

❖ **Impacts sur le milieu biologique :**

- Nuisances liées à la circulation des véhicules (augmentation de la mortalité par collision) et des engins de chantier, au bruit, à l'émission de poussières et de polluants,
- Destruction ou perturbation de sites favorables aux différentes espèces,
- Risque d'incendie. .
- Impact sur la faune terrestre et aquatique : On note que trois activités principales affecteront significativement la faune, à savoir le déboisement des sites et des zones d'emprunt et le prélèvement d'eau de surface pour les travaux de compactage. Avec le déboisement dans les zones d'emprunt, disparaîtront les refuges locaux, réserves de nourriture et sites de reproduction de nombreux animaux.
- Impacts sur la végétation naturelle et les plantations : Les zones d'emprise des voies devront être entièrement dégagées de la végétation avec pour résultat la perte permanente de végétation dans ces secteurs. Ces actions entraîneront une destruction de la végétation. Les travaux d'aménagement de la voie, causeront des dommages à la végétation ligneuse et entraîneront l'abattage des arbres existants sur l'emprise.

❖ **Impacts sur le milieu humain :**

Les bruits, les vibrations et les émissions constituent des impacts qui pourraient avoir une influence sur la santé des habitants et des ouvriers.

- La circulation des camions et engins de chantier pourra également causer des accidents.
- De même, l'attractivité de la région augmente pour les gens à la recherche d'emplois, ce qui pourrait perturber les structures socioculturelles existantes.
- Manque à gagner pour les agriculteurs dont les terrains sont concernés par les travaux,
- Impact visuel des chantiers et des bases vie.

VII.1.1.2. Pendant la phase d'exploitation :

❖ **Milieu physique :**

- Risques de pollution chronique (eaux de ruissellement de la chaussée), ou de pollution accidentelle,
- Recalibrage et artificialisation des cours d'eau, modification des bassins versants, augmentation des risques d'inondation ;

❖ **Milieu biologique :**

- Nuisances liées à la circulation des véhicules,

❖ **Milieu humain :**

- Nuisances pour ceux qui habitent pas loin de la route (bruit, gêne respiratoire),
- Manque à gagner pour les commerçants implantés sur le réseau routier.
- Risque d'accidents et de contamination des forages, puits ou adductions d'eau potable située à proximité de la route,
- Impact visuel.

VII.1.2. IMPACTS POSITIVES :

❖ **Impacts positifs directs :**

- L'amélioration de la sécurité routière : le confort de la route présente de meilleures caractéristiques géométriques moins accidentelles impliquant sûrement l'amélioration de la sécurité routière.
- L'amélioration des conditions de circulation : surtout la réduction des nuisances (pollution de l'air et bruit) du fait de transformer la route en terre par une route bitumée.

❖ **Impacts positifs indirects :**

- La création de nouveaux emplois : L'augmentation d'activités par la création d'emplois temporaires (du fait de la construction du projet routier au profit de la main d'œuvre locale) et permanents (pour les besoins d'exploitation de la route);

VII.2. PRINCIPALES MESURES A PRENDRE :

VII.2.1. MESURES EN PHASE TRAVAUX :

Les impacts négatifs sur l'environnement mentionnés pendant la phase des travaux peuvent être anéantis ou/et réduits par l'observation et la mise en œuvre d'un certain nombre de

mesures concernant en premier lieu les atténuations relatives à l'installation et l'exploitation de chantiers, à savoir à titre indicatif :

- Le choix judicieux de l'emplacement des zones d'installation de chantier et des routes d'accès qui doit porter sur des zones le plus loin possible des secteurs sensibles et d'habitations.
- Le stockage des produits dangereux doit faire l'objet de dispositifs strictes et particulièrement spécifiques dans le but de limiter au maximum possible les risques pour l'environnement ; des aires spécifiques doivent être réservés et aménagées pour l'entretien, le ravitaillement et le nettoyage des engins utilisés et ce pour limiter les risques de contamination et de dégradation de la qualité des eaux ;
- L'évacuation régulière vers un site de traitement ; la récupération et l'évacuation régulière des déchets du chantier.
- L'utilisation d'engins aux normes en matière de bruit ; le réglage des moteurs des engins sera surveillée afin de limiter la production de fumées, gaz ou odeurs désagréables etc.
- La mise en place de sanitaires raccordés à une fosse étanche ;
- L'indemnisation des riverains des chantiers en cas de constatation de dégâts divers (préjudices, suspension de jouissance, pertes de récolte, destruction des réseaux d'irrigation agricoles ...).par les travaux.
- L'institution d'un dispositif d'intervention très rapide en cas d'accident, permettant de recueillir les sols pollués avant que le polluant ne se soit trop infiltré et récupérable.
- L'utilisation des carrières abandonnées pour le dépôt des matériaux excédentaires et les carrières existantes plutôt que des nouveaux sites pour les zones d'emprunt.
- La réutilisation des déblais pour les secteurs en remblais chaque fois que la qualité des matériaux extraits le permettent.
- L'instauration et l'observation stricte de mesures d'interdiction de brûlage de souches ou de tout autre déchet doivent être prises à proximité des zones pouvant constituer un terrain favorable à un départ d'incendie
- La mise en place d'une signalisation claire des chantiers et pistes d'accès. Plusieurs passages très sensibles (hauts risques d'accidents) méritent une signalisation appropriée.

VII.2.2. MESURES EN PHASE EXPLOITATION :

Les principales mesures de compensation et d'atténuation en phase d'exploitation portent sur les points suivants :

- Suivi de la remise en état des principales zones de dépôt (reboisement), des chantiers et des bases vies.
- Retenue de véhicules dans l'emprise routière par des barrières de sécurité pour éviter tout déversement en dehors de celle-ci ;
- Entretien régulier de l'ensemble des dispositifs de drainage et d'épuration, mise en place d'un plan de gestion des talus intégrant les contraintes de sécurité, les objectifs paysagers et la protection et conservation de la faune.
- Entretien des plantations (haies, talus, etc.)
- Minimiser les risques de pollution chronique (liée à la circulation et à l'usure des véhicules) et par la pollution accidentelle (déversement de produits dangereux sur la chaussée). Par la limitation et le contrôle de vitesses des poids lourds ;
- Minimiser les risques d'aggravation des phénomènes d'inondations liés à l'insuffisance de dimensionnement des ouvrages hydrauliques en évitant autant que possible les remblais en zones inondables ;
- Réaliser un suivi réguliers par des analyses physico-chimiques et diverses ressources en eau à proximité du tracé;
- Elaborer et mettre en œuvre un programme de suivi de la qualité de l'air et des niveaux de bruit sur des tronçons sensibles ;
- Procéder au contrôle régulier des clôtures de bordures de la route afin d'interdire l'accès à tout bétail itinérant (moutons, chèvres, ânes....).

X. AVANT-PROJET ET ESTIMATION DU COUT DE PROJET :

X.I. AVANT-METRE :

Les travaux prévus pour être exécutés peuvent être décomposés en plusieurs postes de travaux regroupés comme suit : l'installation de chantier, les travaux préparatoires et terrassements généraux, la chaussée, le revêtement, les ouvrages d'art, l'assainissement, la sécurité – signalisation, les mesures sociales et environnementales.

X.I.1. INSTALLATION DE CHANTIER.

Elle prend en compte les différents travaux d'installation des bases de l'entreprise ainsi que des sujétions d'amenée et repli de matériel de chantier.

X.I.2. PRÉPARATION DU CHANTIER ET DE LA CHAUSSÉE.

Ces travaux ont été évalués sur la base des propositions d'aménagement. Ainsi, les différentes quantités ont été évaluées soit en longueur, en surface ou en volume issus des plans et du calage altimétrique des voies. Les logiciels exploités à cet effet sont PISTE, et AUTOCAD. Les travaux de démolition qui concernent les caniveaux et les déplacements ont été pris en compte dans ce poste de travaux.

X.I.3. REVÊTEMENT.

Sur la base des profils en travers type, les surfaces de revêtues ont été quantifiées à l'aide du logiciel AUTOCAD.

X.I.4. LES OUVRAGES D'ART ET L'ASSAINISSEMENT.

Les avant-métrés de l'ensemble des ouvrages d'assainissement ont été effectués sur la base de l'étude hydraulique, du dimensionnement structurel des ouvrages, des équipements annexes, des plans et les quantités élémentaires correspondantes aux différents travaux.

X.I.5. LA SÉCURITÉ – SIGNALISATION.

Les quantités portées à ces postes sont déduites du paragraphe « sécurité et signalisation routières » et sont issues des plans. Un pourcentage a été pris pour la réalisation du marquage au sol.

Tableau 19 : Estimations des différentes quantités.

DESIGNATION	UNITE	NOMBRE	QUANTITE
Nettoyage de l'emprise	m2	1	40 600
Terrassement			
Volume de remblai	m3	1	15395,4
Volume de déblai	m3	1	18899,2
Chaussée			
Couche de fondation	m3	1	12075
Couche de base	m3	1	9660
Couche de revêtement	m3	1	2415
Assainissement et drainage			
Caniveaux 150x150	ml	1	4853
Volume de béton armé	m3	1	4732
Volume de béton de propreté	m3	1	437
Quantité d'acier	t	1	
Ouvrage d'art	U	3	
Signalisation et équipement divers			
Panneaux de signalisation	U	8	
Feux tricolores	U	2	
Luminaire éclairage public	U	40	

Tableau 20 : Coût estimatif du projet

RECAPITULATIF	
Section 000 – Installation de chantier	110 000 000
SECTION 100 - DEGAGEMENT DES EMPRISES	278 919 200
SECTION 200 - TERRASSEMENTS GENERAUX	607 901 700
SECTION 300 - CHAUSSEES	2 354 625
SECTION 400 - ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE	634 359 500
SECTION 500 - OUVRAGES D'ART	131 430 240
SECTION 600 - SIGNALISATION	198 700 000
SECTION 700 - PRESTATIONS ENVIRONNEMENTALES	240 956 126
TOTAL HORS TVA	2 204 621 391
TVA AU TAUX 18%	396 831 850
TOTAL TTC	2 601 453 242

XI. CONCLUSION :

L'étude ainsi réalisée a concerné la voie d'accès à la zone industrielle soit l'aménagement d'une route de 4,4 km et de deux ouvrages d'art au franchissement à savoir dalots à deux ouvertures en béton armé.

Le volet socio-environnemental a amené à considérer les mesures à prendre pour la zone du projet et la zone d'emprunt.

L'ensemble des aménagements proposés vise à répondre au mieux aux attentes des populations ; en outre il tient compte des contraintes d'ordre technique et environnementale du projet.

L'élaboration de ce projet nous a permis à travers les démarches d'une étude technique et détaillée de mettre en application les connaissances acquises tant en théorie qu'en pratique en vue de proposer un projet réaliste, à un coût assez raisonnable et facilement réalisable. Le coût du projet est estimé à 2 601 453 242 F CFA.

L'étude de cet avant-projet détaillé nous a permis également de toucher du bout des doigts les difficultés liées aux études d'une façon générale et en particulier aux études d'aménagement routier.

Bibliographie

Ouvrages et articles:

- Ben Ouézdou M. (Septembre 2012), Cours D'ouvrage D'art Tome 1 : Conception, ENIT (Ecole National d'Ingénieurs de Tunis).
- Ben Ouézdou M. (Septembre 2012), Cours D'ouvrage D'art Tome 2 : Dimensionnement ENIT (Ecole National d'Ingénieurs de Tunis).
- Bertier J. Projet et construction de routes (Technique de l'ingénieur, Traité de Construction C5 500)
- Bertier J. Véhicules et Routes (Technique de l'ingénieur, Traité de Construction C 4 400)
- Bulletin FAO d'irrigation et de drainage (mars 1998), Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.
- CEBTP (1980), Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les pays tropicaux ; Ministère de la coopération de la république française.
- Guinaudeau M. et Gineste P. (1984), Cours D'hydrologie Tome 1 : Hydrométrie et Hydrologie statistique, EIER.
- Karambiri H. (Octobre 2009), Cours d'hydrologie 2IE.
- Michel P. (2001), L'étude d'impact sur l'environnement ; Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement de la république française [BCEOM].
- Nguyen VAN TUU, Bernard LEMOINE, Jacques POUPLARD, 1981. Hydraulique Routière ; Ministère de la Coopération et du Développement de la République Française [BCEOM, 1981].
- ONR (Observatoire National de la Route) (1998), Dictionnaire de l'entretien routier volume 5 : Ouvrages d'art ; Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire de la République française.
- SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) (janvier 2006), Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes ; Ministère des transports de l'équipement du tourisme et de la mer de la République française.
- SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) (juillet 2007), Cours d'eau et pont ; Ministères de l'écologie du développement et de l'aménagement durable.

- SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) (Octobre 1982), Définition des convois-types règles pour la vérification des ouvrages d'art ; Départements des ouvrages d'art de Paris.
- SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) (1976), Nomenclature des parties d'ouvrages d'art en béton armé et précontraint, et en maçonnerie ; Ministère de l'Équipement de la république française.
- SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) (Décembre 1994), Conception et dimensionnement des structures de chaussée ; Ministère des transports de l'équipement du tourisme de la République française.

Sites internet :

- www.google.fr/, le 25/05/2013
- www.estis.net/, le 26/05/2013,
- <http://maps.google.fr/>, le 02/06/2013

ANNEXES

SOMMAIRE

<u>Annexe I : Conception géométrique</u>	59
<u>I.1 Axe en plan</u> :	59
<u>I.2 Axe en profil</u> :	60
<u>I.3 Volume de terrassement</u> :	61
<u>Annexe II : Etude Hydrologique</u>	66
<u>II)a- Caractéristiques des bassins versants des dalots</u> :	66
<u>II)b- Détermination de la crue du projet</u> :	66
<u>Annexe III : Etude Hydraulique</u>	70
<u>III.a- Étude hydraulique des dalots</u>	70
<u>III.b) Étude hydraulique des caniveaux</u>	73
<u>Annexe IV : Note de Calcul des ouvrages de franchissement et de drainage</u>	75
<u>IV.a) Note de calcul du dalot 2:</u>	75
<u>IV.a) 1. Evaluation des charges permanentes</u> :.....	75
<u>IV.a) 2. Evaluation des surcharges routières</u> :.....	76
<u>IV.a) 3. Détermination des efforts et sollicitations</u>	77
<u>IV.a) 4. Calcul des armatures</u> :.....	81
<u>IV.b) Note de calcul du dalot 1</u> :.....	87
<u>IV.b) 1. Calcul des constantes</u>	87
<u>IV.b) 2. Détermination des charges, efforts et sollicitations</u>	88
<u>IV.b) 3. Calcul des armatures</u> :.....	95
<u>IV.c) Note de calcul des caniveaux</u> :.....	102
<u>IV.c) 1. Hypothèses de calcul</u> :.....	102
<u>IV.b) 2. Principe de calcul des efforts et sollicitations</u>	103
<u>Annexe V : Note de Calcul Alizée</u>	108
<u>Annexe VI : Plan d'exécution</u>	109

Annexe I : Conception géométrique

I.1 Axe en plan :

AXE EN PLAN		: AXE1			
Eléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	666818.884	1372847.320
D1	G = 345.546g	1929.531			
			1929.531	665362.461	1374112.991
C1	XC= 665690.434				
	YC= 1374490.395				
	R = -500.000	0.240			
			1929.772	665362.279	1374113.149
D2	G = 345.577g	1768.656			
			3698.428	664027.843	1375273.935
C2	XC= 663699.688				
	YC= 1374896.689				
	R = 500.000	160.319			
			3858.747	663892.221	1375358.134
D3	G = 325.164g	46.669			
			3905.416	663849.151	1375376.104
C3	XC= 663656.618				
	YC= 1374914.660				
	R = 500.000	172.401			
			4077.816	663681.846	1375414.023
D4	G = 303.213g	37.602			
			4115.418	663644.292	1375415.920
C4	XC= 663619.064				
	YC= 1374916.557				
	R = 500.000	146.006			

			4261.424	663499.468	1375402.043
D5	G = 284.623g	100.392			
			4361.816	663401.990	1375378.030
LONGUEUR DE L'AXE			4361.816		

I.2 Axe en profil :

AXE EN PLAN			: AXE1		
Eléments	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	666818.884	1372847.320
D1	G = 345.546g	1929.531			
			1929.531	665362.461	1374112.991
C1	XC= 665690.434				
	YC= 1374490.395				
	R = -500.000	0.240			
			1929.772	665362.279	1374113.149
D2	G = 345.577g	1768.656			
			3698.428	664027.843	1375273.935
C2	XC= 663699.688				
	YC= 1374896.689				
	R = 500.000	160.319			
			3858.747	663892.221	1375358.134
D3	G = 325.164g	46.669			
			3905.416	663849.151	1375376.104
C3	XC= 663656.618				
	YC= 1374914.660				
	R = 500.000	172.401			
			4077.816	663681.846	1375414.023
D4	G = 303.213g	37.602			

			4115.418	663644.292	1375415.920
C4	XC= 663619.064				
	YC= 1374916.557				
	R = 500.000	146.006			
			4261.424	663499.468	1375402.043
D5	G = 284.623g	100.392			
			4361.816	663401.990	1375378.030
LONGUEUR DE L'AXE			4361.816		

I.3 Volume de terrassement :

N° Profil	Abscisse Curviligne	Remblai Volume	Déblai Volume
1	0.000	0,0	94,1
2	25.000	10,1	112,2
3	50.000	120,3	92,2
4	75.000	125,8	180,2
5	100.000	101,0	107,4
6	125.000	125,2	160,6
7	150.000	134,3	62,4
8	175.000	125,9	15,9
9	200.000	114,4	120,0
10	225.000	259,8	12,9
11	250.000	327,8	89,2
12	275.000	136,5	11,1
13	300.000	104,3	46,3
14	325.000	114,4	43,3
15	350.000	99,6	157,0
16	375.000	11,1	169,7
17	400.000	3,0	198,1
18	425.000	2,0	126,4
19	450.000	4,0	128,3
20	475.000	0,0	194,5

21	500.000	5,0	149,6
22	525.000	10,0	147,0
23	550.000	0,0	192,8
24	575.000	13,4	178,3
25	600.000	269,8	138,4
26	625.000	0,0	184,1
27	650.000	0,0	124,0
28	675.000	0,0	149,6
29	700.000	17,3	147,8
30	725.000	0,0	189,4
31	750.000	0,0	90,4
32	775.000	0,0	102,0
33	800.000	0,0	118,3
34	825.000	0,0	75,4
35	850.000	50,6	43,6
36	875.000	29,5	36,9
37	900.000	0,0	129,9
38	925.000	0,0	128,7
39	950.000	2,0	150,4
40	975.000	0,0	127,5
41	1000.000	85,7	134,4
42	1025.000	59,3	135,3
43	1050.000	8,6	167,7
44	1075.000	83,0	143,0
45	1100.000	89,8	196,5
46	1125.000	7,0	138,1
47	1150.000	0,0	158,9
48	1175.000	105,9	159,0
49	1200.000	0,0	121,1
50	1225.000	170,1	31,6
51	1250.000	199,6	29,6
52	1275.000	147,7	0,0
53	1300.000	399,9	15,6
54	1325.000	376,9	2,3
55	1350.000	314,3	0,0
56	1375.000	29,2	100,0
57	1400.000	85,5	2,4
58	1425.000	88,2	10,2
59	1450.000	42,8	65,5
60	1475.000	30,9	146,7
61	1500.000	0,0	85,8
62	1525.000	11,0	39,5
63	1550.000	7,6	128,7

64	1575.000	68,5	168,5
65	1600.000	12,0	111,6
66	1625.000	0,0	163,9
67	1650.000	31,6	167,3
68	1675.000	20,0	136,6
69	1700.000	0,0	183,8
70	1725.000	0,0	132,9
71	1750.000	0,0	185,6
72	1775.000	0,0	131,6
73	1800.000	0,0	133,4
74	1825.000	78,6	106,7
75	1850.000	74,8	149,6
76	1875.000	95,7	109,1
77	1900.000	27,7	90,1
78	1925.000	146,8	65,6
79	1929.531	192,7	25,4
80	1929.772	139,4	72,4
81	1950.000	43,2	74,7
82	1975.000	34,3	79,3
83	2000.000	45,9	119,1
84	2025.000	75,2	130,4
85	2050.000	0,0	118,2
86	2075.000	78,6	107,1
87	2100.000	0,0	132,4
88	2125.000	47,5	116,4
89	2150.000	0,0	147,5
90	2175.000	134,6	104,7
91	2200.000	55,7	125,5
92	2225.000	108,1	142,4
93	2250.000	0,0	194,6
94	2275.000	0,0	158,6
95	2300.000	236,0	0,0
96	2325.000	232,6	0,0
97	2350.000	298,0	0,0
98	2375.000	313,6	0,0
99	2400.000	356,0	0,0
100	2425.000	304,8	0,0
101	2450.000	138,0	163,3
102	2475.000	167,4	132,4
103	2500.000	101,6	120,2
104	2525.000	12,7	138,7
105	2550.000	219,7	0,0
106	2575.000	11,4	213,2

107	2600.000	112,5	164,8
108	2625.000	110,8	190,4
109	2650.000	217,6	123,7
110	2675.000	56,9	126,4
111	2700.000	0,0	178,6
112	2725.000	54,9	219,6
113	2750.000	56,6	121,2
114	2775.000	71,1	181,2
115	2800.000	55,0	185,6
116	2825.000	17,9	208,6
117	2850.000	154,1	206,5
118	2875.000	78,5	210,0
119	2900.000	0,0	199,7
120	2925.000	8,7	121,2
121	2950.000	103,7	158,4
122	2975.000	87,0	178,3
123	3000.000	0,0	208,1
124	3025.000	0,0	179,4
125	3050.000	0,0	217,5
126	3075.000	0,0	196,8
127	3100.000		
128	3125.000		
129	3150.000		
130	3175.000	8,2	186,6
131	3200.000	127,8	199,3
132	3225.000	123,6	199,5
133	3250.000	258,7	82,4
134	3275.000	292,7	122,8
135	3300.000	450,6	120,2
136	3325.000	198,9	250,7
137	3350.000	156,7	237,9
138	3375.000	104,6	275,2
139	3400.000	124,5	202,6
140	3425.000	10,6	185,5
141	3450.000	48,4	193,8
142	3475.000	0,0	157,2
143	3500.000	0,0	185,1
144	3525.000	0,0	138,3
145	3550.000	35,9	114,2
146	3575.000	50,7	123,1
147	3600.000	181,8	101,7
148	3625.000	124,8	148,4
149	3650.000	78,7	126,1

150	3675.000	39,8	125,3
151	3698.428	164,9	94,6
152	3700.000	10,7	90,6
153	3725.000	50,6	133,4
154	3750.000	47,3	143,4
155	3775.000	27,8	135,4
156	3800.000	58,6	146,9
157	3825.000	75,8	138,1
158	3850.000	26,9	167,7
159	3858.747	60,8	153,8
160	3875.000	25,6	166,6
161	3900.000	56,8	131,3
162	3905.416	58,7	124,5
163	3925.000	0,0	159,1
164	3950.000	30,4	193,6
165	3975.000	0,0	198,2
166	4000.000	20,4	181,9
167	4025.000	8,9	199,6
168	4050.000	86,9	153,7
169	4075.000	93,5	172,0
170	4077.816	193,0	117,1
171	4100.000	218,1	86,0
172	4115.418	144,6	106,2
173	4125.000	161,8	120,3
174	4150.000	142,9	95,8
175	4175.000	145,2	84,1
176	4200.000	71,7	99,6
177	4225.000	28,2	82,5
178	4250.000	71,9	81,5
179	4261.424	72,6	91,1
180	4275.000	56,8	122,5
181	4300.000	0,0	126,2
182	4325.000	0,0	125,3
183	4350.000	0,0	185,2
184	4361.816	18,9	150,7
Total		12468	11876

Annexe II : Etude Hydrologique

II)a- Caractéristiques des bassins versants des dalots :

	A (km ²)	Tc (min)	I (mm/h)	Q (m ³ /s)
Sous-bassin versant 1	0,0396	12,5	52,2	0,46
Sous-bassin versant 2	0,2831	16,97	63,6	4
Sous-bassin versant 3	0,0422	12,8	55,3	0,50

Tableau A.II.1 : Caractéristiques des bassins versants

II)b- Détermination de la crue du projet :

Ce qui fait que pour la détermination de la crue décennale nous avons :

$$Q_{10} = 0,278CiA$$

On prend C = 0.8

✓ Temps de concentration

- la Formule de KIRPICH :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}}$$

L étant la distance entre le point le plus éloigné du bassin versant et le fossé : $L = 2\sqrt{S}$

H étant la dénivelée entre le point le plus éloigné du bassin versant et le fossé : $H = p \times L$, p étant la pente du bassin versant.

La formule devient alors :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}} = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{(pL)^{0,38}} = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1,15}}{p^{0,38} L^{0,38}} = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{p^{0,38}}$$

	S	L (m)	p (%)	Tc (min)
Sous-bassin versant 1	0,0396	0,40	0,002	12,5
Sous-bassin versant 2	0,2831	1,06	0,003	16,97
Sous bassin versant 3	0,0422	1,14	0,0021	13,4

Tableau A.II.2 : Récapitulatifs du calcul du temps de concentration

✓ Intensité de la pluie.

L'intensité est déterminée à l'aide de la formule de Montana, puisque nous ne disposons pas de courbe I.D.F (Intensité-durée-fréquence).

Avec comme coefficient de Montana pour la ville de Ouagadougou, pour un temps de retour de 10 ans : a = 10,1 et b = -0,65

$i = aTc^{-b}$, et on en déduit la valeur de Q

- i en mm/mn.
- Tc en mn.

a et b sont les coefficients de Montana.

	A (km ²)	Tc (min)	I (mm/h)	Q (m ³ /s)
Sous-bassin versant 1	0,0396	12,5	52,2	0,46
Sous-bassin versant 2	0,2831	16,97	63,6	4
Sous-bassin versant 3	0,0422	12,8	55,3	0,50

Tableau II.3 : Récapitulatifs de calcul de débit

II.c- Détermination du débit pour les caniveaux:

Pour le dimensionnement hydrologique de nos caniveaux on utilisera la formule de Caquot, est retenue pour l'évaluation du débit de crue.

✓ Formule de Caquot :

$$Q = k * C^m * I^n * A^p$$

Avec :

- Q : débit maximal à l'exutoire de fréquence F, (en m³/s) ;
- C : coefficient de ruissellement ;
- I : pente moyenne du bassin (en m/m) ;
- A : superficie du bassin versant en ha ;
- k, m, n, p : des coefficients et exposants dépendant des unités choisies et des coefficients de Montana.

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

La formule générale de Caquot devient :

$$Q = \frac{1000a}{9 * 1,1^b} * C^{1,16} * I^{\frac{3b}{8}} * A^{0,95-0,2b} * \left(\frac{L}{2A^{0,5}}\right)^{-0,6b}$$

Où Qi : la crue de durée de retour i (m³/s) ;

L : longueur du plus long chemin hydraulique (hm).

Pour la ville de Ouagadougou, l'expression, selon une durée de retour de 5 ans et de 10 ans :

- $Q_5 = 2,03 I^{0,23} A^{0,82} * C^{1,16}$
- $Q_{10} = 2,38 I^{0,23} A^{0,82} * C^{1,16}$

Coefficients de Montana				
Durée de retour T	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
B	-0,65	-0,65	-0,65	-0,64
A	7,316	8,9	10,1	11,247

Tableau IV.2 : Coefficient de Montana en fonction de la durée de retour (source : Nouvelles courbes Intensité-Durée-Fréquence à Ouagadougou)

	Caniveau 1	Caniveau 2	Caniveau 3	Caniveau 4
A (m ²)	9750	108000	21000	23600
P (m)	510	1320	410	820
L (m)	197,4842	657,2671	289,8275	307,24583
Dh	1,4	1,2	1,2	1,4
p (%)	0,0071	0,0018	0,0061	0,0045566
C	0,8	0,8	0,8	0,8
Q5 (m ³)	0,62	5,89	2,12	2,40
Q10 (m ³)	0,7317	27,5489	2,48681	2,81605

Tableau A.IV.3 : Caractéristiques du bassin versant des caniveaux

		a	b	J (pente)	C	A (hectare)	Q (m ³ /s)
Caniveau 1	Q5	8,9	-0,65	0,0071	0,8	0,975	0,62
	Q10	10,1	-0,65	0,0071	0,8	0,975	0,73
Caniveau 2	Q5	8,9	-0,65	0,0018	0,8	10,8	5,89
	Q10	10,1	-0,65	0,0018	0,8	10,8	6,89
Caniveau 3	Q5	8,9	-0,65	0,0061	0,8	2,1	2,12
	Q10	10,1	-0,65	0,0061	0,8	2,1	2,48
Caniveau 4	Q5	8,9	-0,65	0,00456	0,8	2,36	2,40
	Q10	10,1	-0,65	0,00456	0,8	2,36	2,82

Tableau A.IV.3 : Calculs du débits des caniveaux

Annexe III : Etude Hydraulique

III.a- Étude hydraulique des dalots.

Déterminons la section du dalot :

$$S = \frac{Q}{V_{limite}}, \text{ et } S=B*D, \text{ et } B = S/D$$

Pour le Dalot 1 : $Q = Q_{10}$

Pour le Dalot 2 : $Q = Q_{10}$

Pour le Dalot 3 : $Q = Q_{10}$

$$S_1 = \frac{Q}{V_{limite}}$$

Comme nous choisissons un dalot avec une ouverture et l'autre avec deux ouvertures :

$$q = Q/2$$

$$S_1 = \frac{Q_1}{V_{limite}} = \frac{0,46}{3,5} = 0,13 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{q_2}{V_{limite}} = \frac{Q_1/2}{V_{limite}} = \frac{2}{3,5} = 0,58 \text{ m}^2$$

$$S_3 = \frac{Q_3}{V_{limite}} = \frac{0,50}{3,5} = 0,14 \text{ m}^2$$

Donc la largeur minimale à prendre de si on fixe la hauteur à 1,00 m pour le dalot 1, le dalot 2 et le dalot 3 :

$$B_1 = \frac{S_1}{D_1} = \frac{0,13}{1,00} = 0,13 \text{ m}$$

$$B_2 = \frac{S_2}{D_2} = \frac{0,58}{1,00} = 0,58 \text{ m}$$

$$B_3 = \frac{S_3}{D_3} = \frac{0,14}{1,00} = 0,14 \text{ m}$$

Preons comme hauteur admissible pour les dalots :

- $D_3 = D_1 = 1,00 \text{ m}$ et le dalot 2 $D_2 = 1,00 \text{ m}$
- $B_1 = B_3 = 1,50 \text{ m}$ et le dalot 2 $B_2 = 1,50 \text{ m}$

Déterminons la profondeur amont de l'ouvrage :

Calculons Q^* :

$$Q_1^* = \frac{q}{A\sqrt{2gD}} = \frac{2}{1,5\sqrt{2*10*1,00}} = 0,298$$

$$Q_2^* = \frac{q}{A\sqrt{2gD}} = \frac{0,46}{1,5\sqrt{2*10*1,00}} = 0,18$$

Ce qui nous donne comme caractéristiques des dalots :

	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s)	D (m)	B (m)	S (m ²)	Q*	H*	H1 (m)
Dalot 1	0,46	0,46	1,00	1,50	2,21	0,177	0,6	0,78
Dalot 2	4	2,00	1,00	1,50	1,50	0,298	0,81	0,81
Dalot 3	0,50	0,50	1,00	1,50	0,75	0,183	0,61	0,78

Tableau A.III.1 : Détermination de la hauteur amont de l'ouvrage.

On remarque que la hauteur est acceptable

$$\text{Car } D > H_1$$

Calculons la pente critique I_c :

$$Q^* = q/\sqrt{gB^5}$$

En fonction de l'abaque du calcul de la pente critique en fonction du débit on détermine I_c^* :

Prenons $K = 67$.

$$\text{Or, } I_c^* = I_c / \left(\frac{g}{K^2 B^{1/3}} \right) \Rightarrow I_c = I_c^* g / K^2 B^{1/3}$$

	q (m ³ /s)	B (m)	Q*	Ic*	Ic
Dalot 2	2,00	1,5	0,230	2,85	0,0052
Dalot 1	0,46	1,5	0,038	2,71	0,0046
Dalot 3	0,50	1,5	0,040	2,73	0,0054

Tableau A.III.2 : Détermination de la pente critique.

Calculons la vitesse la vitesse d'entrée de l'eau dans l'ouvrage :

Calculons le débit réduit Q^* :

$$Q^* = Q / K I^{1/2} B^{8/3}$$

Cette valeur réduite donnera, grâce à l'abaque de calcul de vitesse d'un dalot, la valeur de V^* de laquelle on déduira la valeur de la vitesse V recherchée :

$$V = V^* \times K \times I_c^{1/2} \times B^{2/3}$$

On obtient alors pour la vitesse :

	q (m ³ /s)	B (m)	Ic	Q*	V*	V (m/s)
Dalot 2	2	1,5	0,0052	0,14	0,36	2,30
Dalot 1	0,46	1,5	0,0046	0,024	0,25	1,62
Dalot 3	0,50	1,5	0,0048	0,026	0,27	1,71

Tableau A.III.2 : Détermination de la vitesse.

$V < 3,5 \text{ m/s}$

Donc les dimensions des dalots sont acceptables.

III.b) Étude hydraulique des caniveaux.

Détermination de Y_n , par itération à l'aide de la formule :

$$Q = K_s \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{y b^{5/3}}{[b+2y]^{2/3}}$$

Par itération on obtient, pour les caniveaux on trouve :

	Q_5	y	S	P	R_H	$D=K_s S R_H^{2/3}$	Q/\sqrt{I}
Caniveau 1	0,62	0,265	0,3975	2,03	0,20	9,38	9,48
		0,266	0,399	2,032	0,20	9,44	
		0,267	0,4005	2,034	0,20	9,49	
Caniveau 2	5,89	1,3	1,95	4,1	0,48	83,17	83,30
		1,301	1,9515	4,102	0,48	83,25	
		1,302	1,953	4,104	0,48	83,33	
Caniveau 3	2,12	0,5953	0,8928	2,6906	0,33	29,96	29,98
		0,5954	0,8931	2,6908	0,33	29,97	
		0,5955	0,89325	2,691	0,33	29,98	
Caniveau 4	2,42	0,656	0,984	2,812	0,35	34,20	34,22
		0,6561	0,98415	2,8122	0,35	34,21	
		0,6562	0,9843	2,8124	0,35	34,22	

Tableau III.3 : Récapitulatifs des itérations

		Caniveau 1	Caniveau 2	Caniveau 3	Caniveau 4
Débit à évacuer	Q_5 (m ³ /s)	0,62	5,89	2,12	2,42
Pente	I (%)	5	5	5	5
Largeur	B (m)	1,5	1,5	1,5	1,5
Profondeur normal	Y_n (m)	0,267	1,301	0,5955	0,652
Hauteur	H (m)	1,5	1,5	1,5	1,5
Débit capable	Q (m ³ /s)	7,02	7,02	7,02	7,02
Vitesse de l'eau	V (m/s)	3,12	3,12	3,12	3,12
Section retenue		150x150	150x150	150x150	150x150

Tableau III.4 : Récapitulatifs des Calculs hydraulique.

Annexe IV : Note de Calcul des ouvrages de franchissement et de drainage

IV.a) Note de calcul du dalot 2:

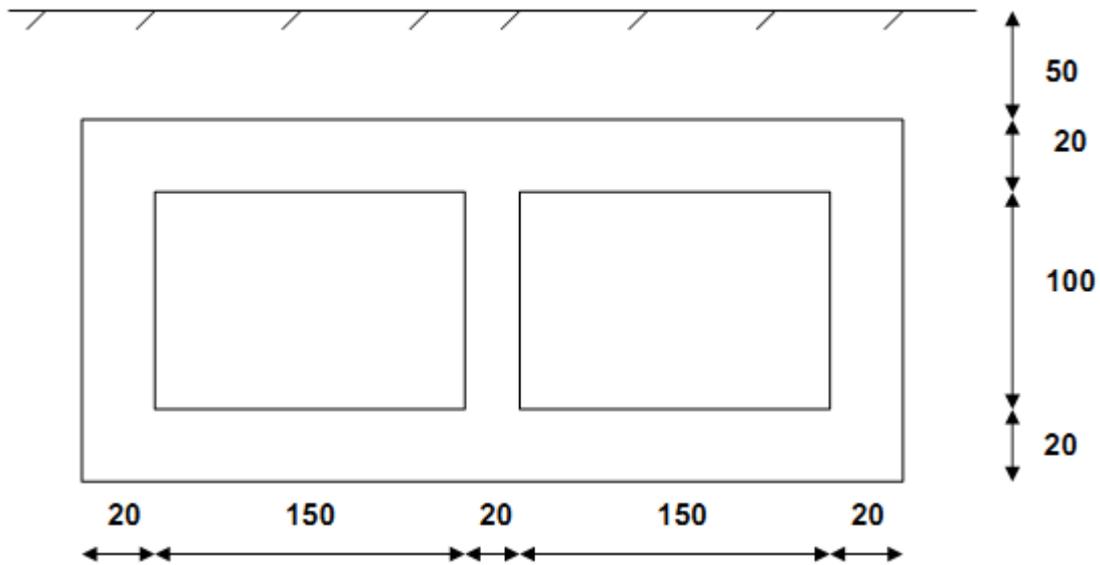


Figure A.IV.a) 1 : Schémas du dalot1.

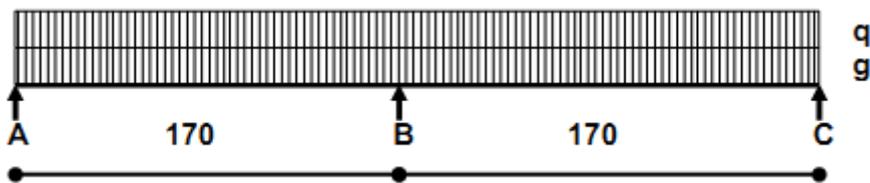


Figure A.IV.a) 2 : Schémas équivalent du dalot 2.

IV.A) 1. EVALUATION DES CHARGES PERMANENTES :

IV.a) 1.1. Au niveau du tablier :

Poids mort du tablier : $1,00 \times 0,20 \times 2,50 = 0,50$ t/ml

Poids mort du remblais : $1,00 \times 0,50 \times 2,00 = 1,00$ t/ml

IV.a) 1.2 Au niveau du radier.

- Poids mort du radier : $1,00 \times 0,20 \times 2,50 = 0,50 \text{ t/ml}$
- Poids mort du tablier : $1,00 \times 0,20 \times 2,50 = 0,50 \text{ t/ml}$
- Poids mort du remblai : $1,00 \times 0,50 \times 2,00 = 1,00 \text{ t/ml}$
- Poids mort des piédroits : $3 \times 1,00 \times 0,20 \times 2,50 / 3,60 = 0,42 \text{ t/ml}$

D'où $g = 2,42 \text{ t/ml}$

IV.A) 2. EVALUATION DES SURCHARGES ROUTIERES :

IV.a) 2.1. Au niveau du tablier.

On peut disposer sur une travée , deux (02) files de deux (02) essieux de 12 t soit 48t,

$$bc = 1,10$$

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{48 \times 1,10}{1,70 \times 5,00} = 6,212 \text{ t/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique : $\delta = 1 + 0,40 / (1 + 0,20 * L) + 0,60 / (1 + 4 * G/S)$

$$G = 1,50 \times 1,50 = 2,25 \text{ t}$$

$$S = 6,212 \times 1,50 = 9,318 \text{ t}$$

$$\text{Donc } \delta = 1,613$$

d'où une surcharge uniformément répartie $q = \delta \times q_1 = 1,613 \times 6,212 = 10,02 \text{ t/ml}$

IV.a) 2.2. Au niveau du radier.

On considère les deux (02) files de deux (02) essieux de 12 t soit 48t, $bc = 1,10$.

Charge répartie sur le radier :

$$q_1 = \frac{48 \times 1,10}{3,60 \times 5,00} = 2,933$$

Coefficient de majoration dynamique : $\delta = 1 + 0,40 / (1 + 0,20 * L) + 0,60 / (1 + 4 * G/S)$

$$G = 2,42 \times 1,50 = 3,63 \text{ t}$$

$$S = 2,933 \times 1,50 = 4,40 \text{ t}$$

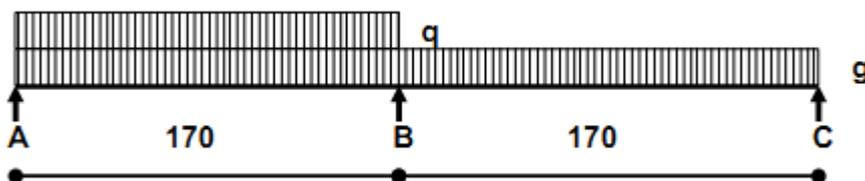
$$\delta = 1,447$$

d'où une surcharge uniformément répartie :

$$q = 1,447 \times 2,933 = 4,24 \text{ t}$$

IV.A) 3. DETERMINATION DES EFFORTS ET SOLLICITATIONS.

Ils seront déterminés selon les formules découlant des équations des trois moments. Pour les cas des surcharges routières, selon le principe des lignes d'influence, on chargera les travées appropriées pour obtenir suivant les sections considérées, les effets les plus défavorables.



IV.1.3.1. Au niveau du tablier.

✓ Sous charges permanentes :

$$g = 1,50 \text{ t/ml}$$

• Moments à mi-travée A-B et B-C :

$$M(A-B) = M(B-C) = 0,070 \times g \times l^2 = 0,070 \times 1,50 \times 1,70^2 = 0,303 \text{ t.m/ml}$$

• Moment sur appui B :

$$M(B) = -0,125 \times g \times l^2 = -0,125 \times 1,50 \times 1,70^2 = -0,542 \text{ t.m/ml}$$

Réactions d'appuis :

$$R(A) = R(C) = 0,375 \times g \times l = 0,375 \times 1,50 \times 1,70 = 0,956 \text{ t}$$

$$R(B) = 1,25 \times g \times l = 1,25 \times 1,50 \times 1,70 = 3,188 \text{ t}$$

✓ Sous surcharges routières :

$$q = 10,02 \text{ t/ml}$$

• Moments à mi-travée A-B et B-C :

$$M (A-B) = M (B-C) = 0,100 \times q \times l^2 = 0,100 \times 10,02 \times 1,70^2 = 2,896 \text{ t.m/ml}$$

• Moment sur appui B :

$$M (B) = - 0,125 \times q \times l^2 = - 0,125 \times 10,02 \times 1,70^2 = - 3,620 \text{ t.m/ml}$$

• Réactions d'appuis :

$$R (A) = R (C) = 0,437 \times q \times l = 0,437 \times 10,02 \times 1,70 = 7,444 \text{ t}$$

$$R (B) = 0,625 \times q \times l = 0,625 \times 10,02 \times 1,70 = 10,646 \text{ t}$$

IV.a) 3.2. Au niveau du radier.

✓ Sous charges permanentes :

$$g = 2,42 \text{ t/ml}$$

• Moments à mi-travée A-B et B-C :

$$M (A-B) = M (B-C) = 0,070 \times g \times l^2 = 0,070 \times 2,42 \times 1,70^2 = 0,489 \text{ t.m/ml}$$

• Moment sur appui B :

$$M (B) = - 0,125 \times g \times l^2 = - 0,125 \times 2,42 \times 1,70^2 = - 0,874 \text{ t.m/ml}$$

• Réactions d'appuis :

$$R (A) = R (C) = 0,375 \times g \times l = 0,375 \times 2,42 \times 1,70 = 1,543 \text{ t}$$

$$R (B) = 1,25 \times g \times l = 1,25 \times 2,42 \times 1,70 = 5,143 \text{ t}$$

✓ Sous surcharges routières :

$$q = 4,24 \text{ t/ml}$$

• Moments à mi-travée A-B et B-C :

$$M (A-B) = M (B-C) = 0,100 \times 4,24 \times 1,70^2 = 1,225 \text{ t.m/ml}$$

• Moment sur appui B :

$$M (B) = - 0,125 \times q \times l^2 = - 0,125 \times 4,24 \times 1,70^2 = - 1,532 \text{ t.m/ml}$$

- **Réactions d'appuis :**

$$R(A) = R(C) = 0,437 \times q \times I = 0,437 \times 4,24 \times 1,70 = 3,15 \text{ t}$$

$$R(B) = 0,625 \times q \times I = 0,625 \times 4,24 \times 1,70 = 4,505 \text{ t}$$

IV.a) 3.3 Au niveau du piedroit central.

- ✓ Sous charges permanentes :

- **Réaction d'appui du radier :**

$$N = R(B) = 5,143 \text{ t}$$

- ✓ Sous surcharges routières :

- **Réaction d'appui du tablier**

$$N = R(B) = 10,646 \text{ t}$$

IV.a) 3.4. Au niveau des piedroits extérieurs

- ✓ Sous charges permanentes :

Effort normal :

Réaction d'appui du radier :

$$N = R(A) = 1,543 \text{ t}$$

Moments dû aux poussées de terre :

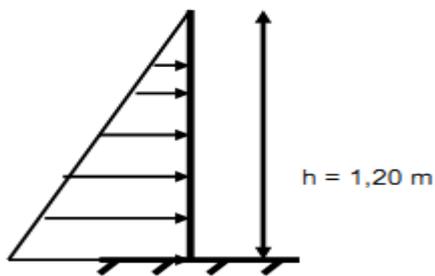


Figure A.IV.4 : Scémas du cas de charge.

$$M = y \times h^3 \times k_p \times x / 6 = 0,333 \times 2,00 \times 1,20^3 / 6 \quad M = 0,192 \text{ t.m/ml}$$

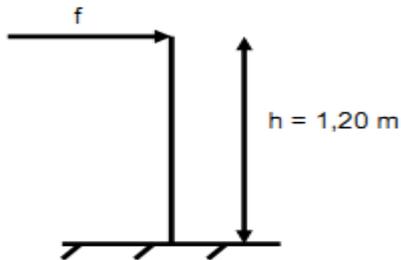
✓ Sous surcharges routières

• **Effort normal :**

Réaction d'appui du tablier $N = 7,444 \text{ t}$

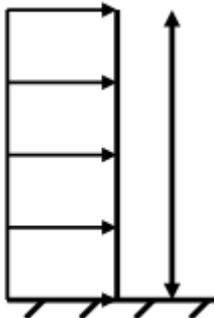
Moment dû à la force de freinage :

On répartit l'effort $F = 4,801$ (calculé au I) sur les deux (02) piédroits extérieurs d'où $f = 2,40 \text{ t}$



$$M = f \times h = 2,40 \times 1,20 = 2,88 \text{ t.m/ml}$$

Moment dû à la surcharge routière de remblai ($a = 1,00 \text{ t/m}^2$)



$$H = 1,20 \text{ m}$$

$$M = \sigma \times h^2 \times k_p / 2 = 0,333 \times 1,00 \times 1,20^2 / 2 = 0,240 \text{ t.m/ml}$$

IV.A) 4. CALCUL DES ARMATURES :

IV.a) .4.1. Calcul des armatures du tablier :

Données de calcul : H = 20 cm, d = 17cm, Fb = 153 bars, $\sigma_s = 3480$ bars

✓ A mi-travée A-B et B-C (lit inférieur).

- **Calcul à l'Etat Limite Ultime :**

$$M_u = 1,35 \times 0,303 + 1,60 \times 2,896 = 5,043 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu = \frac{M_u}{b \times d^2 \times F_b} = \frac{5,043 \times 10^5}{100 \times 17^2 \times 153} = 0,114$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,152$$

$$z = d \times (1 - 0,4 \alpha) = 0,16$$

$$A_u = \frac{M}{z \times \sigma_s} = \frac{5,043 \times 10^5}{0,16 \times 3480} = 9,06 \text{ cm}^2$$

- **Calcul à l'Etat Limite de Service :**

$$M_s = 0,303 + 1,20 \times 2,896 = 3,778 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = \frac{M_s}{b \times d^2 \times F_b} = 3,778 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 3480) = 0,00376$$

$$\beta_1 = 0,901 \quad k_1 = 35,50$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 35,50 = 98,03 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M_s / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) = 3,778 \times 10^5 / (0,901 \times 17 \times 3480) = 7,09 \text{ cm}^2$$

- **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient $A_u = 9,06 \text{ cm}^2$

✓ Sur appui B (lit supérieur)

- **Calcul à l'ELU**

- $M_u = 1,35 \times 0,542 + 1,60 \times 3,620 = 6,524 \text{ t.m/ml}$

- $\mu = M_u / (b \times d^2 \times F_b) = 6,524 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 153) = 0,148$

- $\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,148}) = 0,201$

- $z = d \times (1 - 0,4 \times \alpha) = 0,17 \times (1 - 0,4 \times 0,201) = 0,156 \text{ m}$
- $A_u = M_u / (z \times \sigma_s) = 6,524 \times 10^5 / (15,60 \times 3480) = 12,02 \text{ cm}^2$

- **Calcul à l'ELS :**

- ✓ $M_s = 0,542 + 1,20 \times 3,620 = 4,886 \text{ t.m/ml}$
- ✓ $\mu = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 4,886 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 3480) = 0,00486$
 $\beta_1 = 0,890 \quad k_1 = 30,45$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 30,45 = 114,29 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

- ✓ $A_s = M_s / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) = 4,886 \times 10^5 / (0,890 \times 17 \times 3480) = 9,28 \text{ cm}^2$

- **Condition de non fragilité de la section**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient $A_u = 12,02 \text{ cm}^2$

- ✓ Aux abouts A et C (lit supérieur) :

- **Calcul à l'ELU**

On estime forfaitairement $M_u = 0,50 \times M_u \text{ (A-B)}$

- $M_u = 0,50 \times 5,043 = 2,522 \text{ t.m/ml}$
- $\mu = M_u / (b \times d^2 \times F_b) = 0,058$
- $\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,075$
- $z = d \times (1 - 0,4 \times \alpha) = 0,165 \text{ m}$
- $A_u = M_u / (z \times \sigma_s) = 4,44 \text{ cm}^2$

- **Calcul à l'ELS :**

On estime forfaitairement $M_s = 0,50 \times M_s \text{ (A-B)}$

$$M_s = 1,889 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0,00188$$

$$\beta_1 = 0,927 \quad k_1 = 53,49$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 53,49 = 114,29 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M_s / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) = 3,44 \text{ cm}^2$$

- **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2.$$

On retient $A_u = 4,44 \text{ cm}^2$

IV.a) 4.2. Calcul des armatures du radier :

Données de calcul : $H = 20 \text{ cm}$ $d = 17 \text{ cm}$ $F_b = 153 \text{ bars}$ $a_s = 3480 \text{ bars}$ $b = 100 \text{ cm}$

✓ A mi-travée A-B et B-C (lit supérieur).

- **Calcul à l'ELU :**

- $M_u = 1,35 \times 0,489 + 1,60 \times 1,225 = 2,620 \text{ t.m/ml}$

- $\mu = M_u / (b \times d^2 \times F_b) = 0,059$

- $\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,076$

- $z = d \times (1 - 0,4 \times \alpha) = 0,165 \text{ m}$

- $A_u = M_u / (z \times \sigma_s) = 4,56 \text{ cm}^2$

- **Calcul à l'ELS :**

- $M_s = 0,489 + 1,20 \times 1,225 = 1,959 \text{ t.m/ml}$

- $\mu = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0,00195$

- $\beta_1 = 0,926$ $k_1 = 52,57$

- $\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 66,19 \text{ bars} < \sigma_{bl}$

- $A_s = M_s / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) = 3,58 \text{ cm}^2$

- **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2.$$

On retient $A_u = 4,56 \text{ cm}^2$

✓ Sur appui B (lit inférieur)

- **Calcul à l'ELU :**

- $M_u = 1,35 \times 0,874 + 1,60 \times 1,532 = 3,631 \text{ t.m/ml}$
- $\mu = M_u / (b \times d^2 \times F_b) = 0,082$
- $\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,107$
- $z = d \times (1 - 0,4 \times \alpha) = 0,163 \text{ m}$
- $A_u = M_u / (z \times \sigma_s) = 6,40 \text{ cm}^2$

• **Calcul à l'ELS :**

- $M_s = 0,874 + 1,20 \times 1,532 = 2,712 \text{ t.m/ml}$
- $\mu = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0,00270$
- $\beta_1 = 0,915 \quad k_1 = 43,48$
- $\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 80,04 \text{ bars} < \sigma_{bl}$
- $A_s = M_s / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) = 5,01 \text{ cm}^2$

• **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2/4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient $A_u = 6,40 \text{ cm}^2$

IV.a) 4.3. Calcul des armatures du piedroit central B.

Le piedroit sera considéré au mètre linéaire comme un poteau de 100 x 20

✓ Effort normal sollicitant le poteau :

$$N_u = 1,35 \times 5,143 + 1,60 \times 10,646 = 23,977 \text{ t}$$

✓ Evaluation de l'effort de compression repris par le béton seul du poteau :

$$N_{max} = a \times B_r \times F_{c28} / (0,9 \times \gamma_b)$$

$$B_r = (100 - 2) \times (20 - 2) = 1764 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = 0,85 / (1 + 0,20 \times (\lambda / 35)^2)$$

$$\lambda = 3,46 \times l_f / b$$

$$l_f = 0,70 \times H = 0,70 \times 100 = 70$$

$$\lambda = 3,46 \times 70 / 20 = 12,11$$

$$\alpha = 0,85 / (1 + 0,20 \times (12,11 / 35)^2) = 0,83$$

$$N_{\max} = 0,83 \times 1764 \times 270 / (0,9 \times 1,50) = 292\,824 \text{ kg} = 292,824 \text{ t} > N_u$$

Donc, on adoptera les valeurs minimales des armatures

$$A = 4 \times 2 \times (1 + 0,20) = 9,60 \text{ cm}^2$$

Soit $A = 4,80 \text{ cm}^2$ sur chaque face.

IV.a) 4.4. Calcul des armatures du piedroit extérieurs A et C.

✓ Calcul à l'ELU :

$$M_u = 1,35 \times 0,192 + 1,60 \times (2,88 + 0,24) = 5,251 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 \times 1,543 + 1,60 \times 7,444 = 13,993 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 5,251 / 13,993 = 0,375 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 5,251 + 13,993 \times 0,07 = 6,231 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \times d^2 \times F_b) = 0,141$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,191$$

$$z = d \times (1 - 0,4\alpha) = 0,157 \text{ m}$$

$$A_u = (M / z - N_u) / \sigma_s = (6,231 \times 10^5 / 15,70 - 13,993 \times 10^3) / 3480 = 7,38 \text{ cm}^2$$

✓ Calcul à l'état limite de service :

$$M_s = 0,192 + 1,20 \times (2,88 + 0,240) = 3,936 \text{ t.m}$$

$$N_s = 1,543 + 1,20 \times 7,444 = 10,476 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 3,936 / 10,476 = 0,376 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,936 + 10,476 \times 0,07 = 4,669 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 4,669 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 3480) = 0,00464$$

$$\beta_1 = 0,892 \quad k_1 = 31,30$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 31,30 = 111,18 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M_s / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 4,669 \times 10^5 / (0,892 \times 17 \times 3480) - 10,476 \times 10^3 / 3480$$

$A_s = 5,84 \text{ cm}^2$

✓ **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient $A_u = 7.38 \text{ cm}^2$

Section d'armature dalot par ml		Au (cm ² /ml)	As (cm ² /ml)	Amin (cm ² /ml)	Type d'acier
Tablier	A mi - travée	9,06	7,09	2,17	20HA8
	Appui intermédiaire	12,02	9,28	2,17	16HA10
	Appui aux extrémités	4,44	3,44	2,17	6HA10
Radier	A mi - travée	4,56	3,58	2,17	10HA8
	Appui intermédiaire	6,40	5,01	2,17	14HA8
Piédroits	Central	9,60	-	-	10HA12
	Extérieur	7,38	5,84	2,17	14HA10

Tableau A.IV : Récapitulatif des calculs d'armature.

IV.b) Note de calcul du dalot 1 :

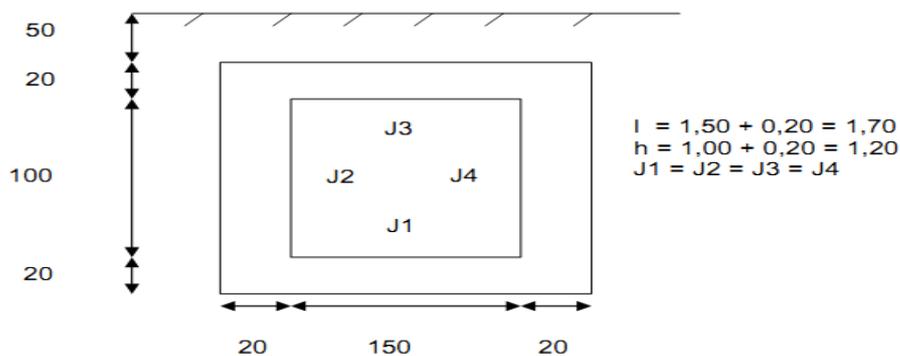


Figure A.b)1. : Dalot type.

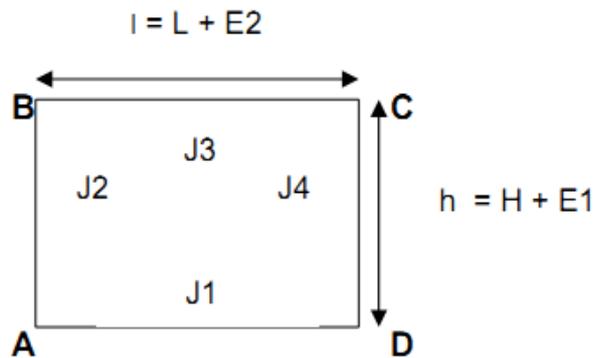


Figure A.b)2. : Schéma statique de Calcul.

IV.B) 1. CALCUL DES CONSTANTES.

$$k_1 = 1,00 \quad k_2 = 1,00 \times 1,20 / 1,70 = 0,706$$

$$K_1 = 2 \times 0,706 + 3 = 4,412$$

$$K_2 = 3 \times 1,00 + 2 \times 0,706 = 4,412$$

$$K_3 = 3 \times 0,706 + 1 - 1 / 5 = 2,918$$

$$K_4 = 6 \times 1,00 / 5 + 3 \times 0,706 = 3,318$$

$$F_1 = 4,412 \times 4,412 - 0,706 = 18,967$$

IV.B) 2. DETERMINATION DES CHARGES, EFFORTS ET SOLLICITATIONS.

IV.b) 2.1. Sous actions permanentes au niveau du tablier :

a) Charges permanentes dues au tablier :

- poids mort du tablier : $0,20 \times 2,50 \times 1,00 = 0,50$ t/ml
- poids mort du remblai : $0,50 \times 2,00 \times 1,00 = 1,00$ t/ml,

d'où $g_l = 1,500$ t/m

b) Détermination des inconnues hyperstatiques :

$$M_A = M_D = \frac{g1 \cdot l^2 \cdot (k1 \cdot K1 - k2)}{4 \cdot F1} = -0,181 \text{ t.m/ml}$$

$$M_C = M_B = \frac{g1 \cdot l^2 \cdot (K2 - k1 \cdot k2)}{4 \cdot F1} = -0,167 \text{ t.m/ml}$$

c) Détermination des efforts normaux :

$$N_1 = \frac{MB - MA}{h} + \frac{MD - MA}{l} = 0$$

$$N_3 = \frac{MC - MB}{l} + \frac{MA - MB}{h} = 0$$

$$N_2 = \frac{g1 \cdot l}{2} + \frac{MA - MB}{h} + \frac{MC - MB}{l} = 1,275 \text{ t}$$

$$N_{2b} = \frac{g1 \cdot l}{2} + \frac{MB - MC}{l} + \frac{MD - MC}{h} = 1,275 \text{ t}$$

d) Détermination des moments à mi-portée :

$$M_{(B-C)(\text{radierr})} = \frac{g1 \cdot l^2}{8} + \frac{MB + MC}{2} = 0,375 \text{ t/ml}$$

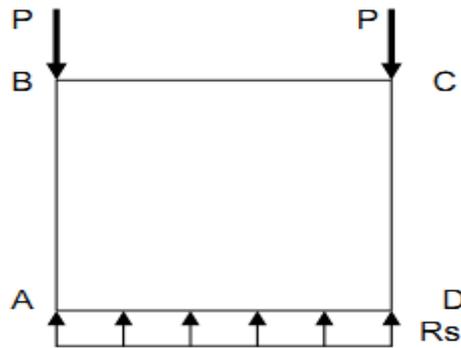
$$M_{(A-D)(\text{radierr})} = \frac{g1 \cdot l^2}{8} + \frac{MA + MD}{2} = 0,361 \text{ t/ml}$$

$$M_{(A-B)(\text{Piédroit gauche})} = \frac{MA + MB}{2} = -0,174 \text{ t/ml}$$

$$M_{(C-D)(\text{Piédroit droite})} = \frac{MC + MD}{2} = -0,174 \text{ t/m}$$

IV.b) 2.2. Sous poids mort des piédroits :

a) Charges permanentes dues aux piédroit :



$$P = 2,50 \times E \times h = 2,50 \times 0,20 \times 1,20 = 0,600 \text{ t}$$

$$R_s = (2 \times P) / l = 0,706 \text{ t/ml}$$

b) Détermination des moments hyperstatiques :

$$M_A = M_D = - \frac{P \cdot l \cdot k_1 \cdot K_1}{2 \cdot F_1} = -0,119 \text{ t.m/ml}$$

$$M_B = M_C = \frac{P \cdot l \cdot k_1 \cdot k_2}{2 \cdot F_1} = 0,119 \text{ t.m/ml}$$

c) Détermination des efforts normaux :

$$N_1 = - \frac{3 \cdot P \cdot l \cdot k_1 \cdot (1 + k_2)}{2 \cdot h \cdot F_1} = 0,115 \text{ t}$$

$$N_3 = -N_1 = -0,115 \text{ t}$$

$$N_2 = N_{2b} = P = 0,600 \text{ t}$$

d) Détermination des moments à mi-portée :

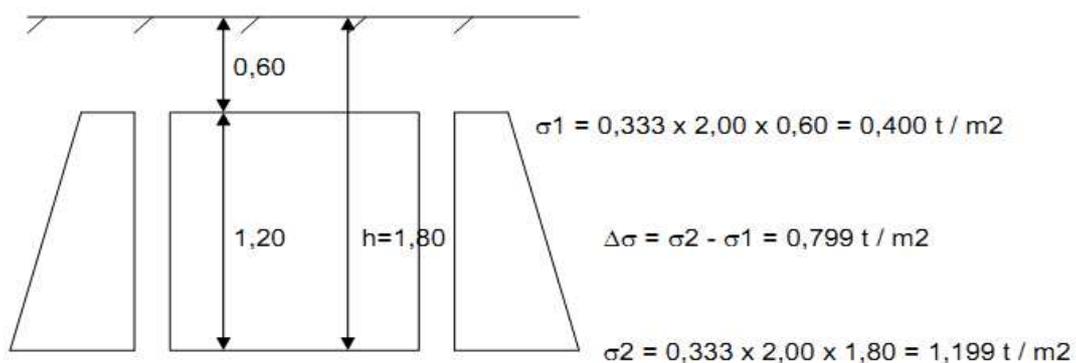
$$M_{(B-C)(\text{Tablier})} = \frac{M_B + M_C}{2} = 0,019 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(A-D)(\text{Radier})} = \frac{M_A + M_D}{2} + \frac{R_s \cdot l^2}{8} = 0,136 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(A-B)(\text{Piédroit gauche})} = \frac{MA+MB}{2} = -0,050 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(C-D)(\text{Piédroit droite})} = \frac{MC+MD}{2} = -0,050 \text{ t.m/ml}$$

IV.b) 2.3. Sous l'action de la poussée de terres :



a) **Détermination des moments hyperstatiques :**

$$MA = MD = - \frac{k_2 * (k_2 + 3) * \sigma_1 * h^2}{4F_1} - \frac{k_2 * (3k_2 + 8) * \Delta\sigma * h^2}{20F_1} = -0,042 \text{ t.m/ml}$$

$$MB = MC = - \frac{k_2 * (3 * k_1 + k_2) * \sigma_1 * h^2}{4F_1} - \frac{k_2 * (7k_1 + 2k_2) * \Delta\sigma * h^2}{20F_1} = -0,038 \text{ t.m/ml}$$

b) **Détermination des moments à mi-portée :**

$$M_{(AB)(\text{Piédroit gauche})} = M_{(CD)(\text{Piédroit droite})} = \frac{\sigma_1 * h^2}{8} + \frac{\Delta\sigma * h^2}{12} + \frac{MA + MB}{2} = 0,128 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(AD)(\text{Radiere})} = \frac{MA + MD}{2} = -0,042 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(BC)(\text{Tablier})} = \frac{MB + MC}{2} = -0,038 \text{ t.m/ml}$$

c) Détermination des efforts normaux :

$$N_1 = -\frac{(\sigma_1 + 2*\sigma_2)h}{6} + \frac{MB - MA}{h} + \frac{MD - MA}{l} = 0,563 \text{ t}$$

$$N_3 = \frac{(2*\sigma_1 + \sigma_2)*h}{6} + \frac{MA - MB}{h} + \frac{MC - MB}{l} = 0,396 \text{ t}$$

$$N_2 = N_{2b} = 0$$

IV.b) 2.4. Sous l'action du Convoi de camions de type Bc de 30 t.

a) Valeur de la surcharge :

On peut disposer sur le tablier deux files de deux (2) essieux de 12 t côte à côte soit 48 t au total.

On $bc = 1,10$

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{48*1,10}{1,70*5,00} = 6,212 \text{ t/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = \frac{1 + 0,40}{1 + 0,20*L} + \frac{0,60}{1 + 4*G/S}$$

$$L = 1,50 \text{ m}$$

$$G = (2*0,50 + 0,20*2,50)*1,50 = 2,25 \text{ t}$$

$$S = 6,212*1,50 = 9,318 \text{ t}$$

$$\text{Donc } \delta = 1,613$$

d'où une surcharge uniformément répartie sous le passage du convoi Bc :

$$q = \delta \times q_1 = 1,613 \times 6,212 = 10,02 \text{ t/ml}$$

b) Détermination des moments hyperstatiques :

$$M_A = M_D = \frac{q \cdot l^2 \cdot (k_1 \cdot K_1 - k_2)}{4F_1} = -1,415 \text{ t.m/ml}$$

$$M_B = M_C = \frac{q \cdot l^2 \cdot (K_2 - k_1 \cdot k_2)}{4F_1} = -1,415 \text{ t.m/ml}$$

c) Détermination des moments à mi-portée :

$$M_{(BC)(\text{Tablier})} = \frac{q \cdot l^2}{8} + \frac{M_B + M_C}{2} = 2,205 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(AD)(\text{Radier})} = \frac{q \cdot l^2}{8} + \frac{M_A + M_D}{2} = 2,205 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(AB)(\text{Piédroit})} = \frac{M_A + M_B}{2} = -1,415 \text{ t.m/ml}$$

d) Détermination des efforts normaux :

$$N_1 = N_3 = 0$$

$$N_2 = N_{2b} = \frac{q \cdot l}{2} = 2,205 \text{ t.m/ml}$$

IV.b) 2.5. Sous actions de la surcharge routière de remblai :

$$q = 1,00 \text{ t/m}^2$$



$$\sigma = k \times q = 0,333 \times 1,00 = 0,333 \text{ t/m}^2$$

$$R = \sigma \times h = 0,333 \times 1,20 = 0,400 \text{ t / ml}$$

a) **Détermination des moments hyperstatiques :**

$$M_A = M_B = M_C = M_D = - \frac{k^2 * (k^2 + 3) * \sigma * h^2}{4F1} = -0,017 \text{ t.m/ml}$$

b) **Détermination des moments à mi-portée :**

$$M_{(AB)(\text{Piédroit})} = - \frac{\sigma * h^2}{8} + \frac{MA + MB}{2} = 0,043 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(AD)(\text{Radier})} = \frac{MA + MD}{2} = -0,017 \text{ t.m/ml}$$

$$M_{(BC)(\text{Tablier})} = \frac{MB + MC}{2} = -0,017 \text{ t.m/ml}$$

c) **Détermination des efforts normaux :**

$$N1 = \frac{\sigma * h}{3} = 0,200 \text{ t}$$

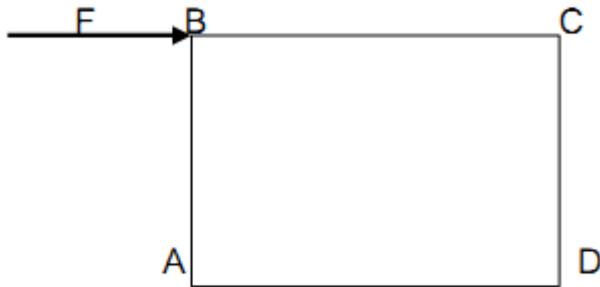
$$N3 = \frac{\sigma * h}{3} = 0,200 \text{ t.m/ml}$$

$$N2 = N2b = 0$$

IV.b) 2.6. Sous l'action de la force de freinage :

On admet le freinage de 2 essieux de 12 t chacun placés côte à côte :

$$F = \frac{24,00}{5,00} = 4,80 \text{ t}$$



a) **Détermination des moments hyperstatiques :**

$$M_A = M_D = \pm \frac{F \cdot h \cdot K^3}{2 \cdot F^2} = \pm 1,348 \text{ t.m/ml}$$

$$M_B = M_C = \pm \frac{F \cdot h \cdot K^4}{2 \cdot F^2} = \pm 1,532 \text{ t.m/ml}$$

b) **Détermination des efforts normaux :**

$$N_1 = \pm \frac{F}{2} = \pm 2,40 \text{ t}$$

$$N_3 = -N_1 = \pm \frac{F}{2} = \pm 2,40 \text{ t}$$

$$N_2 = \pm \frac{F \cdot h \cdot K^4}{l \cdot F^2} = \pm 1,803 \text{ t}$$

$$N_{2b} = \pm N_2 = \pm 1,803 \text{ t}$$

c) **Détermination des moments à mi-travée :**

$$M_{(BC)} = 0 \text{ et } M_{(AD)} = 0$$

$$M_{(AB)} = \frac{MA+MB}{2} = -1,440 \text{ t.m/ml}$$

IV.B) 3. CALCUL DES ARMATURES :

IVb)3.1. Calcul des armatures du tablier :

Données de calcul : $b = 100 \text{ cm}$, $H = 20 \text{ cm}$, $d = 17 \text{ cm}$, $F_b = 153 \text{ bars}$ et $\sigma_s = 3480 \text{ bars}$

a) Aux abouts B et C (lit supérieur) :

✓ Calcul à l'Etat Limite Ultime :

$$M_u = 1,35 * 0,186 + 1,60 * 2,964 = 4,994 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 * 0,281 + 1,60 * 2,600 = 4,539 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 4,994 / 4,539 = 1,10 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 4,994 + 4,539 * 0,07 = 5,312 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b * d^2 * F_b) = 5,312 * 10^5 / (100 * 17^2 * 153) = 0,120$$

$$\alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0,120}) = 0,160$$

$$Z = 0,17 * (1 - 0,40 * 0,160) = 0,159 \text{ m}$$

$$A_u = (M / Z - N_u) / \sigma_s = (5,312 * 10^5 / 15,90 - 4,539 * 10^3) / 3480 = 8,30 \text{ cm}^2$$

✓ Calcul à l'Etat Limite de Service :

$$M_s = 0,186 + 1,20 * 2,964 = 3,743 \text{ t.m}$$

$$N_s = 0,281 + 1,20 * 2,600 = 3,401 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 3,743 / 3,401 = 1,101 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,743 + 3,401 * 0,07 = 3,981 \text{ t.m}$$

$$\mu_1 = M / (b * d^2 * \sigma_s) = 3,981 * 10^5 / (100 * 17^2 * 3480) = 0,00396$$

$$\text{d'où } \beta_1 = 0,899 \text{ et } k_1 = 34,50$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 34,50 = 100,87 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 * d * \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 3,981 * 10^5 / (0,899 * 17 * 3480) - 3,401 * 10^3 / 3480$$

$$A_s = 6,51 \text{ cm}^2$$

✓ **Condition de non fragilité de la section**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2.$$

On retient **Au = 8.30 cm²**

b) **A mi-travée B-C (lit inférieur) :**

✓ **Calcul à l'ELU :**

$$M_u = 1,35 \times 0,356 + 1,60 \times 2,188 = 3,981 \text{ t.m}$$

$$N_u = 4,539 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 3,981 / 4,539 = 0,877 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,981 + 4,539 \times 0,07 = 4,299 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \times d^2 \times F_b) = 4,299 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 153) = 0,097$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,097}) = 0,128$$

$$Z = 0,17 \times (1 - 0,40 \times 0,128) = 0,161 \text{ m}$$

$$A_u = (M/Z - N_u) / \sigma_s = (4,299 \times 10^5 / 16,10 - 4,539 \times 10^3) / 3480 = 6,37 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul à l'Etat Limite de Service :**

$$M_s = 0,356 + 1,20 \times 2,188 = 2,982 \text{ t.m}$$

$$N_s = 3,401 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 2,982 / 3,401 = 0,877 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 2,982 + 3,401 \times 0,07 = 3,220 \text{ t.m}$$

$$\mu_1 = M / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 3,220 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 3480) = 0,00320$$

$$\text{d'où } \beta_1 = 0,908 \text{ et } k_1 = 39,06$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 39,06 = 89,09 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 2,982 \times 10^5 / (0,908 \times 17 \times 3480) - 3,401 \times 10^3 / 3480$$

$$A_s = 4,57 \text{ cm}^2$$

✓ **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient **Au = 6.37 cm²**.

IVb)3.2. Calcul des armatures du radier :

Données de calcul : $b = 100 \text{ cm}$ $H = 20 \text{ cm}$ $d = 17 \text{ cm}$ $F_b = 153 \text{ bars}$ $\sigma_s = 3480 \text{ bars}$.

a) Aux abouts A et D (lit inférieur) :

✓ **Calcul à l'Etat Limite Ultime :**

$$M_u = 1,35 \cdot 0,342 + 1,60 \cdot 2,78 = 4,910 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 \cdot 0,678 + 1,60 \cdot 2,600 = 5,075 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 4,910 / 5,075 = 0,861 \text{ m d'où section partiellement comprimée.}$$

$$M = 4,910 + 5,075 \times 0,07 = 5,265 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \cdot d^2 \cdot F_b) = 5,265 \cdot 10^5 / (100 \cdot 17^2 \cdot 153) = 0,1190$$

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1190}) = 0,159$$

$$Z = 0,17 \cdot (1 - 0,40 \cdot 0,159) = 0,159 \text{ m}$$

$$A_u = (M / Z - N_u) / \sigma_s = (5,265 \cdot 10^5 / 15,90 - 5,075 \cdot 10^3) / 3480 = 8,06 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul à l'Etat Limite de Service :**

$$M_s = 0,342 + 1,20 \times 2,78 = 3,678 \text{ t.m}$$

$$N_s = 0,678 + 1,20 \times 2,600 = 3,798 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 3,678 / 3,798 = 0,968 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,678 + 3,798 \times 0,07 = 3,944 \text{ t.m}$$

$$\mu_1 = M / (b \cdot d^2 \cdot \sigma_s) = 3,944 \cdot 10^5 / (100 \cdot 17^2 \cdot 3480) = 0,00392$$

$$\text{d'où } \beta_1 = 0,900 \text{ et } k_1 = 34,75$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 34,75 = 100,14 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 \cdot d \cdot \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 3,678 \cdot 10^5 / (0,900 \cdot 17 \cdot 3480) - 3,798 \cdot 10^3 / 3480$$

$$A_s = 5,82 \text{ cm}^2$$

✓ **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2.$$

On retient **Au = 8.06 cm²**

b) A mi-travée A-D (lit supérieur) :

✓ **Calcul à l'Etat Limite Ultime :**

$$M_u = 1,35 \times 0,455 + 1,60 \times 2,188 = 4,115 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 \times 0,678 + 1,60 \times 2,600 = 5,075 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 4,115 / 5,075 = 0,811 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 4,115 + 5,075 \times 0,07 = 4,47 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \times d^2 \times F_b) = 4,47 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 153) = 0,101$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,101}) = 0,133$$

$$Z = 0,17 \times (1 - 0,40 \times 0,133) = 0,161 \text{ m}$$

$$A_u = (M / Z - N_u) / \sigma_s = (4,47 \times 10^5 / 16,10 - 5,075 \times 10^3) / 3480 = 6,52 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul à l'Etat Limite de Service :**

$$M_s = 0,455 + 1,20 \times 2,188 = 3,081 \text{ t.m}$$

$$N_s = 0,678 + 1,20 \times 2,600 = 3,798 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 3,081 / 3,798 = 0,811 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,081 + 3,798 \times 0,07 = 3,347 \text{ t.m}$$

$$\mu_1 = M / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 3,347 \times 10^5 / (100 \times 17^2 \times 3480) = 0,00333$$

$$\text{d'où } \beta_1 = 0,906 \text{ et } k_1 = 38,19$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 38,19 = 91,12 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 \times d \times \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 3,347 \times 10^5 / (0,906 \times 17 \times 3480) - 3,798 \times 10^3 / 3480$$

$$A_s = 5,15 \text{ cm}^2$$

✓ **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \times b \times d \times F_{t28} / F_e = 0,23 \times 100 \times 17 \times 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient **Au = 6,52 cm²**

IVb)3.3. Calcul des armatures des piédroits :

Données de calcul :

b = 100 cm, H = 20 cm, d = 17 cm, Fb = 153 bars et $\sigma_s = 3480$ bars.

a) En pied (Nœuds A et D) Calcul à l'ELU :

$$M_u = 1,35 \cdot 0,342 + 1,60 \cdot 2,780 = 4,910 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 \cdot 1,875 + 1,60 \cdot 10,320 = 19,043 \text{ t}$$

$e = M_u / N_u = 4,910 / 19,043 = 0,258$ m d'où section partiellement comprimée

$$M = 4,910 + 19,043 \cdot 0,07 = 6,243 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \cdot d^2 \cdot F_b) = 6,243 \cdot 10^5 / (100 \cdot 17^2 \cdot 153) = 0,141$$

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,141}) = 0,191$$

$$Z = 0,17 \cdot (1 - 0,40 \cdot 0,191) = 0,157 \text{ m}$$

$$A_u = (M / Z - N_u) / \sigma_s = (6,243 \cdot 10^5 / 15,70 - 19,043 \cdot 10^3) / 3480 = 5,95 \text{ cm}^2$$

✓ Calcul à l'ELS :

$$M_s = 0,342 + 1,20 \cdot 2,780 = 3,678 \text{ t.m}$$

$$N_s = 1,875 + 1,20 \cdot 10,320 = 14,259 \text{ t}$$

$e = M_s / N_s = 3,678 / 14,259 = 0,258$ m d'où section partiellement comprimée

$$M = 3,678 + 14,259 \cdot 0,07 = 4,676 \text{ t.m}$$

$$\mu_1 = M / (b \cdot d^2 \cdot \sigma_s) = 4,676 \cdot 10^5 / (100 \cdot 17^2 \cdot 3480) = 0,00464$$

d'où $\beta_1 = 0,892$ et $k_1 = 31,30$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 31,30 = 101,46 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 \cdot d \cdot \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 4,676 \cdot 10^5 / (0,892 \cdot 17 \cdot 3480) - 14,259 \cdot 10^3 / 3480$$

$$A_s = 4,76 \text{ cm}^2$$

✓ **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot F_t / F_e = 0,23 \cdot 100 \cdot 17 \cdot 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient **Au = 5.95 cm²**

b) En tête (Nœuds B et C) :

✓ **Calcul à l'ELU :**

$$M_u = 1,35 \cdot 0,186 + 1,60 \cdot 2,964 = 4,994 \text{ t.m}$$

$$N_u = 1,35 \cdot 1,875 + 1,60 \cdot 10,320 = 19,043 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 4,994 / 19,043 = 0,262 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 4,994 + 19,043 \cdot 0,07 = 6,327 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b \cdot d^2 \cdot F_b) = 6,327 \cdot 10^5 / (100 \cdot 17^2 \cdot 153) = 0,143$$

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,143}) = 0,194$$

$$Z = 0,17 \cdot (1 - 0,40 \cdot 0,194) = 0,157 \text{ m}$$

$$A_u = (M / Z - N_u) / \sigma_s = (6,327 \cdot 10^5 / 15,70 - 19,043 \cdot 10^3) / 3480 = 6,11 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul à l'Etat Limite de Service :**

$$M_s = 0,186 + 1,20 \cdot 2,964 = 3,743 \text{ t.m}$$

$$N_s = 1,875 + 1,20 \cdot 10,320 = 14,259 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 3,743 / 14,259 = 0,263 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,743 + 14,259 \cdot 0,07 = 4,741 \text{ t.m}$$

$$\mu_1 = M / (b \cdot d^2 \cdot \sigma_s) = 4,741 \cdot 10^5 / (100 \cdot 17^2 \cdot 3480) = 0,00471$$

$$\text{d'où } \beta_1 = 0,891 \text{ et } k_1 = 30,87$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 30,87 = 112,73 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 \cdot d \cdot \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 4,741 \cdot 10^5 / (0,891 \cdot 17 \cdot 3480) - 14,259 \cdot 10^3 / 3480$$

$$A_s = 4,90 \text{ cm}^2$$

✓ **Condition de non fragilité de la section :**

$$A_{min} = 0,23 * b * d * F_{t28} / F_e = 0,23 * 100 * 17 * 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient **Au = 6.11 cm²**

c) **A Mi-portée A-B :**

✓

✓ **Calcul à l'Etat Limite Ultime :**

$$M_u = 1,35 * 0,096 + 1,60 * 2,812 = 4,629 \text{ t.m}$$

$$N_u = 19,043 \text{ t}$$

$$e = M_u / N_u = 4,629 / 19,043 = 0,243 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 4,629 + 19,043 * 0,07 = 5,962 \text{ t.m}$$

$$\mu = M / (b * d^2 * F_b) = 5,962 * 10^5 / (100 * 17^2 * 153) = 0,135$$

$$\alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * \mu}) = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * 0,135}) = 0,182$$

$$Z = 0,17 * (1 - 0,40 * 0,182) = 0,158 \text{ m}$$

$$A_u = (M / Z - N_u) / \sigma_s = (5,962 * 10^5 / 15,80 - 19,043 * 10^3) / 3480 = 5,37 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul à l'Etat Limite de Service**

$$M_s = 0,096 + 1,20 * 2,812 = 3,470 \text{ t.m}$$

$$N_s = 14,259 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 3,470 / 14,259 = 0,243 \text{ m d'où section partiellement comprimée}$$

$$M = 3,47 + 14,259 * 0,07 = 4,468 \text{ t.m}$$

$$u.1 = M / (b * d^2 * \sigma_s) = 4,468 * 10^5 / (100 * 17^2 * 3480) = 0,00444$$

$$\text{d'où } \beta_1 = 0,894 \text{ et } k_1 = 32,17$$

$$\sigma_b = \sigma_s / k_1 = 3480 / 32,17 = 108,18 \text{ bars} < \sigma_{bl}$$

$$A_s = M / (\beta_1 * d * \sigma_s) - N_s / \sigma_s = 4,468 * 10^5 / (0,894 * 17 * 3480) - 14,259 * 10^3 / 3480$$

$$A_s = 4,35 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e = 0,23 \cdot 100 \cdot 17 \cdot 22,2 / 4000 = 2,17 \text{ cm}^2$$

On retient $A_u = \underline{5.37 \text{ cm}^2}$

Tableau récapitulatifs des calculs des armatures

Section d'armature dalot par ml		Au (cm ² /ml)	As (cm ² /ml)	Amin (cm ² /ml)	Type d'acier
Tablier	A mi-travée	6,37	4,57	2,17	14HA8
	Appui aux extrémités	8,30	6,51	2,17	12HA10
Radier	A mi-travée	6,52	5,15	2,17	10HA10
	Appui aux extrémités	8,06	5,82	2,17	18HA8
Piédroits	Aux pieds	5,95	4,76	2,17	6HA12
	En têtes	6,11	4,90	2,17	8HA10

IV.c) Note de calcul des caniveaux :

IV.C) 1. HYPOTHESES DE CALCUL :

1. Béton.

- Dosage : 350 kg /m³ de CPA 45 ou de classe équivalente
- Résistances caractéristiques : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$; $f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité : $\gamma_b = 1.5$
- Granulats: $C_g = 25\text{mm}$
- Contrainte admissible: $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 9.00\text{MPa}$
- Facteur d'équivalence contraintes aciers/contraintes béton : $n = 15$

2. Aciers.

- Aciers à haute adhérence (HA) de nuance Fe E 400

- Limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Coefficient de sécurité : $\gamma_s = 1,15$
- Coefficient d'adhérence : $\eta = 1,6$
- contrainte admissible : $\bar{\sigma} = 201,6 \text{ MPa}$
- Fissuration préjudiciable le calcul sera effectué à l'ELS

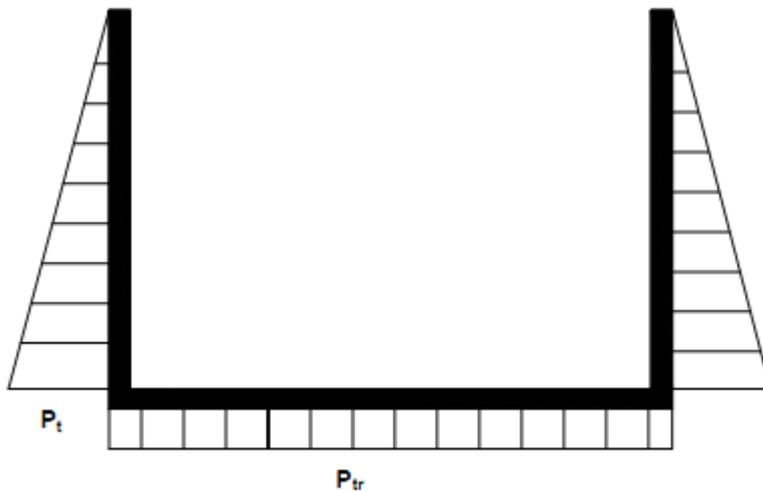
IV.B) 2. PRINCIPE DE CALCUL DES EFFORTS ET SOLLICITATIONS.

De manière générale, on mènera les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de longueur de caniveaux.

IV.b) 2.1. Calcul de Sollicitations.

Caniveau 150 x 150

- ✓ Surcharges



Figures : Surcharges

Poids propre de piédroit : $P_p = 25 \times e \times h = 25 \times 0,15 \times 1,50 = 5,625 \text{ kN/ml}$

Poids propre du radier : $P_r = 25 \times e \times l = 25 \times 0,15 \times 1,50 = 5,625 \text{ kN/ml}$

Poussée des terres sous le radier : $P_t = 2 \times \frac{P_p + P_r}{l} = 2 \times (5,625 + 5,625)/1,50 = 15 \text{ kN}$

Poussée des terres : $P_t = k \times \gamma_s \times \frac{h^2}{2} = 7,425 \text{ kN/ml}$

Poids propre de dalle de traversée :

$$P_p = 25 \times e \times l = 25 \times 0.20 \times 1.60 = 8 \text{ kN/ml}$$

✓ Effort normal :

$$\text{Effort normal maximal dans le piédroit : } N_{\max} = P_p = 5,625 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Effort normal maximal dans le radier : } N_{\max} = k \times \gamma_s \times h = 9,9 \text{ kN/ml}$$

✓ Moments

$$\text{Moment maximum dû au poids du radier : } M_p = -Pl^2/8 = -1.58 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Moment maximum dû à la poussée des terres : } M_p = P_t \times h/3 = 2,81 \text{ kN.m/ml}$$

Moment maximum dû à la poussée des terres sous le radier :

$$M_{ptr} = P_{pt} \times l^2 / 2 = 16,875 \text{ kN.m/ml}$$

✓ Combinaison des moments :

$$\text{Moments maximum dans le radier : } M_{\max} = M_p - M_{ptr} = -14,065 \text{ kN.m/ml}$$

$$\text{Moment maximum à la base de piédroit : } M_{\max} = P_t \times h/3 = 2,81 \text{ kN.m/ml}$$

✓ Dalle de traversée :

On considère la dalle de traversée comme une poutre sur appuis simple :

Charges appliquées : poids propre + roue de 10 t

$$M = 64,76 \text{ kN.m}$$

IV.b) 2.2. Calcul des armatures.

✓ **Les aciers aux appuis des voiles:**

$$e = M_{\max}/N_{\max} = 2,81/5,625 = 0,49 \ll 4 \Rightarrow \text{Donc le calcul sera fait en flexion composée}$$

Calcul à l'ELS :

$$M_{ser} = M_s + N_s \times (d - h/2)$$

$$= 2,81 + 7,425 \times (0,10 - 0,15/2) = 2,99 \text{ kN.m/ml}$$

$$\alpha_{RB} = \frac{\overline{\sigma}_{bc}}{\overline{\sigma}_{bc} + \frac{9}{15}} = \frac{9}{9 + \frac{201,6}{15}} = 0,401$$

$$M_{RB} = \frac{\alpha_{RB} \times b \times d^2 \times \overline{\sigma}_{bc}}{2} \times [1 - \alpha_{RB}/3] = 23,4 \text{ kN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{RB}$. Donc nous pouvons appliquer la méthode simplifiée : avec $y_{RB} = \alpha_{RB} \times d$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\left(d - \frac{y_{rb}}{3}\right) \times \sigma_s} = 1,71 \times 10^{-4} = 1,71 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELU

$$M_u = M_{max} = 2,81 \text{ kN.m/ml}$$

$$\mu = \frac{M_u}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = 0,020$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,025$$

$$z = d \times (1 - 0,4 \alpha) = 0,1$$

$$A_u = \frac{M}{z \times \sigma_s} = 8,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 0,807 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times f_{t28}/f_e \Rightarrow A_{min} \geq 1,21 \text{ cm}^2$$

Donc nous choisissons 4 HA8 par mètre linéaire de longueur pour les aciers verticaux avec un espacement de 25 cm.

Calcul des aciers de répartition :

$$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,08e_1 = 0,4 \text{ cm}^2/\text{ml}, \text{ nous prendrons 4HA6 soit un espacement 25 cm.}$$

✓ Les aciers en travée du radier :

$$e = M_{max}/N_{max} = -14,065/9,9 = 1,42 \ll 4 \Rightarrow \text{Donc le calcul sera fait en flexion composée}$$

Calcul à l'ELS :

$$M_{ser} = M_s + N_s \times (d - h/2) = -13,82 \text{ kN.m/ml}$$

$$\alpha_{RB} = \frac{\overline{\sigma_{bc}}}{\overline{\sigma_{bc}} + \frac{\sigma_s}{15}} = \frac{9}{9 + \frac{201,6}{15}} = 0,401$$

$$M_{RB} = \frac{\alpha_{RB} \times b \times d^2 \times \overline{\sigma_{bc}}}{2} \times [1 - \alpha_{RB}/3] = 23,4 \text{ kN.m/ml}$$

$M_{ser} < M_{RB}$. Donc nous pouvons appliquer la méthode simplifiée : avec $y_{RB} = \alpha_{RB} \times d$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\left(d - \frac{y_{rb}}{3}\right) \times \sigma_s} = 0,79 \text{ cm}^2$$

Calcul à l'ELU

$$M_u = M_{max} = -14,065 \text{ kN.m/ml}$$

$$\mu = \frac{Mu}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = -0,066$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = -0,65$$

$$z = d \times (1 - 0,4 \times \alpha) = 0,126$$

$$Au = \frac{M}{z \times \sigma_s} = 3,47 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,47 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times f_{t28}/f_e \Rightarrow A_{min} \geq 1,21 \text{ cm}^2$$

Donc nous choisissons 5 HA12 par mètre linéaire de longueur pour les aciers verticaux avec un espacement de 25 cm.

Calcul des aciers de répartition :

$$A_r (\text{cm}^2/\text{m}) \geq 0,08e_1 = 1,6 \text{ cm}^2/\text{ml}, \text{ nous prendrons 5HA8 soit un espacement 15 cm.}$$

✓ **Calcul des armatures de la dalette :**

$$A_s = 14,3 \text{ cm}^2 \text{ soit 9HA16 espacés de 10 cm soit une section réelle de } 18,09 \text{ cm}^2$$

	Caniveau 150 x 150		
	Voile	Radier	Dalette
As (section à l'ELS)	1,71 cm ²	0,79 cm ²	-
Au (section à l'ELU)	0,807 cm ²	3,47 cm ²	
Amin (Condition de non fragilité)	1,21 cm ²	1,21 cm ²	1,21 cm ²
Armatures principales	4 HA8	5 HA12	9HA16
Armatures de répartition	HA6	HA8	HA10

Tableau : récapitulatif des calculs d'armatures.

Annexe V : Note de calcul Alizée Lcpc.

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées

selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

Signalement du calcul :

données Structure : saisie écran, sans nom

titre de l'étude : sans titre

données Chargement :

jumelage standard de 65 kN

pression verticale : 0,6620 MPa

rayon de contact : 0,1250 m

entraxe jumelage : 0,3750 m

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

notations :

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

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

Variante de calcul n°1

Tableau 1+2 (synthèse) :

tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

niveau EpsilonT	SigmaT	EpsilonZ	SigmaZ
calcul horizontale	horizontale	verticale	verticale

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

h= 0,050 m 0,000m -241,7 X-J -0,184 X-J -44,4 Z-J 0,657 Z-R

E= 1300,0 MPa

nu= 0,350 0,050m -182,2 Y-R -0,041 Y-R 477,9 Z-R 0,595 Z-R

----- collé (z=0,050m) -----

h= 0,200 m 0,050m -182,2 Y-R 0,073 Y-J 1119,1 Z-R 0,595 Z-R

E= 400,0 MPa

nu= 0,350 0,250m -191,6 Y-J -0,017 Y-J 425,0 Z-R 0,167 Z-R

----- collé (z=0,250m) -----

h= 0,200 m 0,250m -191,6 Y-J -0,017 Y-J 425,0 Z-R 0,167 Z-R

E= 400,0 MPa

nu= 0,350 0,450m -227,3 Y-J -0,094 Y-J 298,8 Z-J 0,062 Z-J

----- collé (z=0,450m) -----

h infini 0,450m -227,3 Y-J -0,005 Y-J 523,8 Z-J 0,062 Z-J

E= 120,0 MPa

nu= 0,350

Déflexion maximale = 48,7 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 109,4 m (entre-jumelage)

Calcul de Valeur admissible - matériau : gnt et sols (sol trafic faible

données de trafic :

accroissth arith. = 5,00%

période de calcul = 15,0 années

trafic cumulé NPL = 1 510 000 PL

données déduites :

MJA = 204 pl/j/sens/voie

accroissth géom. = 4,15%

trafic cumulé équivalent NE :

coefficient CAM = 1,00

trafic cumulé NE = 1 510 000 essieux standard

données sur le matériau :

coefficient A = 16000

exposant = -0,2220

EpsilonZ admissible = 679,8 μ déf

Calcul de Valeur admissible - matériau : bitumineux - bb

données de trafic :

accroissth arith. = 5,00%

période de calcul = 15,0 années

trafic cumulé NPL = 1 510 000 PL

données déduites :

MJA = 204 pl/j/sens/voie

accroissth géom. = 4,15%

trafic cumulé équivalent NE :

coefficient CAM = 0,80

trafic cumulé NE = 1 208 000 essieux standard

données sur le matériau :

Epsilon6 = 100,00 μ déf

pente inverse 1/b = -5,00

TétaEq = 30°C

module E(10°C) = 7200 MPa

module E(TétaEq) = 1300 MPa

Ep. bitumineuse struct. = 0,050 m

écart type Sh = 0,010 m

écart type SN = 0,250

risque = 5,0%

coefficient Kr = 0,8150

coefficient Ks = 1/1,2

coefficient Kc = 1,1

EpsilonT admissible = 169,3 $\mu\text{déf}$

Annexe VI : Plan d'exécution